

Estudo Comparativo de Laboratórios Virtuais de Redes de Computadores

Luís Ernesto Costa Almeida

Unilasalle
luisalme@yahoo.com

Andrea Collin Krob

Unilasalle
andrea.krob@unilasalle.edu.br

Resumo — Em cursos de redes de computadores é essencial que o aluno tenha acesso a laboratórios para que possa por em prática os conhecimentos adquiridos nas aulas expositivas. Uma solução para este problema é o uso de laboratórios virtuais de redes, onde os elementos de rede são virtualizados em sistemas que rodam em computadores de mesa ou em *clusters*. O objetivo deste trabalho é realizar uma análise de vários sistemas de laboratórios virtuais de forma teórica e prática. Para a análise teórica foram definidos diversos requisitos que um sistema de laboratório virtual deve apresentar. Para os testes práticos foi criado um questionário para que um grupo de alunos realizassem experimentos práticos e expressassem a sua opinião sobre dois desses sistemas.

I. INTRODUÇÃO

Em cursos de redes de computadores é essencial a existência de um laboratório dedicado para que os alunos possam por em prática os conhecimentos adquiridos nas aulas teóricas [1] [2] e para que possam ter familiaridade com diversos softwares e equipamentos, tendo assim sucesso em seu curso [3].

Igualmente importante é que as instituições devem oferecer cursos *on-line* através da Internet. Universidades que não tem este tipo de curso são consideradas arcaicas [4].

Então, é necessário escolher a melhor alternativa de prover essas necessidades. As alternativas descritas em [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10] e [11], podem ser agrupadas da seguinte forma: a) o acesso local e o acesso remoto a laboratório físico e dedicado; b) o acesso local e remoto a laboratório virtual; c) a virtualização de um laboratório com recursos computacionais do próprio aluno para a realização dos experimentos.

A alternativa a) é muito dispendiosa e problemática, principalmente quando existe uma grande quantidade de alunos e a disponibilidade de equipamentos não é grande [11]. Mesmo instituições que possuem recursos para montar um laboratório exclusivo para as disciplinas de redes tem seu acesso restrito por horários específicos para cada turma [12]. Também é necessário que este laboratório não cause problemas tanto na rede da instituição como na Internet e que haja pessoal dedicado a restaurar a configuração de cada elemento do laboratório para o uso de uma nova turma [2].

A alternativa b) é uma ferramenta valiosa para estudantes e deve permitir a emulação de uma rede de computadores através de software [7]. É uma alternativa mais eficiente que a anterior em termos de custos, pois pode-se criar muito mais máquinas virtuais do que as que existem fisicamente destinadas ao laboratório, além de possibilitar o uso de *clusters*, por exemplo, montados a partir de máquinas recicladas [13].

A alternativa c) é possível de ser realizada com algumas alternativas de laboratório virtual (ex. Marionnet). Porém, a implementação pelo próprio aluno, fora do ambiente fornecido pela instituição de ensino, perde na interação com o professor e colegas de curso. Como é mostrado em

[12], o uso de um laboratório remoto aumenta a troca de e-mail entre o aluno e o professor, em comparação com laboratório tradicional, demonstrando uma maior necessidade de auxílio para a nova tecnologia, que em uma implementação feita pelo próprio aluno, causa maiores dificuldades para interação e auxílio.

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise dos sistemas de virtualização de laboratório de redes de computadores. Serão definidos os requisitos considerados necessários a um sistema de virtualização de laboratório para poder substituir um laboratório de redes com elementos físicos. Baseados nestes requisitos, serão escolhidos dois sistemas para a realização de uma avaliação prática, utilizando-se um questionário com respostas fechadas e auto-aplicado.

O restante do trabalho está dividido da seguinte forma: o capítulo II apresenta os sistemas estudados, o capítulo III aborda a metodologia de avaliação, o capítulo IV aborda os resultados obtidos e o capítulo V as considerações finais.

II. FERRAMENTAS PARA O ENSINO DE REDES

Este capítulo apresenta as principais ferramentas de laboratórios virtuais disponíveis para avaliação na academia. Os sistemas a seguir foram analisados com base nos artigos escritos pelos pesquisadores, bem como informações disponíveis nos sites dos projetos.

A. Marionnet

Marionnet é um laboratório virtual de rede que permite a reprodução do modo de funcionamento de redes de computadores *Ethernet* de forma apurada, sem a necessidade de qualquer configuração física em elementos de rede reais [14].

