

REDEVIR: alocação de REcursos, gerenciamento e DEsempenho em VIRTualização de funções de rede

Edital MCTI/CNPq N^o 01/2016 - Universal

Coordenador:

Rodrigo de Souza Couto – Professor Adjunto
Programa de Engenharia Eletrônica – PEL
Departamento de Eletrônica e Telecomunicações – DETEL
Faculdade de Engenharia – FEN
Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ

Resumo

As redes de computadores atuais empregam equipamentos denominados *middleboxes* para auxiliar no processamento de pacotes. Os *middleboxes* geralmente são projetados para uma função de rede específica, como *firewall*, balanceamento de carga, detecção de intrusão, entre outras. Por um lado, o uso de um equipamento próprio para uma certa função possibilita um melhor desempenho, visto que o *hardware* é otimizado para executar uma determinada tarefa. Por outro lado, essa abordagem dificulta a expansão do serviço e a inclusão de novas funcionalidades na infraestrutura. Para contornar esse problema, empresas de telecomunicações têm concentrado esforços na Virtualização de Funções de Rede (NFV - *Network Functions Virtualization*). O NFV consiste na utilização de equipamentos genéricos que possuem uma camada de virtualização, permitindo que diversas funções de rede compartilhem o mesmo *hardware* e fornecendo flexibilidade no gerenciamento da infraestrutura. Apesar de ser promissor e já possuir implantações bem-sucedidas, existem ainda diversos desafios relacionados a NFV. Por exemplo, um deles é desenvolver algoritmos eficientes de alocação das funções de rede virtualizadas (VNFs - *Virtualized Network Functions*) na infraestrutura. Isso é importante visto que a demanda das VNFs pode alterar dinamicamente e a infraestrutura deverá assegurar os níveis de desempenho contratados. Além disso, um determinado serviço pode necessitar de diversas VNFs encadeadas, cujo posicionamento na infraestrutura deverá ser cuidadosamente organizado. Assim, um dos objetivos do REDEVIR é propor soluções eficientes de alocação de recursos, cujo foco é o posicionamento de VNFs na infraestrutura física considerando suas necessidades específicas. Outro aspecto abordado nesse projeto é a queda de

desempenho imposta por soluções de virtualização. Para tal, o REDEVIR atuará na análise de diferentes soluções de virtualização, alinhada com verificação dos requisitos dos diversos tipos de função de rede. Além desses desafios científicos, este projeto abordará o desafio tecnológico de integrar em uma arquitetura de NFV conceitos mais consolidados como Redes Definidas por Software (SDN - *Software-defined Networking*) e Computação em Nuvem. Essa integração é importante para permitir automatização e flexibilidade no gerenciamento de uma arquitetura NFV, e terá como resultado a construção de um protótipo NFV. Além disso, os resultados do REDEVIR permitirão a divulgação científica das propostas desenvolvidas bem como o treinamento de mão de obra nas áreas relacionadas.

1 Identificação da Proposta

1.1 Título do projeto:

REDEVIR: alocação de REcursos, gerenciamento e DEsempenho em VIRTualização de funções de rede

1.2 Área do conhecimento:

Ciências Exatas e da Terra; Ciência da Computação; Sistemas de Computação; Teleinformática.

1.3 Palavras-chave:

Virtualização de funções de rede, computação em nuvem, redes definidas por software.

1.4 Coordenação:

Rodrigo de Souza Couto – Prof. Adjunto
Departamento de Eletrônica e Telecomunicações – DETEL
Programa de Engenharia Eletrônica – PEL
Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ

