

# Análise de Desempenho da Virtualização de Rede nos Sistemas Xen e OpenVZ

Adler Hoff Schmidt<sup>2</sup>, Márcio Parise Bouffleur<sup>1</sup>, Ronaldo Canofre M. dos Santos<sup>2</sup>,  
Andrea Schwertner Charão<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Sistemas de Computação (LSC)

<sup>2</sup>Programa de Educação Tutorial (PET)

Curso de Ciência da Computação – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)  
Campus UFSM – 97105-900 – Santa Maria – RS – Brasil

{adlerhs,bouffleur,canofre,andrea}@inf.ufsm.br

**Resumo.** *Tecnologias de virtualização vêm sendo amplamente utilizadas em sistemas interligados em rede. Existem diferentes abordagens e ferramentas para o suporte a múltiplas máquinas virtuais compartilhando os recursos físicos de um sistema hospedeiro. Neste trabalho, analisa-se o desempenho de rede dos sistemas Xen e OpenVZ, que seguem diferentes abordagens e constituem duas soluções populares de virtualização. O foco no desempenho de rede justifica-se porque muitos sistemas virtualizados executam serviços e aplicações que necessitam de comunicação pela rede. Para investigar o impacto da virtualização no desempenho de rede, utilizou-se um benchmark clássico em um mesmo sistema, com e sem o uso de virtualização.*

## 1. Introdução

Atualmente, a virtualização em ambientes computacionais constitui um tema de pesquisa e desenvolvimento que permeia várias áreas da computação. A capacidade de multiplexação de diversos sistemas operacionais sobre um mesmo *hardware* permite um aproveitamento mais racional dos recursos disponíveis, provendo economia, flexibilidade, segurança, gerenciabilidade de sistemas de *software* e um bom isolamento de falhas.

Diversos métodos e ferramentas de virtualização têm sido propostos, tornando pouco trivial a escolha de uma solução que atenda aos requisitos de cada ambiente. Dentre os fatores a considerar, o desempenho de rede é um crucial, uma vez que os sistemas atuais dependem fortemente de comunicação entre si.

Dentre as soluções de virtualização disponíveis atualmente no mercado, VMware [VMware Inc. 2007], Xen [Barham et al. 2003] e OpenVZ [SWsoft 2007] vêm ganhando atenção considerável. De fato, estes sistemas são expoentes de abordagens de virtualização populares, sendo o primeiro uma solução proprietária e os demais soluções livres que têm sido extensivamente comparados ultimamente [Padala et al. 2007], sendo que Xen já foi alvo de avaliações de desempenho [Urschei et al. 2007]. Neste trabalho, tem-se como objetivo analisar o desempenho da rede em sistemas que usam Xen ou OpenVZ. Para avaliar o desempenho das soluções, optou-se por utilizar o *benchmark* de rede Netperf [Jones 2007]. Esta ferramenta de análise de desempenho foi escolhida por sua capacidade de análise sintética de resultados e pela grande quantidade de outros

estudos que utilizaram a mesma. Assim, compararemos os resultados obtidos em um mesmo ambiente, com e sem a utilização das soluções de virtualização selecionadas.

O restante deste artigo está organizado como segue: na seção 2, expõe-se os conceitos gerais sobre virtualização e as tecnologias existentes, abordando-se as características gerais de Xen e OpenVZ. Na seção 3, descreve-se as formas como ambas as tecnologias implementam a virtualização da rede. Na seção 4, apresenta-se a análise de desempenho, que constitui a principal contribuição deste trabalho, detalhando-se a metodologia utilizada e os resultados obtidos. Na seção 5, por fim, apresenta-se as considerações finais sobre o trabalho.

## 2. Tecnologias de Virtualização

Visando o melhor aproveitamento do poder dos *mainframes*, no início da década de 70, foi criada uma técnica para permitir que diversas máquinas virtuais compartilhassem o mesmo *hardware* subjacente [Goldberg 1974]. Basicamente, a virtualização é uma técnica que insere uma camada extra de *software* entre o sistema físico e o sistema operacional. Dessa forma, diversos sistemas operacionais podem executar concorrentemente sobre o mesmo *hardware*, com a camada extra de *software*, conhecida como Monitor de Máquinas Virtuais (MMV) ou *hypervisor*, controlando o acesso físico dos mesmos ao *hardware*. Esta organização clássica de um sistema virtualizado é ilustrada na figura 1.

