



Crédito: Gael Rocha - Coletivo Frame

O Uso de Simuladores no Ensino de Redes de Computadores

The Use of Simulators in Teaching Computer Networks

Resumo

Este trabalho apresenta um estudo que utiliza simuladores no ensino prático de redes de computadores em cursos de graduação e técnico. Os simuladores de redes complementam o ensino diante das restrições orçamentárias para a montagem de um parque tecnológico de redes que seja próximo ao encontrado no meio empresarial. Foram utilizados três dos principais simuladores de redes de computadores existentes no trabalho. O estudo comparativo destes simuladores em práticas de laboratório é analisado e agrupado em diferentes categorias. Critérios quantitativos e qualitativos foram analisados de forma a expor as características de cada simulador e o impacto no aprendizado do aluno em diferentes momentos do seu ciclo acadêmico. Os resultados do trabalho demonstraram uma mudança na escolha dos simuladores a medida em que o aluno aumenta o grau de conhecimento prático e teórico nas disciplinas de redes de computadores. Os resultados demonstram também que a utilização dos simuladores aumenta a capacidade do aluno em lidar com os desafios tecnológicos encontrados no mercado de trabalho e também na área de pesquisa.

Palavras-chave: Redes, Simuladores, NS3.

Dalbert Matos Mascarenhas
Felipe da Rocha Henriques

dalbert.mascarenhas@cefet-rj.br

Centro Federal de Educação
Tecnológica Celso Suckow da
Foseca - CEFET

Abstract

This work presents a study of network simulators in teaching computer networks for undergraduate and technical courses. The network simulators complement the teaching in the face of budget constraints for assembling a technological network park on educational institutions similar to the business environment. We use three of the leading network simulators in our work. First, the practical comparison of these simulators in laboratory practices is analyzed and later grouped into different categories. Then, quantitative and qualitative criteria were analyzed to expose each simulator's characteristics and the impact on student learning at different stages in the academic cycle. This work demonstrated a change in the choice of the simulators as the student increases the degree of practical and theoretical knowledge in computer networks. The results also demonstrate that the network simulators increase the student's ability to deal with technology challenges found in the job market and the research area.

Keywords: Network, Simulators, NS3.

INTRODUÇÃO

Atualmente diversas técnicas têm sido elaboradas com o objetivo de capacitar o aluno em cursos de graduação em Ciência da Computação ou Engenharia da Computação. Estes cursos apresentam um conteúdo programático de redes de computadores em seu currículo, incluindo variadas matérias relacionadas às redes de computadores. Estas matérias apresentam uma restrição no quantitativo máximo de equipamentos que uma instituição está capacitada a adquirir. Essa restrição se dá basicamente em função do elevado preço dos equipamentos de rede e do custo da infraestrutura necessária para a elaboração e manutenção dos equipamentos de interligação. O avanço tecnológico destes equipamentos tem se desenvolvido desde os primórdios da internet. Inicialmente, a internet era apenas uma rede militar, desde essa época as redes de computadores têm evoluído de forma rápida frente a crescente diversidade de aplicações comerciais. Estes avanços tecnológicos, incluindo os avanços das aplicações de tecnologia da informação e comunicação, trouxeram ainda mais influências significativas nas economias globais.

O avanço nas tecnologias de redes de computadores tem criado uma demanda crescente de profissionais que estejam capacitados em diversos protocolos de comunicação e roteamento de diversos fabricantes de dispositivos. No entanto, o contato direto do estudante com diversos equipamentos de fabricantes diferentes impõe uma restrição orçamentaria. Segundo Hassan, a baixa disponibilidade de equipamentos adequados para o ensino de redes de computadores está relacionada à velocidade da evolução tecnológica e aos custos de manutenção de laboratórios experimentais.