As principais características são [11] [14] [15]: utiliza a tecnologia *copy-on-write* (COW), que é suportada pelo User-Mode Linux (UML); permite a reconfiguração dinâmica da rede que está sendo executada; provê diversos tipos de componentes virtuais de rede; simula problemas de funcionamento em uma rede virtual; salva de forma periódica o estado do sistema de arquivos de roteadores e computadores virtuais; possui interface gráfica tanto para a configuração do projeto de rede virtual quanto para monitorar o seu estado de funcionamento, com atualização dinâmica. Como desvantagens desta ferramenta está o fato dela não apresentar nenhuma funcionalidade para a interação entre estudantes e professores e possuir a emulação limitada somente a Gnu/Linux.

B. Netkit

É um emulador onde pode-se configurar e testar experimentos de redes de computadores, com um custo baixo e com pouco esforço de configuração. É possível criar vários dispositivos virtuais de rede como, roteadores, *switches*, computadores, em um único computador real [16].

As principais características são [17]: configuração nativa através de arquivos em formato texto; possui interface de utilização nativa via linha de comando; não é necessário

ter privilégios administrativos para a instalação pois roda somente em espaço de usuário; utiliza a tecnologia COW através do UML; provê uma série de laboratórios (*labs*) pré-configurados que estão disponíveis no sítio do projeto. Como vantagens desta ferramenta temos: suporta somente a emulação para sistema GNU/Linux pois é baseado no UML; não suporta a emulação na camada física das características físicas como latência, atrasos, perda de pacotes, ou o modo de operação de redes sem fio.

1) SOFTICE

O sistema SOFTICE tem como objetivo prover tanto uma solução técnica como pedagógica para ajudar instituições a melhorar a qualidade de ensino das disciplinas onde os estudantes têm dificuldades para realizar experiências práticas [18].

O sistema possui as seguintes características [10] [18] [19] [20]: fornece proteção entre as redes dos estudantes contra interferências; não necessita de um laboratório específico e isolado para ser utilizado, pois permite utilizar qualquer laboratório com os recursos mínimos de um cliente SSH e um cliente para X-Windows; permite o acesso tanto para estudantes que estejam no campus universitário como para aqueles que estão remotos de uma mesma forma; projetos em andamento ou concluídos podem ser armazenados para um acesso posterior sem perda de informações; é escalável; possibilita a criação de redes complexas; não possui interface gráfica para a configuração, sendo a configuração feita através de arquivos de configuração e dos comandos do MLN; utiliza a tecnologia COW através do UML; tem custo muito baixo se comparado a laboratórios tradicionais devido ao emprego de software livre e a utilização de hardware reciclado. Como desvantagens desta ferramenta temos: suporta somente a emulação para sistema GNU/Linux pois é baseado no UML; não provê nenhum tipo mecanismo de interação entre instrutores e alunos. Porém devido a instalação em um *cluster* esta funcionalidade poderia ser implementada.

C. V-NetLab (Stony Brook University)

V-NetLab é um *cluster* que provê o acesso a um sistema que é utilizado para criar redes virtuais para o estudo de segurança em redes de computadores [2].

O sistema tem as seguintes características [21] [22]: utiliza o VMware sobre Gnu/Linux, suportando máquinas virtuais MS-Windows, GNU/Linux ou outro suportado pelo VMware; provê a isolamento entre as redes dos usuários e isolamento entre as redes do usuário e a rede externa; provê uma emulação no nível *datalink* de forma apurada; possui bom desempenho e escalabilidade; permite a configuração de diversos parâmetros de rede de forma automática, tais como endereços IP, servidores DNS, nome de servidores; realiza a alocação de recursos de forma transparente; possibilita que os usuários sejam agrupados em times, onde integrantes do mesmo time podem compartilhar redes; apresenta relativa facilidade de utilização tanto por acesso local como por acesso remoto; apresenta relativa facilidade na administração; utiliza interface a caractere. Como desvantagem tem a grande quantidade de espaço em disco usado devido a não ter nenhum mecanismo de compressão ou economia de recursos.

D. Xen Worlds

Xen Worlds é um sistema que permite a criação e administração de redes virtuais de computadores para a utilização em pesquisa e educação de uma forma simples.