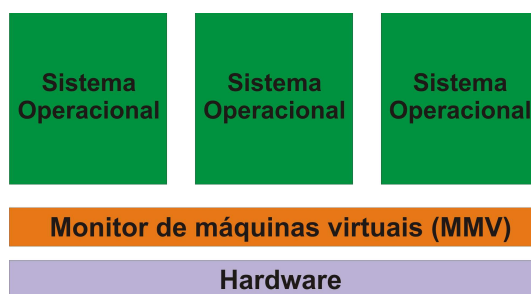


Figura 1. Estrutura clássica de um sistema virtualizado

Com o aumento do poder de processamento dos computadores atuais, algumas soluções de virtualização foram implementadas para executar em sistemas de médio e pequeno porte, incluindo computadores pessoais. Dentre essas soluções, Xen [Barham et al. 2003] destaca-se por ser um monitor de máquinas virtuais de código aberto, que provê um alto grau de desacoplamento entre os sistemas hospedados e o *hardware* abaixo deles.

Atualmente, uma nova técnica de virtualização começou a receber destaque: a virtualização em nível de sistema operacional. Essa técnica difere da técnica clássica por inserir as máquinas virtuais no mesmo nível do *hypervisor*. Assim, as máquinas virtuais sobre essa arquitetura compartilham o mesmo *kernel* do sistema hospedeiro, o que reduz significativamente a sobrecarga de criação de uma nova máquina virtual. Porém, essa solução possui flexibilidade reduzida, uma vez que só é possível a execução de um sistema operacional hospedado idêntico ao hospedeiro. Um expoente desse método de virtualização é o MMV OpenVZ [SWsoft 2007].

As seções 2.1 e 2.2 apresentam outras características de Xen e OpenVZ que motivaram a escolha destes sistemas para a realização deste trabalho.

## 2.1. Xen

Xen é um monitor de máquinas virtuais de código aberto, com suporte a diversas arquiteturas, como IA-32, AMD64 e EM64T. Para implementar a virtualização nessas arquiteturas, Xen utiliza-se da técnica de paravirtualização [Youseff et al. 2006]. Esta técnica consiste em fazer uma pequena modificação dos sistemas operacionais que irão executar, de modo a garantir que os mesmos não sejam executados no mesmo nível do MMV. Apesar da necessidade da modificação do sistema operacional para execução sobre o Xen, esta abordagem é eficiente e não torna necessária a modificação das aplicações do usuário.

Algumas arquiteturas mais recentes possuem extensões de virtualização em nível de processador. Exemplos incluem *AMDPacifica* e *Intel Virtualization Technology (VT)*. Com o uso de tais arquiteturas, sistemas operacionais cujos núcleos não permitem modificação podem executar normalmente sobre o *hypervisor* Xen.

## 2.2. OpenVZ

OpenVZ é uma tecnologia de virtualização em nível de sistema operacional baseada no sistema GNU/Linux. Nesta abordagem de virtualização, todas as máquinas executam o mesmo núcleo do sistema operacional, o que impõe uma sobrecarga baixa na criação e gerenciamento de máquinas virtuais.

Em OpenVZ, as máquinas virtuais são totalmente isoladas entre si, possuindo arquivos, usuários e grupos, árvores de processos, rede, dispositivos e comunicação entre processos de forma totalmente única e compartimentada.

Devido ao fato de utilizar virtualização no nível de sistema operacional, OpenVZ suporta apenas sistemas hospedados que sejam compatíveis com o núcleo do hospedeiro. Ou seja, apenas o sistema operacional GNU/Linux pode ser hospedado, mas a distribuição do mesmo não é necessariamente a mesma do hospedeiro.

