

VNetLab - Uma ferramenta para ensino de redes de computadores usando virtualização

Paolo Cemim¹, Rogério Vieira¹, Tiago Ferreto¹

¹Faculdade de Informática
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS)
Porto Alegre – RS – Brazil

{paolo.cemim,rogerio.vieira}@acad.pucrs.br, tiago.ferreto@pucrs.br

Abstract. *The utilization of tools to teach computer networks is fundamental in order to guarantee a better understanding of its subjects by the students. This paper presents VNetLab, a tool to aid the teaching of computer networks using virtualization. VNetLab uses VirtualBox to create network topologies composed by virtual machines in a single physical machine. VNetLab enables the creation of network topologies using a graphical interface and the execution of experiments in an environment similar to the real one. In this paper, the components of VNetLab are described and also some examples of using the tool to teach computer networks are presented.*

Resumo. *O uso de ferramentas para o ensino de redes de computadores é fundamental para garantir uma maior assimilação dos conteúdos pelos alunos. Este artigo apresenta o VNetLab, uma ferramenta para ensino de redes de computadores utilizando virtualização. O VNetLab utiliza o software VirtualBox para criação de topologias de rede compostas por máquinas virtuais em uma única máquina física. Através do VNetLab é possível criar topologias de rede usando uma interface gráfica e realizar experimentos em um ambiente muito próximo do real. Neste artigo são apresentados os componentes que formam o VNetLab e também alguns exemplos de utilização da ferramenta no ensino de redes de computadores.*

1. Introdução

Assim como em outras áreas da computação, a área de redes de computadores exige a realização de aulas práticas para garantir uma maior assimilação pelos alunos dos conteúdos abordados [Goldstein et al. 2005]. Diferentes estratégias podem ser utilizadas para a realização das aulas práticas. Uma delas é utilizar um laboratório dedicado para aulas práticas de redes de computadores, onde o aluno pode realizar experimentos em um ambiente real. Outra abordagem é o uso de ferramentas que permitam a realização de experimentos em um ambiente simulado.

O uso de um laboratório dedicado apresenta como vantagem principal a experiência com máquinas e dispositivos reais, os mesmos que são utilizados em qualquer infraestrutura de redes de computadores. Porém, essa abordagem também apresenta alguns problemas. Nesse laboratório os alunos devem possuir a senha de administrador para realizar configurações dos dispositivos de rede, o que não é viável em um laboratório normal em uma instituição de ensino. Além disso, é necessário também um isolamento da rede

para que seja possível realizar alterações na rede e testes, como simulação de ataques, sem prejudicar a infra-estrutura de rede da instituição. Isso acaba também limitando o uso do laboratório somente para aulas de redes de computadores, diminuindo a flexibilidade do uso do mesmo laboratório por outras disciplinas e tornando-se uma solução relativamente cara.

Outra abordagem consiste no uso de ferramentas que tentam simular o funcionamento dos dispositivos de rede para a realização de experimentos. Esse tipo de ferramenta normalmente foca em algum tópico específico, limitando sua utilização de forma mais generalizada. Dessa forma, torna-se necessário utilizar diversas ferramentas para abordar os diversos assuntos da área de redes de computadores. No entanto, essas ferramentas funcionam sem a necessidade de acesso como administrador, podendo ser executadas em qualquer máquina, o que facilita sua utilização. Porém, devido a alta abstração utilizada pelas ferramentas, a aplicação direta do que foi aprendido com a ferramenta em um ambiente real nem sempre é possível.

Uma forma de fazer com que o aluno pratique em um ambiente próximo do real, porém sem a necessidade de um laboratório dedicado é através da utilização de máquinas virtuais. As máquinas virtuais permitem a criação em nível de usuário de topologias de rede virtuais bastante próximas dos ambientes reais. Além disso, a topologia de rede virtual pode ser completamente desvinculada da rede real garantindo uma maior segurança na execução de experimentos.

Neste artigo apresentamos a ferramenta *VNetLab* para auxiliar no ensino de redes de computadores. O *VNetLab* possui uma interface gráfica para facilitar a criação de topologias de rede e utiliza máquinas virtuais para representar cada elemento da rede. O sistema de virtualização utilizado é o VirtualBox [VirtualBox 2010] que apresenta como principais características o fato de ser multiplataforma e suportar a utilização de *templates* para criar máquinas virtuais com diversos sistemas operacionais.