Xen Worlds tem como características [3] [23] [24]

[25]: é baseado no Xen para a virtualização; provê acesso a usuários com conexão de baixa velocidade e sem necessidade de programas especiais; armazenamento centralizado das imagens das máquinas virtuais; computadores virtuais criados de forma segura sem acesso a Internet ou a computadores virtuais de outros alunos; baixa necessidade de administração, comparado a laboratórios tradicionais; provê o mesmo tipo de experiência de utilização, independente do aluno estar no campus ou a distância; permite uma fácil interação com o sistema devido a utilização através de menus; o instrutor pode interagir ou verificar os trabalhos realizados pelos alunos diretamente no sistema. Este sistema apresenta as seguintes desvantagens: não provê nenhum mecanismo gráfico para a visualização da topologia da rede virtual; está limitado a criação somente de computadores virtuais, devendo o usuário definir manualmente se o mesmo será um roteador, servidor web, etc; não permite que o aluno possa criar sua própria topologia de rede; não provê nenhum tipo de tecnologia para economia de espaço em disco.

III. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

A metodologia de avaliação empregada neste trabalho é quantitativa, sendo baseada na análise dos sistemas e na aplicação de um questionário de respostas fechado e auto aplicado, baseado na escala de Likert [26].

A. Requisitos

Para que seja possível avaliar os projetos de laboratórios virtuais, o primeiro passo é definir os requisitos necessários a um sistema de virtualização de laboratórios de redes de computadores.

Os requisitos apresentados nesta seção são um somatório dos requisitos propostos, principalmente, em [11], [13], [18] e [25] como requisitos necessários a qualquer laboratório virtual de redes.

a) Carregamento: o sistema deve permitir que o usuário carregue a definição de uma rede estando o arquivo de definição na conta do usuário no sistema ou em um outro local;

b) Custo Baixo: o sistema deve manter o custo de implantação o mais baixo possível, promovendo o emprego de hardware comum e software de baixo ou sem custo.

c) Customização: o sistema deve permitir que sejam feitas customizações de acordo com o interesse dos administradores, sem que isto implique em um aumento de custos. O software empregado em seu desenvolvimento deve ter o seu código-fonte disponível;

d) Defeitos: o sistema deve possibilitar ao usuário ao instrutor a definição de defeitos nos elementos da rede;

e) Eficiência: o sistema deve armazenar os projetos dos usuários de forma eficiente, sem replicar dados de forma desnecessária;

f) Escalabilidade: o sistema deve possibilitar o aumento de sua capacidade sem ter que ser reconstruído;

g) Hibernação: deve ser possível que os projetos dos usuários tenham o seu estado de operação congelado e salvo a qualquer momento para que possam ser retomados em um momento posterior com os mesmos estados quando da parada de funcionamento;

h) Igualdade de Acesso: não deve haver diferença na experiência de utilização entre um estudante que esteja acessando o sistema de fora do campus e um estudante que esteja acessando o sistema de um laboratório genérico de dentro do campus;

i) Imagem do Projeto: o sistema deve possibilitar a ge-

ração de uma imagem gráfica mostrando a totalidade da rede definida e, de preferência, de forma automática e dinâmica;

j) Interação: o sistema deve permitir que o instrutor interaja com os usuários para propor problemas nos projetos dos usuários, definir topologias de redes para os usuários, observar o funcionamento do projeto dos usuários e receber respostas dos usuários as suas propostas. Também deve permitir que seja possível criar grupos de usuários que trabalhariam em um mesmo projeto ou que poderiam interligar projetos diferentes;

k) Interface Amigável: o sistema deve prover uma interface de utilização que seja amigável, onde o foco do aprendizado se mantenha no conteúdo a ser ensinado e não na ferramenta usada para o ensino;

l) Multiplataforma: o sistema deve possibilitar que sejam criados servidores virtuais ou estações de trabalho virtuais com qualquer sistema operacional;

m) Realismo: o sistema deve permitir o acesso aos elementos da rede de forma realista. Por exemplo: computadores devem ter uma console ou tela gráfica de acesso para o usuário interagir; *switchs* devem possuir painel indicador de estado das portas, etc.