2 Qualificação do Problema

Uma rede de computadores possui diversos elementos que atuam no encaminhamento de pacotes, denominados *middleboxes*. Esses elementos executam diferentes funções de rede e são tradicionalmente implementados por equipamentos proprietários e específicos. Por exemplo, uma determinada função de rede, como um *firewall* ou sistema de detecção de intrusão, é realizada por um equipamento dedicado para tal tarefa. Por um lado, o uso de um equipamento próprio para uma certa função possibilita um melhor desempenho, visto que o *hardware* é otimizado para executar uma determinada tarefa. Por outro lado, essa abordagem dificulta a expansão do serviço e

a inclusão de novas funcionalidades na infraestrutura [1]. A expansão é prejudicada pela necessidade de adquirir um novo equipamento específico caso o atual esteja operando em sua capacidade máxima. Além disso, diversos equipamentos podem permanecer ociosos por longos períodos enquanto outros estiverem saturados, visto que funções diferentes de rede não podem compartilhar o mesmo *hardware*. A inclusão de novas funcionalidades possui como barreira a necessidade de procedimento de implementação física de equipamento (p. ex., importação e/ou entrega do mesmo, alocação de espaço e sua instalação na infraestrutura existente) a cada novo serviço adicionado.

Para permitir uma maior eficiência no uso da infraestrutura, facilidade de expansão e de inovação em redes de computadores, emprega-se o conceito de Virtualização de Funções de Rede (NFV - *Network Functions Virtualization*) [2]. Esse novo conceito possibilita que serviços de redes, como *firewalls*, roteadores, sistemas de detecção de intrusão, balanceadores de carga e outros, possam ser implementados de forma que não dependam de hardwares específicos ao seu funcionamento. Dessa forma, as funções de rede executam em servidores de uso geral através de soluções de *software* fornecidas pelo fabricante. Além disso, esses servidores são virtualizados, permitindo que diversas funções de rede executem em um mesmo servidor. A Figura 1 apresenta uma visão geral da arquitetura NFV. A infraestrutura de base para o serviço de NFV é chamada de NFVI (NFV *Infrastructure* - Infraestrutura NFV). A Camada de Virtualização, implementada por soluções como o KVM [3] e o Open vswitch [4], permite que os recursos de hardware sejam virtualizados. O KVM, por exemplo, virtualiza recursos de computação (isto é, CPU e memória) através de uma camada de software chamada hipervisor, que se situa entre o *hardware* do servidor físico e as máquinas virtuais (VMs - *Virtual Machines*), que consistem em uma fatia de recursos de computação virtualizados¹. O hipervisor controla o acesso ao *hardware* de cada servidor e realiza alocação dos recursos destinados às VMs, permitindo um isolamento entre elas. Dessa forma, diversas VMs podem compartilhar o mesmo servidor. Assim, em uma determinada arquitetura, cada função de rede pode ser implementada por uma VM diferente. Essas funções de rede são denominadas, no contexto de NFV, de VNFs (*Virtual Network Functions* - Funções de Rede Virtualizadas). Tanto as VNFs quanto a NFVI são gerenciadas pelo componente denominado MANO (*Management and Orchestration* - Gerenciamento e Orquestração), detalhado mais adiante.

A utilização de virtualização permite, além do compartilhamento de um mesmo *hardware* por diversas VNFs, que os recursos destinados a cada uma sejam ajustados de acordo com a sua demanda. Por exemplo, cada VM referente a uma função de rede possui uma determinada capacidade de CPU e memória ajustada pelo hipervisor. Caso uma determinada VNF necessite de mais recursos de um servidor, sua capacidade pode ser aumentada se existirem recursos ociosos, como aqueles alocados às VNFs que estejam com baixa utilização. Essa característica, denominada de elasticidade, é também comum em sistemas de computação em nuvem, que possibilita o acesso remoto a um conjunto de recursos computacionais. No modelo de nuvem Infraestrutura como Serviço (IaaS - *Infrastructure as a Service*), o cliente terceiriza sua infraestrutura de TI, executando seus serviços dentro de máquinas virtuais (VMs - *Virtual Machines*) hospedadas na infraestrutura física do provedor. Nesse sentido as VMs podem ser dimensionadas sob demanda

¹Existem camadas de virtualização que não implementam máquinas virtuais, como as soluções de contêineres. Entretanto, ao longo do texto, o nome VM será utilizado para identificar qualquer abstração de computação virtual, seja ela por contêiner ou por máquina virtual.