A evolução das tecnologias de redes pode tornar um parque tecnológico, de uma instituição de ensino atrasado em um curto espaço de tempo. Em alguns casos esse espaço de tempo pode consistir de poucos anos. Isto provoca déficit na atualização dos equipamentos, e impacta a disponibilidade de tecnologia que o aluno encontra em sua instituição. Dessa forma, as tecnologias encontradas nas instituições de ensino são em muitos casos deficitárias quando comparadas com as tecnologias encontrada no mercado de trabalho. As empresas, por uma característica competitiva, tendem a possuir um parque tecnológico mais atualizado (GREENBERG *et al*, 2008). Diante deste problema as instituições de ensino se deparam com um problema: como atualizar seu parque tecnológico com o orçamento reduzido? Descarte de materiais de redes de computadores. Estes materiais podem representar um elevado custo na logística de remoção e ainda trazer problemas ambientais. Dos equipamentos de redes, principalmente os mais antigos, possuem metais pesados em sua constituição.

A modernização do ensino trouxe também desafios referentes aos cursos na modalidade à distância. Nestes cursos parte do aprendizado do aluno pode ser obtido em casa através de vídeo aulas e materiais online. No caso de redes de computadores, o custo dos equipamentos reduz a quantidade de material tecnológico. Dessa forma, a falta destes equipamentos em casa provoca uma perda de produtividade no aprendizado do conteúdo das matérias que tem como núcleo redes de computadores.

Uma das soluções para estes problemas está no uso de simuladores de redes no ensino de redes de computadores. Os simuladores de rede possibilitam que uma instituição de ensino aborde de forma teórica e prática diversos protocolos e equipamentos que teriam altos custos de manutenção e atualização. Além da redução de custos, os simuladores de redes propiciam uma maior agilidade na preparação das aulas de laboratório. Isto porque o professor não precisa realizar procedimentos como cabeamento e configurações prévias de sistemas operacionais de roteadores e outros dispositivos de interligação. Outro ponto positivo no uso de simuladores de rede é a possibilidade de complementação de aulas fora da instituição, como por exemplo, na própria casa do aluno. Esta possibilidade ocorre devido a facilidade de instalação e configuração dos simuladores que podem ser usados em computadores pessoais e até mesmo em celulares e *tablets*.

O objetivo deste trabalho é analisar os principais simuladores de redes de computadores existentes e fazer um comparativo prático do uso dos mesmos em ambiente de sala de aula. Critérios quantitativos e qualitativos foram analisados de forma a expor as características de cada simulador e o impacto no aprendizado do aluno em diferentes momentos do seu ciclo acadêmico.

A sessão de Método que descreve os simuladores e faz um levantamento das funcionalidades práticas que podem ser utilizadas nos cenários de ensino-aprendizado. A sessão Resultados apresenta o estudo qualitativo e quantitativo das ferramentas de simulação de redes e os impactos gerados ao longo do período de avaliação. A sessão de Conclusão que aponta os principais pontos abordados no trabalho e relaciona-os com o a evolução do aprendizado com o uso dos simuladores de rede.

MÉTODOS

Os simuladores escolhidos foram selecionados por métricas de grau de complexidade de utilização e caracterização das tecnologias de rede apresentadas. Dentre os simuladores existentes foram escolhidos três: GNS3, NS3 e Packet Tracer. A seguir um breve resumo dos simuladores será apresentado e posteriormente será descrito a metodologia de implantação dos simuladores de rede nas disciplinas.

O Packet Tracer é um simulador de redes que permite a criação e testes de redes de computadores com vários pontos de comunicação de forma rápida e prática. O simulador apresenta uma interface gráfica que possibilita que parte da configuração seja feita arrastando ícones representando roteadores e outros dispositivos para a tela da interface de visualização. Além da configuração em modo de texto similar ao que é encontrado em dispositivos como roteadores, o Packet Tracer possibilita também que parte da configuração de dispositivos como computadores, instâncias básicas de roteadores e switches sejam configurados utilizando uma interface gráfica intuitiva. A parte relacionada ao cabeamento e interligação dos dispositivos, que tende a apresentar alto grau de complexidade em uma rede real, é simplificada pela interface de apresentação do sistema de cabeamento e interligação do simulador. O sistema de cabeamento e interligação proporciona também uma ajuda automática da ferramenta que pode indicar para o aluno qual seria o melhor cabeamento e interface para operar aquele dispositivo utilizado na simulação.