n) Reconfiguração dinâmica: o sistema deve permitir que um usuário faça modificações na topologia de sua rede enquanto a mesma está em funcionamento;

o) Redes Complexas: o sistema deve permitir a virtualização de redes complexas, que devem incluir servidores, estações de trabalho, *switches*, *hubs*, roteadores, *firewalls*, *gateways*, conexões ou cabos e nuvens. Sendo que nuvens são uma parte da rede sem controle do usuário e de topologia desconhecida, com um ponto de entrada e um ponto de saída, onde os pacotes podem sofrer de atraso aleatório, troca de ordem e decréscimo de *ttl* (*time to live*) aleatório;

p) Salvamento: o sistema deve permitir que um projeto de um usuário, ou seja a definição da sua rede, possa ser salvo a qualquer momento;

q) Segurança: o sistema deve prover o usuário com privilégios administrativos somente dentro da sua rede virtual. A conta de acesso ao sistema não deve ter nenhum privilégio administrativo;

r) Separação: o sistema deve proteger a rede de um usuário da interferência da rede de outro usuário;

s) Universalidade de acesso: não deve ser necessário um laboratório dedicado para a utilização do sistema, devendo ser possível acessar o sistema de qualquer computador disponível na instituição ou fora dela.

B. Avaliação Teórica

A Tabela I apresenta a consolidação de todos os requisitos para cada laboratório virtual avaliado de forma teórica. Esta avaliação foi baseada nas fontes consultadas sobre os sistemas analisados. Os pontos foram atribuídos para cada requisito da seguinte maneira: atende totalmente o requisito (1 ponto), atende parcialmente o requisito (0 ponto) e não atende o requisito (-1 ponto).

Conforme pode ser observado na Tabela I, os sistemas que apresentaram os melhores resultados foram o Marionnet e SOFTICE, portanto, esses foram os sistemas escolhidos inicialmente para a avaliação prática.

C. Avaliação Prática

O sistema SOFTICE foi o primeiro a ser analisado, porém não apresentou condições de ser instalado. Os *scripts* de instalação informados pelos desenvolvedores não foram disponibilizados no sítio do projeto, inviabilizando sua uti-

lização por terceiros. Por este motivo, o sistema foi considerado incompleto, sendo substituído pela ferramenta Netkit, a próxima com maior pontuação.

Tabela I - Avaliação teórica dos sistemas de laboratórios virtuais

Requisitos	Sistemas Avaliados				
	Marionnet	Netkit	SOFTICE	V-NetLab	Xen Worlds
Redes Complexas	1	1	1	0	1
Multiplataforma	-1	-1	-1	1	1
Separação	1	1	1	1	1
Segurança	1	1	1	1	1
Universalidade de Acesso	-1	-1	1	1	1
Igualdade de Acesso	1	1	1	1	1
Interface Amigável	1	1	-1	0	1
Imagem do projeto	1	1	-1	-1	-1
Realismo	1	0	0	-1	0
Hibernação	0	-1	-1	-1	-1
Salvamento	1	1	1	-1	-1
Carregamento	1	1	1	-1	-1
Reconfiguração Dinâmica	1	-1	-1	-1	-1
Defeitos	1	-1	-1	-1	-1
Interação	-1	-1	1	1	1
Escalabilidade	-1	-1	1	1	1
Eficiência	1	1	1	-1	-1
Custo Baixo	1	1	1	1	1
Customização	1	1	1	0	1
Total	10	4	6	0	4

Fonte: Autoria própria, 2011.

Para a avaliação prática foram disponibilizados computadores com ambos os sistemas instalados, Marionnet e Netkit, e proposta uma atividade. Esta atividade consistiu em criar quatro redes interligadas por roteadores e configurar o roteamento entre as mesmas, em cada um dos sistemas. Após a realização da atividade prática foi aplicado um questionário para verificar a impressão dos usuários sobre os sistemas.

IV. RESULTADOS OBTIDOS

O questionário foi aplicado em 28 alunos, sendo que 21 o devolveram totalmente respondido. A maior parte dos alunos são do Curso de Redes de Computadores, somando estes 68,18% dos entrevistados. Em segundo lugar ficou o curso de Ciência da Computação com ênfase em redes, somando 18,18 % dos entrevistados e o curso de Ciência da Computação com ênfase em software, em terceiro lugar, somando 13,64 % dos entrevistados.

A Tabela II mostra os resultados obtidos. Na avaliação teórica a máximo possível é de 19 pontos e na avaliação prática a máximo possível é de 1155 pontos. A pontuação máxima possível é em função das respostas dadas ao questionário com a escala de Likert, onde uma concordância total de todos os respondentes a todas as afirmações daria a pontuação de 1155 (concordância total - 5 pontos x 11 perguntas x 21 respondentes).