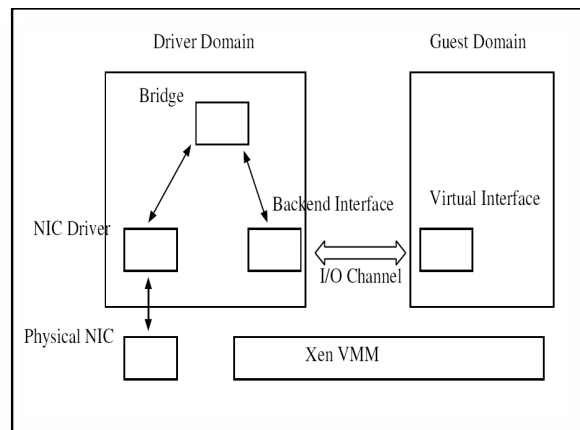
## 3. Virtualização da Rede em Xen e OpenVZ

Existem diversos métodos de se implementar uma interface de rede virtualizada. Os sistemas Xen e OpenVZ utilizam abordagens distintas para resolver esta questão.

Em Xen, as interfaces de rede virtuais são implementadas através de páginas de memória compartilhada entre o *hypervisor* e o sistema operacional hospedado. Este compartilhamento se dá através de anéis de descritores assíncronos, que contêm *buffers* de entrada e saída que são alocados pelo sistema operacional hospedado [Urschei et al. 2007]. Dessa forma, a necessidade de cópias entre o MMV e o sistema hospedado é reduzida.

Para comunicação entre as máquinas virtuais, Xen implementa uma *bridge* virtual, dispensando assim a necessidade de *broadcast* entre as interfaces virtuais. A figura 2 apresenta a organização da rede virtual de Xen. Nesta figura, uma *bridge* virtual entre a interface física e as interfaces virtualizadas é criada no domínio administrativo (*Driver Domain*), provendo assim conectabilidade entre as máquinas virtuais hospedadas (*Guest Domain*) e a rede externa. A conexão entre os domínios hospedados e o domínio administrativo é feita através de um canal de entrada e saída (*I/O channel*).

No que diz respeito a OpenVZ, uma vez que as máquinas virtuais situam-se no mesmo nível do sistema hospedeiro, são criadas interfaces virtuais interligadas com o



**Figura 2. Estrutura de rede virtual de Xen [Menon et al. 2006]**

hospedeiro via uma conexão ponto-a-ponto. Esta abordagem permite que o envio e recebimento de pacotes seja feito pelo módulo de roteamento do núcleo do sistema hospedeiro, fator esse que simplifica a questão da virtualização da rede de OpenVZ [SWsoft 2007].

#### 4. Análise de Desempenho

Os experimentos realizados tinham como principal objetivo analisar o desempenho de rede face ao uso das ferramentas Xen e OpenVZ. Para isso, decidiu-se utilizar o *benchmark* Netperf em um ambiente composto por dois computadores idênticos interconectados. Esse ambiente foi alternadamente configurado de três formas: sem virtualização, com virtualização baseada em Xen e com virtualização baseada em OpenVZ. Nos dois casos com virtualização, utilizou-se apenas uma máquina virtual sobre cada máquina real.

Para a realização dos testes foram utilizados dois computadores com arquitetura Intel x86, Pentium IV com processadores de 2.8GHz e memória de 512M. O sistema operacional adotado para os testes foi Ubuntu Linux 7.04, com *kernel* 2.6.19-4. As versões do Xen e do OpenVZ analisados são respectivamente 3.0.3 e 028stab035.1. A interligação entre as máquinas foi feita através de um *switch* Ethernet de 100 Mbps. Os testes foram realizados em um ambiente controlado, para evitar influência de tráfego adicional na rede.