Outra característica deste simulador é a possibilidade de representar cenários complexos de redes com diferentes dispositivos de interligação em uma única máquina hospedeira. Esta máquina hospedeira pode ser um computador caseiro ou mesmo *Tablets*. Esta facilidade de execução em dispositivos simples aumenta a aceitação do simulador por parte dos usuários. O simulador também apresenta uma ferramenta que simula a inspeção de pacotes de trafegados na rede. Utilizando esta ferramenta de inspeção, o aluno pode verificar os dados propagados entre uma aplicação cliente-servidor ou mesmo dados relacionados aos protocolos de roteamento.

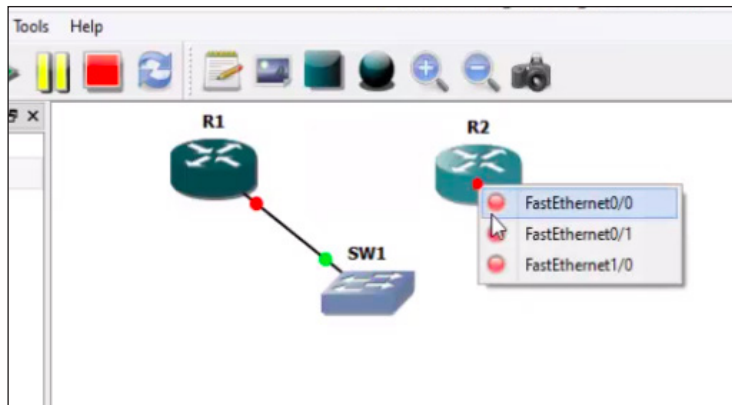


Figura 1 - Visualização de uma topologia de rede usando o GNS3

Fonte: elaboração própria

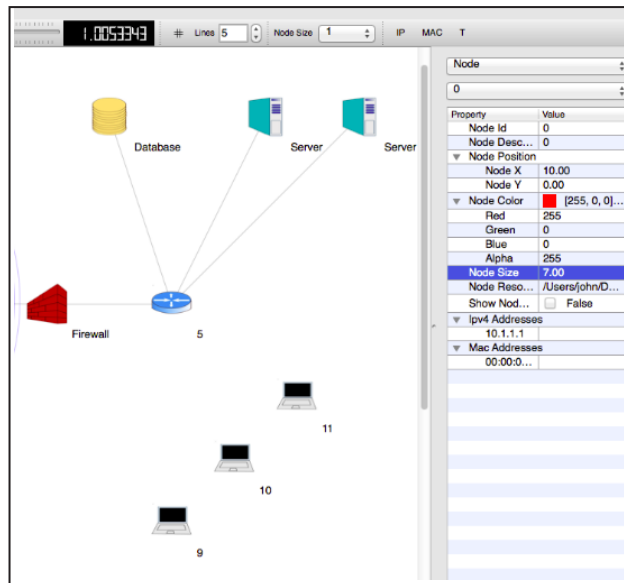
GNS3 - (Graphical Network Simulator-3) é amplamente utilizado na virtualização de redes incluindo suporte às redes Cisco. Este simulador também é conhecido como virtualizador de redes pois proporciona que o usuário utilize o próprio sistema operacional (IOS) dos roteadores Cisco. Esta virtualização de sistema operacional traz algumas vantagens ao GNS3. A primeira delas é a proximidade com o cenário real encontrado nas redes empresariais. Este cenário mais realista está ligado a necessidade de configuração dos equipamentos de uma forma mais detalhada do que por exemplo o Packet Tracer. O nível de configuração do GNS3 é tão fidedigno que o aluno se depara com os principais problemas de configuração e manutenção de roteadores e switches existentes em redes comerciais..