Tabela II - Porcentagem obtida da pontuação máxima possível

Sistema	Pontuação Obtida na Avaliação	
	Teórica (%)	Prática (%)
Netkit	21,05	70,04
Marionnet	52,63	83,98

Fonte: Autoria própria, 2011.

Comparando o resultado da avaliação teórica com o da

avaliação prática, temos que o sistema Marionnet obteve uma melhor avaliação em ambos os casos.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise dos sistemas de virtualização de laboratório de redes de computadores disponíveis na academia. Após uma extensa pesquisa bibliográfica definiu-se os requisitos considerados necessários a um sistema de virtualização de laboratório de redes para poder substituir um laboratório de redes com elementos físicos. Com base nesses requisitos, foram descobertos os dois melhores sistemas para a realização dos testes práticos: Marionnet e Netkit. Ambos os sistemas foram avaliados através de um questionário com respostas fechadas e auto-aplicado, sendo utilizado experimentalmente pelos alunos no momento da aplicação do questionário.

Após a análise ficou evidente que ambos os sistemas têm condições de substituir um laboratório real com maior (Marionnet) ou menor grau (Netkit) de satisfação dos usuários.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] DAMIANI, E.; FRATI, F.; REBECCANI, D. The open source virtual lab: a case study. In: WORKSHOP ON FREE AND OPEN SOURCE LEARNING ENVIRONMENTS AND TOOLS, 2006, Lugano, Switzerland. Proceedings... Lugano: NewMinE ePaper 6, 2006
- [2] KRISHNA, K. et al. V-NetLab: a cost-effective platform to support course projects in computer security. In: ANNUAL COLLOQUIUM FOR INFORMATION SYSTEMS SECURITY EDUCATION, 9th, 2005, Atlanta, Georgia. Proceedings... Disponível em: <<http://seclab.cs.sunysb.edu/seclab/pubs/ncisse05.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2011.
- [3] ANDERSON B. R.; DANIELS, T. E. Xen Worlds: Xen and the art of computer engineering education. In: ASEE ANNUAL CONFERENCE AND EXPOSITION, 2006, Chicago. Proceedings... Chicago: ASEE, 2006.
- [4] STEINEMANN, M. A.; BRAUN, T. Remote versus traditional learning in computer networks laboratory. In: COMMUNICATIONS AND COMPUTERS NETWORKS, 2002, Cambridge, USA. Proceedings... Cambridge, USA, 2002. p. 503-507.
- [5] NEDIC, Z.; MACHOTKA, J.; NAFALSKI, A. Remote laboratories versus virtual and real laboratories. In: ASEE/IEEE FRONTIERS IN EDUCATION CONFERENCE, 33rd, 2003, Boulder, USA. Proceedings... Boulder, USA: ASEE/IEEE, 2003. v. 1, p. T3E-1-T3E-6.
- [6] ANDERSON, B. R. Xen Worlds: creating a virtual laboratory environment for use in education. 2010. vi, 50 f. Tese (Mestrado) – Iowa State University, Ames, Iowa, 2010. Disponível em: <<http://archives.ece.iastate.edu/archive/00000538/01/thesis.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2011.
- [7] LAWSON, E. A.; STACKPOLE, W. Does a virtual networking laboratory result in similar student achievement and satisfaction? In: ACM SIGITE CONFERENCE ON INFORMATION TECHNOLOGY EDUCATION, 7th, 2006, New York. Proceedings... New York: ACM, 2006. p.105-114.
- [8] PEDROSO, C. M.; NABHEN, R. Projeto, implementação e operação de um laboratório para o ensino de redes convergentes. In: WORKSHOP DE EDUCAÇÃO EM INFORMÁTICA, 2005, São Leopoldo, RS. Anais... Disponível em: <<http://www.unisinos.br/~diversos/congresso/sbc2005/~dados/anais/pdf/arq0025.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2011.
- [9] STEINEMANN, M. A. Distributed architectures for laboratory-based e-learning. 2005. xiv, 235 f. Tese (Doutorado) – Universität Bern, Switzerland, 2005. Disponível em: <http://www.iam.unibe.ch/~rvs/research/pub_files/St05.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2011.