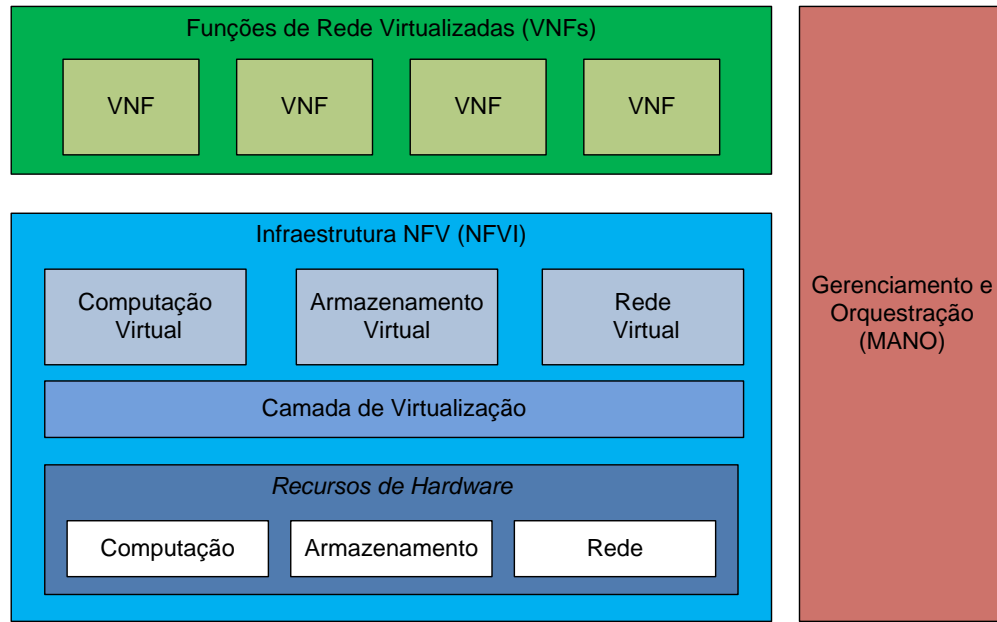


Figura 1: Visão Geral da Arquitetura NFV. Adaptado de [5]

de acordo com as necessidades do cliente, semelhante ao caso do NFV. A diferença, entretanto, é o fato de as VMs no NFV executarem serviços de rede enquanto as VMs de um serviço de nuvem IaaS poderem ser de uso genérico.

O compartilhamento de características, como a virtualização e a elasticidade, permite que diversos conceitos e mecanismos de computação em nuvem sejam aplicados em sistemas NFV [1]. Por exemplo, orquestradores de nuvem IaaS podem ser aplicadas em infraestruturas NFV. Esses orquestradores são ferramentas empregadas na nuvem que gerenciam os recursos virtuais e são instaladas tanto nos servidores de VM (isto é, máquinas que possuem hipervisores) quanto nos servidores de controle. Os orquestradores possuem como funções a escolha dos servidores de VMs utilizados para atender cada requisição dos usuários, o fornecimento de interface gráfica de administração e utilização da infraestrutura, a autenticação de usuários e administradores do sistema, entre outras. Diversos orquestradores de nuvem possuem código aberto, sendo os principais o OpenStack ² e o CloudStack ³, possuindo uma grande comunidade de desenvolvedores e usuários. O Openstack, por exemplo, fornece uma solução completa de gerenciamento de nuvens, possuindo APIs (*Application Programming Interfaces* - Interfaces de Programação de Aplicativos) de gerenciamento, interface gráfica de gerenciamento, escalonadores de máquinas virtuais etc.