O trabalho está dividido em 4 seções. A Seção 2 apresenta uma análise de diversos trabalhos relacionados. A Seção 3 apresenta uma descrição do *VNetLab* incluindo detalhes sobre seus componentes e suas principais funcionalidades. A Seção 4 descreve alguns cenários de utilização da ferramenta em uma aula de redes de computadores. A Seção 5 apresenta as conclusões do trabalho.

2. Trabalhos relacionados

Existem diversos trabalhos direcionados à implementação de ferramentas para ensino de redes de computadores. Esses trabalhos diferenciam-se basicamente pelo uso de técnicas de simulação ou virtualização. Alguns destes trabalhos são apresentados a seguir.

O Packet Tracer foi desenvolvido pela empresa Cisco Systems [Goldstein et al. 2005] com o propósito de auxiliar os alunos no estudo para certificação CCNA (*Cisco Certified Network Associate*). A ferramenta provê funcionalidades para suprir os assuntos abordados na certificação, que são: construção de redes, diagnóstico e reparos de erros no ambiente de redes de computadores. A ferramenta apresenta uma interface gráfica onde os dispositivos são arrastados para o ambiente de construção de topologia de rede e simula a configuração dos dispositivos de rede via linha de console. A sua utilização somente é autorizada por alunos matriculados nas Academias Cisco.

O Network Simulator (NS) [NS2 2010, NS3 2010] é um simulador de eventos discretos orientado para a simulação de redes de computadores. Alguns recursos fornecidos são: simulação do protocolo TCP, roteamento e protocolos multicast sobre redes com fio e sem fio. O NS é desenvolvido nas linguagens C++ e OTcl e é mantido por diversos grupos de pesquisadores. O usuário descreve uma topologia de rede escrevendo scripts OTcl e o NS simula a topologia com os parâmetros especificados. A versão 3 do NS (NS3) é a terceira geração dos simuladores NS onde muitas deficiências da versão 2 (NS2) foram corrigidas e adicionado o suporte à linguagem de programação Python.

O GTNetS (*Georgia Tech Network Simulator*) [Riley 2003] foi desenvolvido por George F. Riley do Instituto de Tecnologia da Georgia e consiste em uma biblioteca para linguagem C++ para simular redes de computadores. A criação de uma rede é similar a criação de um programa, utilizando o paradigma de orientação a objetos, através da criação de instâncias de objetos a partir das classes contidas nesta biblioteca. A principal finalidade desta biblioteca é o teste de protocolos em fase experimental.

O Velnet (*Virtual Environment for Learning Networking*) [Kneale et al. 2004] foi desenvolvido na Universidade de Tecnologia e Informação de Sydney. A ferramenta utiliza o software de virtualização VMWare WorkStation para criar uma rede virtual entre máquinas virtuais que utilizam Windows Server NT e Windows XP como sistemas operacionais. A ferramenta disponibiliza uma interface gráfica simples que utiliza a técnica de *drag-and-drop*. Para acessar um dos dispositivos da rede que está sendo montada é utilizado o *Remote Desktop Display*.

O GNS3 (*Graphical Network Simulator 3*) [GNS3 2010] é um simulador gráfico de redes de computadores que permite simular topologias complexas. Para realizar a simulação ele utiliza três módulos: Dynagen, Dynamips e Qemu. O Dynagen serve como uma interface de acesso ao Dynamips, que por sua vez permite a emulação dos sistemas operacionais dos roteadores Cisco. O Qemu é uma sistema de virtualização de licença livre que permite a execução de máquinas virtuais para interagir com a topologia simulada. O GNS3 é disponibilizado para diversas plataformas e permite realizar testes de configuração antes de aplicá-las em um ambiente de produção real.

O VNUML (*Virtual Network User Mode Linux*) [Galán et al. 2004] foi desenvolvido pela empresa Euro61X IST. Ele permite a simulação de redes de computadores GNU/Linux utilizando o módulo de virtualização do próprio sistema operacional, denominado UML (*User Mode Linux*). A criação de uma topologia de rede no VNUML inicia-se com a especificação do arquivo de texto em formato XML, contendo as informações relativas aos componentes da mesma.