Outra vantagem é que a virtualização do GNS3 pode ser equiparável à uma rede real na qual alunos podem utilizar configurações em texto plano. Dessa forma, essas configurações podem ser utilizadas no simulador e em roteadores reais. Esta facilidade possibilita que testes iniciais sejam feitos no simulador antes de implementá-los em ambientes empresariais em funcionamento. Outra vantagem é a capacidade do aluno testar módulos experimentais no simulador e analisar possíveis sobrecargas e loops de roteamento antes de iniciar um projeto prático. O GNS3 possibilita também que uma rede simulada possa se comunicar com uma rede real.

Esta característica amplia o escopo de utilização da ferramenta para configurações de redes piloto que posteriormente serão anexadas às redes reais. Além da integração com redes reais o GNS3 possibilita a integração com o VirtualBox. Esta integração permite a utilização de clientes e servidores de aplicação virtualizados em um mesmo ambiente de rede. Os clientes e servidores podem ser de diferentes sistemas operacionais como Windows e Linux.

Figura 2 - Visualização de uma topologia de rede do NS3

Fonte: elaboração própria



NS3- (Network Simulator) é uma evolução do NS2, no entanto não mantém compatibilidade com sua versão mais antiga. Um dos pontos que diferenciam o NS3 de sua versão antiga é a representação mais realística de modelos de comunicação e protocolos. O simulador também incorpora em sua criação outros dois simuladores: Georgia Tech Network Simulator (GTNetS) e o YANS Simulator. Como ferramenta de ensino-aprendizado, o NS3 apresenta uma vasta gama de protocolos e dispositivos que podem ser simulados. Dentre estes dispositivos e protocolos existe uma alta porcentagem de tecnologias que não são tão difundidas no meio empresarial e algumas outras que estão em fase de desenvolvimento. O simulador conta com uma comunidade atuante que promove ajuda aos seus membros e inclusive correções no código do simulador. O NS3 permite a criação de protótipos mais avançados e inclusive a criação de protocolos novos, motivo pelo qual também é amplamente utilizado em pesquisas de desenvolvimento de novas tecnologias. Apesar de ser um simulador mais robusto e permitir a simulação de tecnologias ainda em estado experimental, o simulador apresenta uma curva de aprendizado maior em função da complexidade para estruturar os cenários de simulação.

Tabela I - Características de uso e requerimentos dos simuladores.

Características	Packet Tracer	GNS3	NS3
Hardware Necessário	Baixo	Alto	Médio
Módulos Adicionais	Nenhum	IOS	Módulos Opcionais
Nível de Simulação	Software	Hardware	Hardware Avançado
Conexão com Rede Real	Não	Sim	Sim
Análise de Protocolos	Próprio Simulador	Ferramenta externa de Análise	Ferramenta externa de Análise e Módulos Adicionais

A Tabela I apresenta as principais características dos simuladores escolhidos neste trabalho. A análise do hardware necessário está diretamente ligada ao custo das máquinas que serão usadas para hospedar os simuladores. O simulador que apresenta o melhor desempenho neste quesito é o Packet Tracer, no entanto este simulador também apresenta limitações no nível de simulação que podem ser obtidos durante as práticas de laboratório. Quanto aos módulos adicionais, investigou-se a necessidade de módulos ou softwares adicionais após a instalação dos simuladores. O Packet Tracer não necessita de módulos adicionais. No entanto, o GNS3 necessita do software operacional dos roteadores (IOS). Em relação à conectividade com a rede real analisou-se quais dos simuladores estariam aptos a realizar comunicação com dispositivos reais e servidores de aplicação hospedados em máquinas reais. O outro ponto para escolha destes simuladores foi a forma de analisar os protocolos. Esta possui vários graus de detalhamento e quanto maior esse grau, maior é o conhecimento adquirido pelo aluno. Os simuladores GNS3 e NS3 necessitam de uma ferramenta externa para a análise dos protocolos de comunicação. Apesar desta necessidade o nível de detalhamento de informações que estes simuladores apresentam é superior ao Packet Tracer. Além disto a representação dos detalhes de comunicação dos protocolos pode ser visualizada de forma didática com ferramentas como o WireShark.