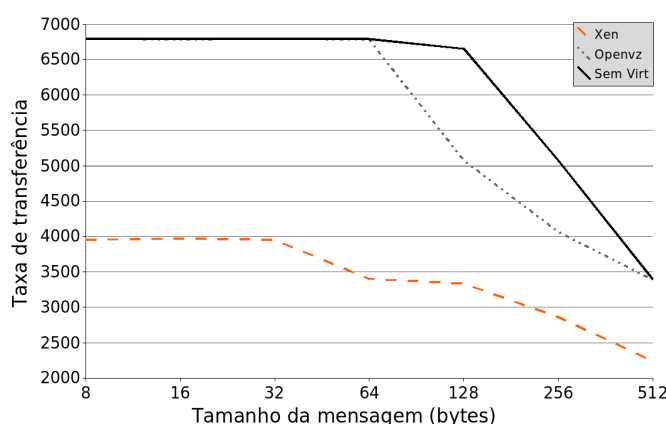
O *benchmark* Netperf permite medir o desempenho de rede segundo diferentes métricas. Para os experimentos realizados, a métrica escolhida foi a taxa de transferência da rede, analisada através de comunicações Request-Response com os protocolos TCP e UDP. Os testes foram realizados com três grupos de tamanhos de mensagens: mensagens pequenas (até 512 bytes), médias (até 512 Kbytes) e grandes (até 50 Mbytes). Em todos os casos, foram mantidos os valores *default* em Netperf para outros parâmetros da comunicação (por exemplo, *buffer* de sistema e MTU [Jones 2007]). Para a obtenção dos resultados a seguir foram realizadas 10 execuções para cada tamanho de pacote, sendo calculado para a análise dos mesmos, a média aritmética, o desvio padrão, o coeficiente de variação e a mediana.

##### 4.1. Resultados Obtidos

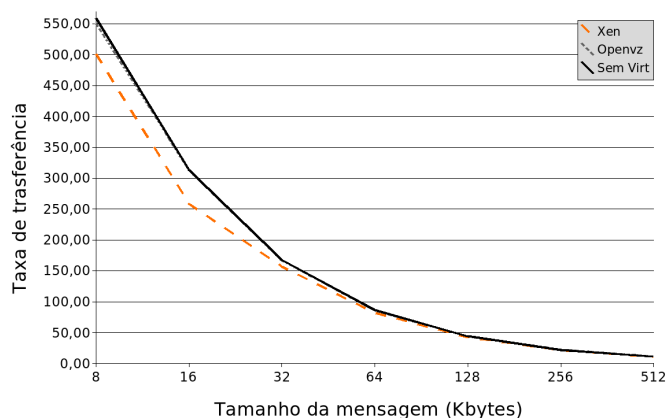
Os gráficos apresentados a seguir reúnem os resultados obtidos nas medições efetuadas. Todos os gráficos apresentam o tamanho das mensagens no eixo das abscissas e a taxa de

transferência no eixo das ordenadas.

Nas figuras 3 e 4 tem-se os resultados obtidos com o protocolo TCP para mensagens de tamanho pequeno e médio, respectivamente. O coeficiente de variação para mensagens pequenas ficou abaixo de  $7.89 \times 10^{-3}$  para o Xen,  $28.16 \times 10^{-3}$  para OpenVZ e  $20.91 \times 10^{-3}$  para máquina sem virtualização. Em mensagens médias esses valores foram de  $23.24 \times 10^{-3}$  para Xen,  $7.59 \times 10^{-3}$  para OpenVZ e  $58.57 \times 10^{-3}$  nas execuções sem virtualização. Mensagens deste grupo são comuns em serviços básicos de rede. Na figura 5 tem-se os resultados para mensagens de tamanho grande, também com o protocolo TCP, onde o maior coeficiente de variação foi de  $2.73 \times 10^{-1}$  para Xen e  $2.52 \times 10^{-1}$  para OpenVZ e execuções sem virtualização. Mensagens deste grupo são típicas em aplicações que exigem transferência de arquivos.