O estudo realizado permitiu identificar as principais funcionalidades desejadas em uma ferramenta para auxiliar no ensino de redes de computadores. Inicialmente, é desejável que a ferramenta possua uma interface gráfica que facilite a criação de topologias de rede e execução de experimentos. A visualização da topologia graficamente facilita no processo de aprendizado dos alunos, assim como possibilita a construção rápida de topologias. Ferramentas como o NS2, NS3 e GTNetS não possuem uma interface gráfica, elas disponibilizam somente uma interface de programação para configurar a topologia desejada. Outro fator importante é a possibilidade de utilizar a mesma ferramenta para executar diferentes experimentos. As ferramentas GNS3 e Packet Tracer focam exclu-

sivamente em cenários abordados na certificação Cisco, o que dificulta a sua utilização em outros tipos de experimentos. Em relação as ferramentas que usam virtualização, é desejável que a ferramenta permita a execução de topologias de, pelo menos, um tamanho médio (dezenas de elementos). Devido ao uso do sistema operacional Windows pelo VNet, a sua utilização limita-se a topologias de pequeno porte pela alta demanda de recursos do sistema operacional Windows [Fernández et al. 2009]. Além disso, também é importante que a ferramenta possa ser utilizada em diversos tipos de ambiente, sem depender de uma configuração específica. O VNUML requer a execução em um sistema Linux com o módulo UML (*User Mode Linux*) habilitado. Isso acaba impedindo a sua utilização em outros sistemas operacionais.

Logo, algumas das funcionalidades que direcionaram a implementação do *VNetLab* são: interface gráfica para interação com o usuário, flexibilidade para criação de diversos tipos de cenários, suporte a topologias de médio a grande porte e possibilidade de ser utilizado em múltiplas plataformas. A próxima seção descreve a arquitetura e funcionamento do *VNetLab*.

3. *VNetLab*

O *VNetLab* é uma ferramenta de apoio para o ensino de redes de computadores que através da virtualização permite criar, executar e analisar os mais diversos tipos de cenários que podem se encontrados em uma rede de computadores. A ferramenta utiliza o software VirtualBox e a linguagem Java, que por serem multiplataforma, permitem o uso da ferramenta em diversos sistemas operacionais como: GNU/Linux, Windows e Mac OS. A arquitetura do *VNetLab* é composta por 3 módulos. Estes módulos são: módulo de interface com o usuário, módulo de descrição da topologia e módulo de controle de máquinas virtuais. A Figura 1 mostra a arquitetura do *VNetLab* e a interação entre os módulos.