Os três simuladores, Packet Tracer, GNS3 e NS3, foram utilizados na contextualização entre teoria e prática. Foram inseridos inicialmente como ferramenta complementar de apoio. Simuladores foi no âmbito de disciplinas de rede que possuem uma carga horária de laboratório.

A introdução do ensino com as ferramentas inicia-se com uma exposição pedagógica do simulador e posteriormente aulas práticas introdutórias. Durante as aulas práticas, o aluno adquire familiaridade com os simuladores e gradualmente aprofunda seu conhecimento na ferramenta. Após a fase de ambientação e familiarização, o aluno é motivado a exercitar sua criatividade. Como não há limite financeiro e estrutural na criação de redes e protocolos de comunicação em simuladores, o aluno tem a liberdade de inclusive fazer alterações e criação de novos protocolos de comunicação.

Posteriormente, quando aplicável, os alunos realizam estudos de casos nos simuladores e em seguida conduzem testes de validação em redes reais. Dependendo do número de alunos e tamanho do laboratório, se faz necessária uma redução na escala da rede simulada e a rede real. O objetivo desta abordagem é trazer a percepção ao aluno, de que o simulador pode também ser utilizado como um ambiente controlado de testes antes de ser aplicado em redes reais.

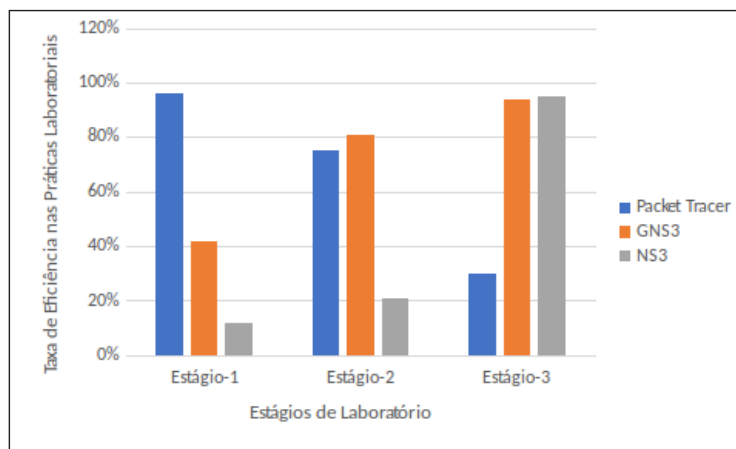
RESULTADOS

Os testes foram realizados utilizando os simuladores em diferentes matérias de redes de computadores. O motivo está em perceber o grau de aceitação dos alunos em relação à complexidade dos simuladores propostos nas aulas de laboratório. Para a divisão dos assuntos praticados em laboratório, utilizou-se as camadas do modelo OSI para fazer o agrupamento de assuntos pertinentes ao grau de evolução do aluno.

O modelo OSI é amplamente utilizado na padronização de protocolos e no ensino de redes de computadores devido à divisão do modelo de comunicação de redes em sete camadas. Utilizando é possível dividir as matérias à medida em que o nível de complexidade dos assuntos abordados nas matérias de redes de computadores evolui. Desta forma foram criadas três divisões de assuntos, seguindo o modelo OSI, classificadas neste trabalho como Estágio-1, Estágio-2 e Estágio-3. Estas classificações, podem estar presentes em diferentes matérias de redes de computadores ou até mesclados em uma mesma matéria. A combinação do material proposto nos Estágios vai depender da carga horária de laboratório da disciplina.

Figura 3 - Taxa de eficiência dos simuladores em diferentes estágios de laboratório.

Fonte: Elaboração própria.