O NFV, alinhado com os mecanismos computação em nuvem, permite facilitar o gerenciamento de serviços de redes em relação às tecnologias tradicionais, oferecendo maior capacidade de automação e disponibilização de serviços e recursos de rede [6]. Orquestradores de nuvem, em especial o OpenStack, servem como base para infraestruturas NFV [7]. Basicamente, esses orquestradores são utilizados para gerenciar a Infraestrutura NFV (NFVI), que consiste em recursos

²<http://www.openstack.org>

³<http://cloudstack.apache.org>

de computação, rede e armazenamento. Alguns esforços do OpenStack vão além do gerenciamento da NFVI, incluindo o gerenciamento do ciclo de vida das VNFs, além do escalonamento das VNFs pela infraestrutura e definição de políticas de utilização. Nesse contexto, o OpenStack atua no componente MANO da Figura 1.

Além da utilização de soluções para Computação em Nuvem em NFV, outro conceito que auxilia o gerenciamento e orquestração da arquitetura é o de Redes Definidas por Software (SDN - *Software-defined Networking*) [8]. O conceito de SDN visa separar o plano de dados do plano de controle de uma rede de computadores. Em redes SDN, o plano de dados é responsável apenas por encaminhar pacotes de uma interface a outra de um elemento de comutação, sendo executado pelos comutadores. O plano de controle, no qual se situam as decisões de roteamento na rede, é executado por um elemento central que se comunica e configura os comutadores através de protocolos específicos, como o OpenFlow [9]. Essa separação permite que os elementos de comutação sejam simples e configuráveis por um elemento remoto e centralizado, que executa o plano de controle, atuando como um controlador da rede. Essa centralização flexibiliza o gerenciamento da rede, pois facilita a implementação de novos mecanismos de roteamento e engenharia de tráfego, além de facilitar sua configuração. Dado que em uma arquitetura de NFV existem diversas redes virtuais a serem gerenciadas e configuradas, soluções de SDN podem facilitar as operações relacionadas ao MANO [2].

Apesar da integração natural de NFV com tecnologias de Computação em Nuvem e SDN, muitos pontos ainda encontram-se em aberto. Por exemplo, o ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) identificou diversos pontos nos quais o OpenStack não atende aos requisitos de NFV [10]. Por exemplo, o OpenStack não suporta a reserva de recursos de rede e não possui uma descrição formal dos requisitos de QoS (*Quality of Service* - Qualidade de Serviço). Atualmente já existe uma preocupação da comunidade com esses requisitos sendo, por exemplo, considerados nos projetos do OpenStack Blazar⁴ e Neutron⁵. A integração de SDN com NFV também possui desafios importantes. Por exemplo, o NFV necessita de gerenciamento até a camada de aplicação, mas soluções de SDN como o OpenFlow manipulam apenas informações até a camada de transporte [1]. **Dessa forma, o primeiro problema a ser investigado neste projeto é a integração do NFV com os conceitos de SDN e Computação em Nuvem, de forma a facilitar sua função de gerenciamento e orquestração (MANO).**

Outra facilidade oferecida pelo NFV é a flexibilidade no Encadeamento de Funções de Serviço (SFC - *Service Function Chaining*). O SFC consiste no encadeamento do tráfego por diversas *middleboxes*. Por exemplo, o pacote necessita ser processado por um *firewall* e um NAT (*Network Address Translation* - Tradução de Endereço de Rede) antes de chegar ao seu destino. Em redes tradicionais, isso é realizado pela manipulação manual de rotas. Além disso, como os equipamentos são fisicamente instalados, muitas vezes o posicionamento das *middleboxes* pode não ser adequado para uma determinada SFC [11]. O NFV facilita o encadeamento, pois as VNFs são soluções de *software* e podem ser posicionadas de forma automática e dinâmica de acordo com os requisitos de um determinado SFC. Esses requisitos podem estar relacionados a métricas de QoS (p.ex., latência e banda disponível), como também em termos de resiliência (p.ex., disponibilidade do serviço e