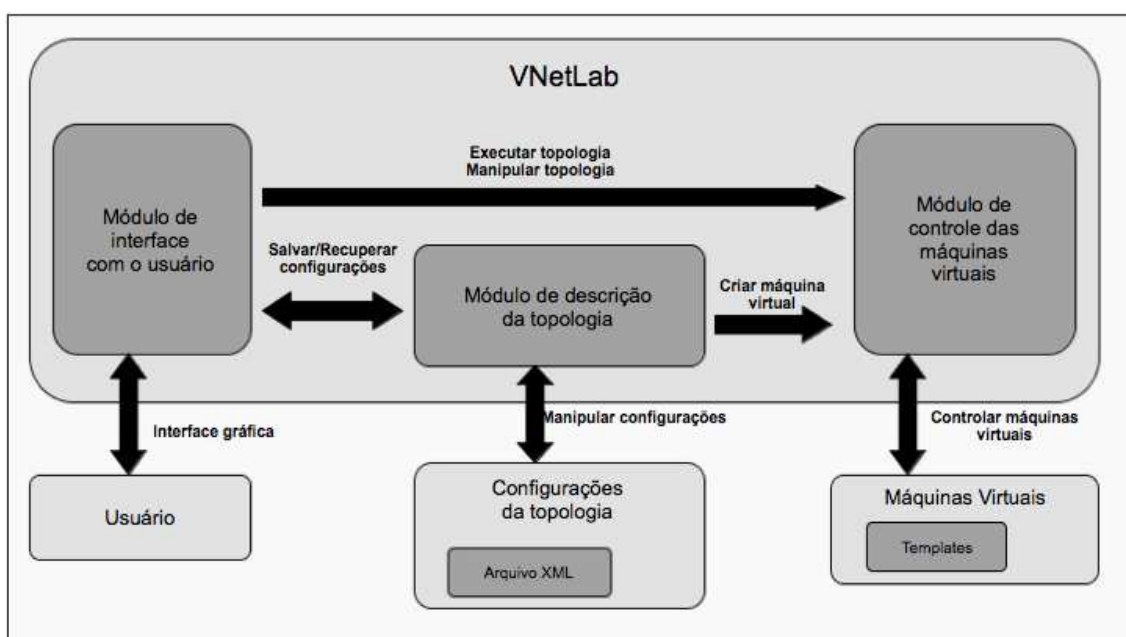


Figura 1. Arquitetura do *VNetLab*

3.1. Módulo de interface com o usuário

O módulo de interface com o usuário consiste na interface gráfica do *VNetLab* onde o usuário interage com a ferramenta. A Figura 2 apresenta a interface gráfica do *VNetLab*. Através da interface é possível realizar as seguintes operações:

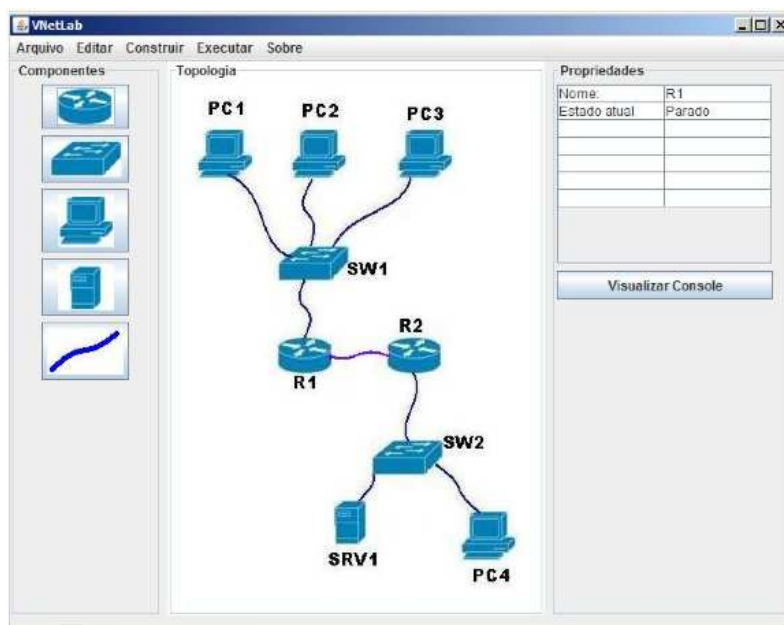


Figura 2. Interface gráfica do *VNetLab*

Manipulação de projetos A interface permite criar novos projetos, salvar os dados do projeto atual e abrir um projeto salvo anteriormente. Em cada projeto constam dados relativos a topologia criada e as configurações de cada elemento de rede. Este arquivo inclui também os diretórios onde foram criadas as máquinas virtuais correspondentes a topologia.

Manipulação de elementos de uma topologia A manipulação dos elementos da topologia é realizada através do mecanismo de *drag-and-drop*. Os elementos de rede, presentes em uma paleta de opções, são arrastados para a imagem da topologia. Posteriormente, estes componentes podem ser ligados através de linhas que representem conexões de rede.

Configuração dos elementos Cada elemento da topologia refere-se a uma máquina virtual ou componente de rede virtual. É possível configurar individualmente cada elemento indicando detalhes como: *template* utilizado pela máquina virtual e configuração dos recursos da máquina virtual (processador, memória e interfaces de rede).

Controle da simulação A interface permite controlar a execução da simulação através de operações que permitem inicializar ou parar cada elemento da topologia. Também é possível realizar o salvamento da execução corrente dos elementos para posterior restauração.

Interação com os elementos da topologia Após realizar a inicialização de um elemento de rede, é possível interagir com o mesmo através de uma janela que representa a interface da máquina virtual que representa o elemento. A comunicação com a

interface da máquina virtual é realizada utilizando-se o protocolo *VirtualBox Remote Desktop Protocol* (VRDP) que é compatível com protocolo *Remote Desktop Protocol* (RDP).