- [10] GASPAS, A.; LANGEVIN, S.; ARMITAGE, W. D. Inexpensive, scalable and transparent open source classroom management for linux-based laboratories. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING EDUCATION, INSTRUCTIONAL TECHNOLOGY, ASSESSMENT AND E-LEARNING, 2nd, 2006, Bridgeport, USA. Proceedings... Bridgeport, USA: EIAE, 2006. Disponível em: <<http://softice.lakeland.usf.edu/downloads/pubs/2006i.eiae.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2011.
- [11] LODDO, J. V.; SAIU, L. Marionnet: how to implement a virtual network laboratory in six months and be happy. In: ACM SIGPLAN WORKSHOP ON ML, 2007, Freiburg, Germany. Proceedings... New York: ACM, 2007.
- [12] WISEMAN, C. et al. Operational experience with a virtual networking laboratory. In: ACM TECHNICAL SYMPOSIUM ON COMPUTER SCIENCE EDUCATION, 39th, 2008, Portland, Oregon, USA. Proceedings... New York: ACM, 2008.
- [13] ARMITAGE, W. D.; GASPAS, A.; RIDEOUT, M. A UML and MLN based approach to implementing a networking laboratory on a scalable Linux cluster. Journal of Computing Sciences in Colleges, v. 23, issue 2, p. 112-119, Dec. 2007.
- [14] LODDO, J. V.; SAIU, L. Marionnet: a virtual network laboratory and simulation tool. In: SIMULATIONWORKS, 2008, Marseille, France. Proceedings... Disponível em: <<http://www-lipn.univparis13.fr/~saiu/marionnet-simulationworks2008.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2011.
- [15] MARIONNET.ORG: a virtual network laboratory. Paris, 2011. Disponível em: <<http://www.marionnet.org>>. Acesso em: 28 fev. 2011.
- [16] NETKIT. Roma, 2011. Disponível em: <<http://wiki.netkit.org>>. Acesso em: 28 fev. 2011.
- [17] RIMONDINI, M. Emulation of computer networks with Netkit. Roma: Università degli Studi di Roma Tre, 2007. Disponível em: <<http://wiki.netkit.org/publications/netkit-tr.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2011.
- [18] GASPAS, A. et al. SOFTICE: scalable, open, fully-transparent and inexpensive. In: CONFERENCE ON EDUCATION AND INFORMATION SYSTEMS TECHNOLOGIES, 2nd, 2004, Orlando. Clustering for education. Orlando: EISTA, 2004. Disponível em: <<http://www.poly.usf.edu/documents/ceread/docs/C15-EISTA-softice.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2011.
- [19] SOFTICE. Disponível em: <<http://softice.poly.usf.edu/>>. Acesso em: 28 fev. 2011.
- [20] ARMITAGE, W. D.; GASPAS, A.; RIDEOUT, M. Remotely accessible sandboxed environment with application to a laboratory course in networking. In: ACM SIGITE CONFERENCE ON INFORMATION TECHNOLOGY EDUCATION, 8th, 2007, New York. Proceedings... New York: ACM, 2007.
- [21] KATTA, V. V-NetLab: a test-bed for security experiments. 2006. vi, 45 f. Tese (Mestrado) – Stony Brook University, New York, 2006. Disponível em: <<http://seclab.cs.sunysb.edu/seclab/pubs/theses/varun.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2011.
- [22] SUN, W. et al. V-NetLab: an approach for realizing logically isolated networks for security experiments. In: CONFERENCE ON CYBER SECURITY EXPERIMENTATION AND TEST, 2008. Proceedings... Berkeley, USA: USENIX Association, 2008.
- [23] ANDERSON, B. R. Xen Worlds: creating a virtual laboratory environment for use in education. 2010. vi, 50 f. Tese (Mestrado) – Iowa State University, Ames, Iowa, 2010. Disponível em: <<http://archives.ece.iastate.edu/archive/00000538/01/thesis.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2011.
- [24] XEN WORLDS Project. Disponível em: <<http://home.eng.iastate.edu/~hawklan/xwindex.html>>. Acesso em: 28 fev. 2011.
- [25] ANDERSON B. R.; JOINES A. K.; DANIELS T. E. Xen Worlds: leveraging virtualization in distance education. In: ACM SIGCSE CONFERENCE ON INNOVATION AND TECHNOLOGY IN COMPUTER SCIENCE EDUCATION, 14th, 2009, New York. Proceedings... New York: ACM, 2009.
- [26] WAINER, J. Métodos de pesquisa quantitativa e qualitativa para a ciência da computação. In: ATUALIZAÇÃO EM INFORMÁTICA, 1., 2007, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Computação: Ed. da PUC-RJ, 2007. v. 1. p. 221-262.