**Figura 3. Taxas de transferência TCP, com mensagens pequenas, até 512 bytes**



**Figura 4. Taxas de transferência TCP, com mensagens de tamanho médio, entre 8 e 512 Kbytes**

As figuras 6 e 7 apresentam os resultados das medições com o protocolo UDP para mensagens pequenas e médias, respectivamente. Para as mensagens transferidas por UDP o coeficiente de variação máximo obtido para mensagens pequenas foi de  $15.15 \times 10^{-3}$  no Xen,  $24.12 \times 10^{-3}$  no OpenVZ e  $88.44 \times 10^{-3}$  em execuções sem virtualização. Nas mensagens médias transferidas por UDP, os valores máximos obtidos foram  $19.68 \times 10^{-3}$  no Xen,  $5.32 \times 10^{-3}$  no OpenVZ e  $5.39 \times 10^{-3}$  em execuções sem virtualização.

Vale ressaltar que devido às restrições do protocolo, o Netperf, por *default* não permite a transmissão de mensagens grandes com UDP.

## 4.2. Análise dos Resultados

Como se pode observar, os gráficos para mensagens pequenas evidenciam diferenças significativas entre as taxas de transferência nas situações analisadas. Esperava-se, de fato, que o desempenho da comunicação entre as máquinas sem virtualização seria melhor do que nos casos com Xen ou OpenVZ. Essa expectativa se concretizou na maior parte dos casos.

Quanto à comparação entre Xen e OpenVZ, o desempenho deste último foi superior ao primeiro, principalmente para mensagens de tamanho pequeno e médio. Isso explica-se pois Xen usa a técnica de paravirtualização, em que são necessárias modificações no *kernel* do sistema operacional hóspede. Já OpenVZ utiliza virtualização no nível do sistema operacional, assim o mesmo *kernel* é usado para executar os ambientes no hospedeiro. Embora este comportamento fosse esperado, notou-se que para certos tamanhos dos pacotes OpenVZ consegue atingir uma taxa de transmissão muito próxima, senão igual, ao caso sem virtualização. Essa constatação é um ponto favorável para a escolha do OpenVZ para sistemas virtualizados em que o desempenho da rede é crítico.

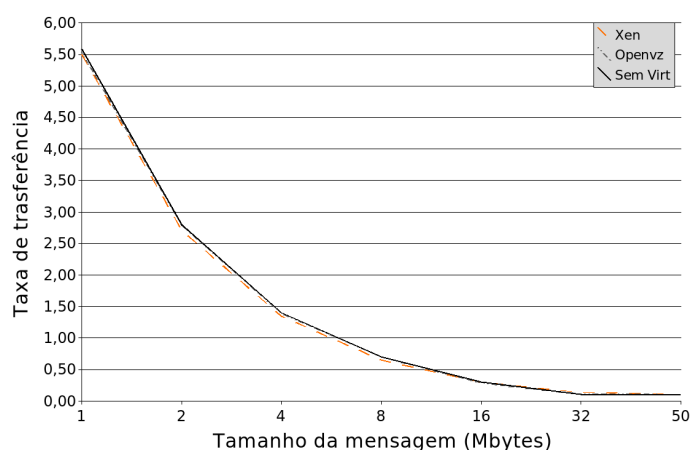
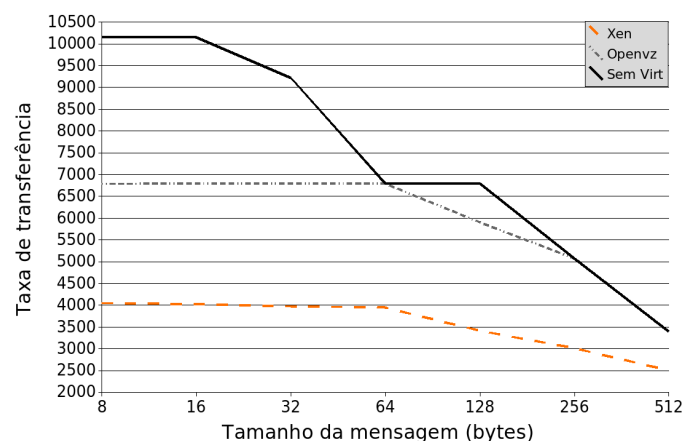