Os elementos suportados atualmente pelo *VNetLab* são: estações de trabalho, servidores, switches e roteadores. O *VNetLab* utiliza *templates* para a criação da máquina virtual que representa cada elemento de rede. Um *template* é uma imagem contendo um sistema operacional instalado e aplicações pré-configuradas. Os *templates* permitem a criação rápida das máquinas virtuais que compõem uma topologia com uma configuração pronta, evitando a instalação manual da máquina virtual.

Um dos principais problemas no uso de virtualização para simular topologias de rede é a baixa escalabilidade devido a necessidade de recursos de memória e processamento para cada máquina virtual. Desta forma, com o objetivo de minimizar esse problema os *templates* utilizados pelo *VNetLab* são baseados na distribuição SliTaz [Slitaz 2010]. O SliTaz é uma mini-distribuição Linux que utiliza poucos recursos computacionais. Por exemplo, é possível executar o SliTaz com apenas 64 MBytes de memória RAM e 150 MBytes de disco. Outro ponto importante é a existência de um repositório com diversos pacotes. Alguns destes pacotes, como por exemplo o iproute2, traceroute e wireshark, são utilizados nos *templates* utilizados pelo *VNetLab* para auxiliar na construção e análise dos cenários criados. Além disso, é possível instalar aplicativos adicionais em cada máquina virtual caso o *template* utilizado não possua. Apesar da utilização do SliTaz, o *VNetLab* também suporta máquinas virtuais usando outros sistemas operacionais e distribuições como Windows, Linux e FreeBSD. Desta forma, é possível analisar cenários usando topologias de rede com sistemas heterogêneos.

Atualmente, o *VNetLab* provê um *template* contendo a instalação padrão do SliTaz para representar estações de trabalho e servidores. O objetivo de utilizar dois elementos distintos é para permitir diferenciar as características de cada elemento na visualização da topologia, apesar de utilizarem como base o mesmo *template*. Os switches são criados logicamente pelo VirtualBox através da criação de redes internas que formam um switch lógico para comunicação entre as máquinas virtuais. Os roteadores utilizam também um *template* baseado no SliTaz, porém com a adição do software Quagga [Quagga 2010]. O Quagga é uma suíte de software de roteamento que fornece a implementações dos protocolos OSPF, RIP e BGP. O roteador é o único elemento que está obrigatoriamente ligado a uma plataforma específica, devido ao fato do Quagga ser utilizado somente em plataformas Unix.

3.2. Módulo de descrição da topologia

O módulo de descrição da topologia é responsável por salvar e abrir os arquivos de cenários criados pelo usuário através do módulo gráfico, com dados relativos a topologia e seus elementos. As informações são salvas em um arquivo XML guardando informações a respeito da topologia, incluindo a posição na tela dos elementos, imagens de máquina virtual vinculadas a cada elemento e configuração das máquinas virtuais.

3.3. Módulo de controle de máquinas virtuais

O módulo de controle das máquinas virtuais tem como principal funcionalidade a execução e gerência das máquinas virtuais criadas na topologia. Esse módulo interage com o

VirtualBox através do comando VBoxManage. O VBoxManage possibilita a criação e configuração de máquinas virtuais através de instruções em linha de comando. O VBoxManage está incorporado em todas as versões do VirtualBox com a mesma sintaxe, permitindo o uso do *VNetLab* em diferentes versões do VirtualBox.

4. Cenários de utilização

O *VNetLab* permite a execução de diversos cenários para a análise e estudo de redes de computadores. Alguns destes cenários são descritos a seguir.

Projeto de redes A interface gráfica do *VNetLab* permite a criação de topologias simples utilizando servidores, roteadores e switches. Através da instanciação das máquinas virtuais que representam os elementos de rede é possível exercitar o processo de atribuição de endereços e analisar diversas soluções, por exemplo, através do uso de subredes. A monitoração dos links de comunicação permite avaliar o tráfego de rede gerado para diversas configurações.

Análise de protocolos de roteamento O *VNetLab* disponibiliza para criação de topologias um elemento roteador que é implementado pelo software Quagga. O Quagga implementa diversos protocolos de roteamento (RIP, OSPF e BGP) e permite a configuração detalhada destes protocolos. Através da monitoração dos roteadores é possível analisar, por exemplo, a alteração de rotas devido as mudanças da topologia. Também é possível realizar a implementação e teste de outros protocolos de roteamento através da criação de um novo *template* que seja utilizado para representar o elemento roteador.