Em Estágio-1, são apresentados os conceitos das camadas Física, Enlace e Redes. Durante fase de testes do conteúdo programático proposto em laboratório observou-se que o simulador Packet Tracer obteve maior aceitação pelos alunos, conforme Figura. O motivo para este comportamento se deve ao grau de conhecimento do aluno na área de redes de computadores e às facilidades de manipulação de dispositivos e redes no Packet Tracer. Devido ao simulador apresentar uma interface de montagem de rede na qual o aluno pode inclusive arrastar ícones de roteadores e switches e conseqüentemente ir montando a topologia de rede, este simulador atraiu a atenção dos alunos em laboratório. Os simuladores GNS3 e NS3 obtiveram uma menor aplicabilidade em laboratório devido ao grau superior de complexidade para experimentos iniciais. Esta complexidade resultou em uma menor taxa de aceitação conforme apresentado na Figura.

O Estágio-2, apresenta os conceitos das camadas de Redes, Transporte, Sessão, Apresentação e Aplicação. Nesta etapa o aluno já apresenta os conceitos básicos de redes e é capaz de discernir sobre diferentes tipos de topologias e protocolos de roteamento como o OSPF, RIP e EIGRP. Portanto, são inseridos novos conteúdos práticos nos simuladores como a criação e configuração de servidores de aplicação. Utilizando o conceito de transporte o aluno pode verificar através de testes em redes reais e em simuladores a teoria sobre as portas da camada de Transporte e sua ligação com os processos das aplicações servidoras. Durante o Estágio-2 os simuladores Packet Tracer e GNS-3 são mais indicados.

O Packet Tracer por possuir uma simulação de alguns servidores básicos limita a simular funcionalidades básicas dessa gama restrita de servidores e não configurações mais avançadas. O GNS-3 possibilita que esses servidores sejam levantados individualmente virtuais, preservando a capacidade integral do servidor de aplicação. Para o Estágio-2 o NS3 apresentou grau de complexidade acima do Packet Tracer e do GNS3. Dessa forma, essa maior complexidade do NS3 reduziu sua aceitação na laboratorial, conforme demonstrado na Figura.

O Estágio-3 pode ser incluído em matérias mais avançadas onde as outras camadas descritas já são de conhecimento do aluno. Neste estágio o aluno está preparado para fazer experimentos com servidores mais avançados e também trabalhar com a segurança da informação. Trata-se de um estágio interessante para ensinar técnicas de segurança, introduzindo protocolos de segurança e servidores de aplicação auxiliares que também atuarão na segurança da informação. Parte dos testes podem ser feitos utilizando a virtualização dos servidores de aplicação e a virtualização do ambiente de rede, similar ao encontrado em ambientes empresariais. A outra parte inclui a utilização de protocolos experimentais que possibilitam inclusive que o aluno possa contribuir com parte de sua implementação. Para o Estágio-3, os simuladores que apresentam uma melhor eficácia no ensino-aprendizado são os GNS3 e NS3, conforme demonstrado na Figura. O NS3 se sobressai na alta flexibilidade e possibilidade de trabalhar com protocolos experimentais e padronizados [10]. Dentre estes protocolos existem os protocolos para redes sem fio que impõe muitas vezes a necessidade de uma rede diversificada em número equipamentos, mas que com o NS3 podem ser simulados de forma eficiente. O Packet Tracer para este estágio não apresentou as funcionalidades necessárias estudos mais avançados em protocolos e mecanismos de comunicação. Isto porque o Packet Tracer é majoritariamente utilizado para simulação de redes que apresentam dispositivos CISCO.

Tópicos de Comparação	Estágio-1	Estágio-2	Estágio-3
Conteúdo Programático	Nível Básicas de Redes	Nível Intermediário de Redes	Nível Avançado de Redes
Práticas	Individual	Individual e grupo	Individual e grupo
Curva de Aprendizado	Rápida	Regular	Lenta
Processamento Requerido	Baixo	Alto	Alto
Memoria Requerida	Baixo	Alto	Alto
Dificuldade de Operação	Baixa	Intermediária	Alta
Limitação Topológica	Somente Roteadores Cisco	Limitada pelos recursos da máquina	Limitada pelos recursos da máquina

Tabela II - Apresentação dos tópicos abordados nos diferentes Estágios de aprendizado em laboratório.