Figura 5. Taxas de transferência TCP, com mensagens grandes, de 1 a 50 Mbytes

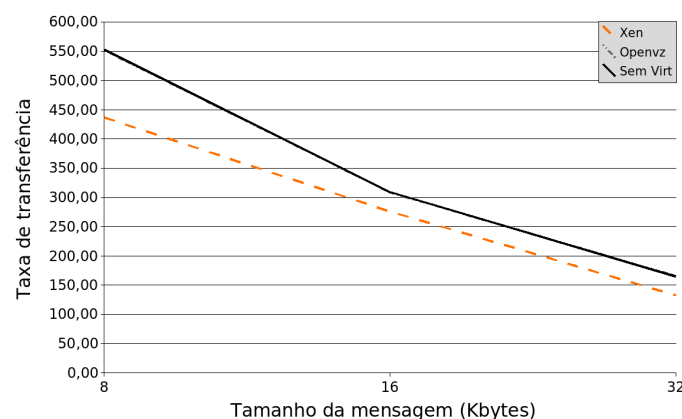
## 5. Considerações Finais

Neste trabalho, analisou-se o desempenho da comunicação em uma rede entre máquinas não virtuais, virtuais usando Xen e virtuais usando OpenVZ. Observou-se que OpenVZ obteve um desempenho de rede superior ao de Xen, tanto com o protocolo TCP como com o protocolo UDP, principalmente para mensagens pequenas e médias. Também observou-se que, usando OpenVZ, o desempenho de rede é próximo àquele medido no caso sem virtualização, evidenciando uma baixa sobrecarga na rede.

Assim, dependendo da abordagem de virtualização adotada, pode-se obter resultados de desempenho significativamente diferentes. Esses resultados juntamente com a análise de outros fatores relevantes e o tipo de uso das máquinas virtuais podem prover um embasamento a administradores de sistemas no momento de selecionar uma tecnologia de virtualização a ser implantada. Além disso, a experiência obtida com este trabalho



**Figura 6. Taxas de transferência UDP, com mensagens pequenas, até 512 bytes**



**Figura 7. Taxas de transferência UDP, com mensagens médias, de 8 a 32 Kbytes**

abre perspectivas para outras análises mais aprofundadas, considerando outros parâmetros que possam influenciar na comparação de desempenho entre monitores de máquinas virtuais.

## Referências

- Barham, P., Dragovic, B., Fraser, K., Hand, S., Harris, T., Ho, A., Neugebauer, R., Pratt, I., and Warfield, A. (2003). Xen and the art of virtualization. In *Proc. 19th ACM Symposium on Operating Systems Principles (SOSP '03)*, pages 164–177, Bolton Landing, USA. ACM.
- Goldberg, R. (1974). Survey of virtual machine research. *IEEE Computer*, 7(6):34–45.
- Jones, R. (2007). *Netperf Manual 2.4.3*. Hewlett-Packard. Disponível em: <http://www.netperf.org/netperf/>. Acesso em: agosto de 2007.
- Menon, A., Cox, A., and Zwaenepoel, W. (2006). Optimizing Network Virtualization in Xen. *Proc. USENIX Annual Technical Conference (USENIX 2006)*, pages 15–28.
- Padala, P., Zhu, X., Wang, Z., Singhal, S., and Shin, K. (2007). Performance Evaluation of Virtualization Technologies for Server Consolidation. Technical report, Hewlett-Packard Development Company, L.P.

- SWsoft (2007). Server Virtualization Open Source Project. Disponível em: <http://openvz.org/>. Acesso em: agosto de 2007.
- Urschei, F., Pelegriani, J. P., Lima e Silva, M. A. L. S., Midorikawa, E. M., and Carvalho, T. C. C. (2007). Análise Multiparamétrica do Overhead de Rede em Máquinas Virtuais. *IV Workshop de Sistemas Operacionais (WSO'2007)*.
- VMware Inc. (2007). Página da empresa VMware Inc. Disponível em: <http://www.vmware.com>. Acesso em: agosto de 2007.
- Youseff, L., Wolski, R., Gorda, B., and Krintz, C. (2006). Paravirtualization for HPC Systems. Technical report, UCRL-TR-225347, Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL), Livermore, CA.