Gerência de redes Devido a utilização de templates baseados na distribuição SliTaz e a grande quantidade de pacotes disponibilizados pela distribuição, é possível montar no *VNetLab* uma topologia de rede, executando sobre a mesma um ambiente de gerência composto por gerentes e agentes que comunicam-se usando um protocolo de gerência (por exemplo, o SNMP). Utilizando-se essa topologia gerenciada, é possível realizar testes que demonstrem a necessidade de gerenciar falhas, configuração, contabilidade, desempenho e segurança (FCAPS) em uma rede de computadores. Além disso, torna-se possível também testar novos agentes, gerentes e protocolos de gerência no ambiente controlado disponibilizado pela topologia de rede virtual.

Além dos cenários apresentados, diversos outros cenários podem ser implementados no *VNetLab* devido a sua alta flexibilidade. Uma das vantagens do *VNetLab* é que cada cenário pode ser salvo e carregado posteriormente para realização de testes, diminuindo consideravelmente o tempo de *setup* do ambiente.

5. Conclusão

Este trabalho apresentou o *VNetLab*, uma ferramenta para auxiliar no ensino de redes de computadores. A ferramenta possui como principal característica o uso de máquinas virtuais. O *VNetLab* possui uma interface gráfica que facilita a construção de topologias de rede variadas. A instanciação dos elementos da topologia é realizado utilizando-se o VirtualBox. Cada topologia é armazenada em um arquivo XML, que pode ser carregado posteriormente para continuar a execução de uma topologia previamente configurada.

Os elementos de rede são mapeados no *VNetLab* para máquinas virtuais que utilizam a distribuição SliTaz. O SliTaz apresenta uma demanda mínima por recursos, facilitando a realização de testes com um maior número de elementos. Devido a utilização do VirtualBox, o *VNetLab* permite a execução de diversas máquinas virtuais com diversas configurações e sistemas operacionais na mesma topologia. Além disso, a sua instalação também é simplificada pelo fato do VirtualBox executar como uma simples aplicação do sistema operacional, ao contrário de outros sistemas de virtualização como Xen e VMWare ESX.

Referências

- Goldstein, C., Leisten, S., Stark, K., and Tickle, A. (2005) "Using a network simulation tool to engage students in active learning enhances their understanding of complex data communications concepts." In: Proceedings of the 7th Australasian Conference on Computing Education - Volume 42 (Newcastle, New South Wales, Australia). A. Young and D. Tolhurst, Eds. ACM International Conference Proceeding Series, vol. 106. Australian Computer Society, Darlinghurst, Australia, 223-228.
- VirtualBox. Disponível em: <http://www.virtualbox.org>. Acesso em: 10 de junho de 2010.
- Galán, F., Fernández, D., Ruiz, J., Walid, O., Miguel, T. (2004) "Use of Virtualization Tools in Computer Network Laboratories." In: Proceedings of the 5 th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training, 209–214, Istanbul, Turkey, May 31 - June 2, 2004.
- GNS3 - Graphical Network Simulator. Disponível em: <http://www.gns3.net/>. Acesso em: 08 de abril de 2010.
- Kneale, B., De Horta, A. Y., and Box, I. (2004) "Velnet: virtual environment for learning networking." In: Proceedings of the Sixth Conference on Australasian Computing Education - Volume 30 (Dunedin, New Zealand). R. Lister and A. Young, Eds. ACM International Conference Proceeding Series, vol. 57. Australian Computer Society, Darlinghurst, Australia, 161-168.
- NS2. Disponível em: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>. Acesso em: 10 de junho de 2010.
- NS3. Disponível em: <http://www.nsnam.org/>. Acesso em: 10 de junho de 2010.
- Riley, G. F. (2003) "The Georgia Tech Network Simulator." In: Proceedings of the ACM SIGCOMM Workshop on Models, Methods and Tools For Reproducible Network Research (Karlsruhe, Germany, 2003). MoMeTools '03. ACM, New York, NY, 5-12.
- SliTaz. Disponível em: <http://www.slitaz.org>. Acesso em: 10 de junho de 2010.
- Quagga. Disponível em: <http://www.quagga.net>. Acesso em: 10 de junho de 2010.
- Fernández, A., Ruiz, Maria. (2009). "Windows versus Linux."XII Congresso ibero-americano de internet, telecomunicações e sociedade da informatica.