A Tabela II apresenta a comparação das principais características que são usadas para delimitar a separação das turmas em Estágio-1, Estágio-2 e Estágio-3. O conteúdo programático é o primeiro ponto que separa os diferentes estágios de aprendizado do aluno. Sendo o estágio inicial com o simulador Packet Tracer e posteriormente aumentando a complexidade até os simuladores GNS3 e NS3. As práticas em laboratório podem individuais ou em grupos, sendo neste quesito o

Packet Tracer apresenta limitações no compartilhamento da rede simulada com diferentes sistemas hospedeiros. Esta limitação faz com que este simulador seja mais indicado para práticas individuais em laboratório. A curva de aprendizado está diretamente ligada à quantidade de funcionalidades encontradas nos simuladores. Desta forma, o tempo em carga horária para a absorção do conhecimento em laboratório é maior em simuladores que apresentam um maior nível de detalhamento, quantidade de protocolos e variedade de dispositivos. Portanto, dependendo da carga horária do curso a escolha do simulador pode ter alto impacto no aprendizado. As questões relacionadas à memória requerida e processamento requerido são maiores no GNS3 e NS3. Isto porque estes simuladores permitem uma virtualização do cenário de forma mais realista, possibilitando inclusive a virtualização de servidores de aplicação. A dificuldade de operação está relacionada ao tempo que o aluno demora para realizar uma prática laboratorial utilizando o simulador. Este tempo se reduz a medida em que o aluno se familiariza com a ferramenta de simulação. A limitação na topologia está relacionada ao que o simulador é capaz de realizar utilizando diferentes dispositivos de comunicação e protocolos. O Packet Tracer apresenta limitações em sua simulação topológica relacionada a dispositivos Cisco. O GNS3 se limita às IOS de roteadores suportados pelo simulador. Por outro lado, o NS3 possibilita que sejam simulados diversos dispositivos de comunicação e protocolos.

CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho permitiram observar a importância da atualização do docente, frente as novas tecnologias que podem ser utilizadas para enriquecer o aprendizado do corpo discente. A utilização de simuladores de redes para complementar o ensino de matérias de redes de computadores representou um grande avanço no ensino-aprendizado. Este avanço proporcionou um maior contato do aluno com tecnologias que são utilizadas no mercado de trabalho. Dessa forma, aumentando a probabilidade de maior empregabilidade.

Os simuladores reduzem o custo operacional na montagem de laboratórios de redes de computadores para cursos de graduação e cursos técnicos. Dentre estes custos, estão o custo de maquinário especializado e a logística de movimentação e descarte de dispositivos de comunicação obsoletos. Vale ressaltar que a prática de laboratório com simuladores é usada como complemento às práticas com redes reais e que podem inclusive serem utilizadas simultaneamente com simuladores que permitem isso como o GNS3 e o NS3.

A utilização de simuladores de redes em cursos de graduação de computação contribuiu para reduzir o tempo de preparação da prática de laboratório. Esta redução no tempo se deve a uma organização das práticas que podem inclusive ser copiadas e disponibilizadas na Internet para acompanhamento do aluno.

Os testes demonstraram que os simuladores possuem uma maior aceitação por parte dos alunos em função do grau de conhecimento do aluno na matéria. Desta forma, simuladores mais básicos e com interface de configuração visual tendem a ser mais aceitos para uma turma de iniciantes em redes de computadores. Já para turmas mais avançadas, os simuladores que apresentam uma maior quantidade

de dispositivos e funcionalidades produzem resultados mais eficazes. Portanto, os simuladores de redes provam ser de fundamental importância nas matérias de redes de computadores e tendem a ganhar cada vez mais espaço nos currículos didáticos.

REFERÊNCIAS

- CISCO, P. T. Disponível em: <https://www.netacad.com/pt-br/courses/packet-tracer>. Acesso em 8 (2018).
- EMILIANO, R., ANTUNES, M. **Automatic network configuration in virtualized environment using gns3**. In *Computer Science & Education (ICCSE)*, 2015 10th International Conference on (2015), IEEE, pp. 25–30.
- FORTZ, B., THORUP, M. **Internet traffic engineering by optimizing ospf weights**. In *INFOCOM 2000. Nineteenth annual joint conference of the IEEE computer and communications societies. Proceedings. IEEE (2000)*, vol. 2, IEEE, pp. 519–528.
- FREZZO, D. C., BREHENS, J. T., MISLEVY, R. J., WEST, P., DICERBO, K. E. **Psychometric and evidentiary approaches to simulation assessment in packet tracer software**. In *Networking and Services, 2009. ICNS'09. Fifth International Conference on (2009)*, IEEE, pp. 555–560.
- GREENBERG, A., HAMILTON, J., ALTZ, D. A., ATEL, P. **The cost of a cloud: research problems in data center networks**. *ACM SIGCOMM computer communication review* 39, 1 (2008), 68–73.
- HAN, B., JI, L., LEE, S., MILLER, R. R., BHATTACHARJEE, B. **Channel access throttling for improving wlan qos**. In *SECON (2009)*, pp. 1–9.
- HASSAN, E. B. **Laboratório virtual 3d para ensino de redes de computadores**. In *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE) (2003)*, vol. 1, pp. 654–663.
- HO, J. C. **Evolution of computer networks: A theory of technological paradigm, trajectory, and regime**. In *Technology Management for Emerging Technologies (PICMET), 2012 Proceedings of PICMET'12: (2012)*, IEEE, pp. 1273–1278.
- KHAN, A. R., BILAL, S. M., OTHMAN, M. **A performance comparison of open source network simulators for wireless networks**. In *Control System, Computing and Engineering (ICCSCE), 2012 IEEE International Conference on (2012)*, IEEE, pp. 34–38.
- NETANIM, N.-N. S. Disponível em: <https://www.nsnam.org/wiki/file:netanim3.png>. Acesso em 8 (2018).
- OREBAUGH, A., RAMIREZ, G., BALE, J. **Wireshark & Ethereal network protocol analyzer toolkit**. Elsevier, 2006.
- RILEY, G. F. **The georgia tech network simulator**. In *Proceedings of the ACM SIGCOMM workshop on Models, methods and tools for reproducible network research (2003)*, ACM, pp. 5–12.
- SIMULATOR, G.-G. N. Disponível em: <http://www.gns3.com/>. Acesso em 8 (2018).
- SIMULATOR, N.-N. S. Disponível em: <https://www.nsnam.org/>. Acesso em 8 (2018).
- SUN, L., WU, J., ZHANG, Y., YIN, H. **Comparison between physical devices and simulator software for cisco network technology teaching**. In *Computer Science & Education (ICCSE), 2013 8th International Conference on (2013)*, IEEE, pp. 1357–1360.
- THORENOOR, S. G. **Dynamic routing protocol implementation decision between eigrp, ospf and rip based on technical background using opnet modeler**. In *Computer and Network Technology (ICNT), 2010 Second International Conference on (2010)*, IEEE, pp. 191–195.
- VELIEVA, T. R., KOROLKOVA, A. V., KULYABOV, D. S. **Designing installations for verification of the model of active queue management discipline red in the gns3**. In *Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), 2014 6th International Congress on (2014)*, IEEE, pp. 570–577.
- WAITZMAN, D., PARTRIDGE, C., DEERING, S. E. **Distance vector multicast routing protocol**. Tech. rep., 1988.
- WATSON, J. **Virtualbox: bits and bytes masquerading as machines**. *Linux Journal* 2008, 166 (2008), 1.
- WELSH, C. **GNS3 network simulation guide**. Packt Publ., 2013.