⁴Blazar - <https://wiki.openstack.org/wiki/Blazar>

⁵Neutron - <https://wiki.openstack.org/wiki/Neutron>

tempo de reestabelecimento após uma falha). Assim, quando um determinado SFC é solicitado para a infraestrutura, primeiramente escolhe-se quais VNFs farão parte do encadeamento. Em seguida, escolhe quais servidores físicos irão hospedar cada VNF. Esse tipo de posicionamento ainda é um problema pouco abordado na literatura, apesar da sua importância para adoção do NFV. A literatura nessa área consiste na proposta de algoritmos de otimização para considerar os diversos requisitos necessários [11, 12, 13]. **Assim, o segundo problema a ser investigado neste projeto é a alocação de recursos em NFV, mais especificamente relacionada às estratégias de posicionamento das VNFs na infraestrutura, considerando requisitos de QoS e de resiliência, bem como o encadeamento de serviços.**

Um outro desafio importante de NFV é oferecer às aplicações virtualizadas um desempenho satisfatório, quando comparado a soluções em hardware dedicado [1]. Com a virtualização, as aplicações muitas vezes possuem desempenho inferior às soluções nativas (isto é, sem virtualização). Isso ocorre pois as operações das VMs precisam ser interceptadas pelo hipervisor para garantir isolamento entre essas VMs. Por exemplo, em [14], experimentos em um dado ambiente de testes mostraram que, para uma mesma configuração de hardware, roteadores de software executando sistemas Linux nativos conseguem encaminhar pacotes a uma taxa de 1,2 Mpacotes/s, enquanto em uma solução virtualizada com o Xen [15] o encaminhamento de pacotes possui uma taxa de 0,2 Mpacotes/s. Consequentemente, aplicações que necessitem de uma alta taxa de encaminhamento podem apresentar baixo desempenho se utilizarem a virtualização tradicional, o que é um desafio para a implantação de serviços NFV. Diversas técnicas de virtualização podem ser utilizadas para melhorar o desempenho das VNFs oferecidas. Uma alternativa é a virtualização por contêineres, que separa aplicações virtuais em um mesmo sistema operacional, sem a interferência de um hipervisor. O principal benefício da virtualização baseada em contêineres é prover um desempenho próximo ao do sistema operacional nativo [16]. Como desvantagem em relação à virtualização por hipervisores, pode ser citado o isolamento, visto que todas as aplicações compartilham um mesmo sistema operacional. Outra opção para melhorar o desempenho de VNFs é oferecer acesso direto ao *hardware*. Por exemplo, a tecnologia SR-IOV (*Single Root I/O Virtualization*) [17] permite que as VMs acessem diretamente o dispositivo de rede. Dado o exposto, é necessário analisar quais soluções de virtualização são mais adequadas a um determinado tipo de VNF, dependendo de requisitos como o desempenho e isolamento. Além disso, é importante verificar quais funções de rede não poderiam ser virtualizadas, pois devem executar em sistemas nativos ou até com *hardware* dedicado. Esse assunto é um tema ainda aberto na pesquisa de NFV [1]. **Sendo assim, o terceiro problema a ser investigado neste projeto é o desempenho de VNFs e a adequação de cada uma às soluções de virtualização existentes.**

Esta proposta de projeto está organizada da seguinte forma. A Seção 3 descreve os objetivos gerais e específicos, bem como as metas definidas no REDEVIR. A Seção 4 descreve os indicadores referentes a essas metas, enquanto a Seção 5 detalha a metodologia a ser empregada. A Seção 6 descreve as principais contribuições científicas e tecnológicas que serão geradas pelo projeto. O orçamento necessário para a execução do REDEVIR é descrito na Seção 7, enquanto a Seção 8 detalha o cronograma de atividades. Os participantes do projeto estão descritos na Seção 9, e a Seção 10 evidencia o interesse de empresas no tema do REDEVIR. Os possíveis colaboradores para o projeto são evidenciados na Seção 11. A Seção 12 detalha a infraestrutura já existente para

a execução do projeto e a Seção 13 descreve as outras possíveis fontes de recursos. Por fim, a Seção 14 descreve o plano de atividades da bolsa de Iniciação Científica solicitada no projeto.

3 Objetivos e Metas

Este projeto possui quatro objetivos gerais. O primeiro objetivo é fomentar a pesquisa em NFV e em conceitos relacionados como SDN e Computação em Nuvem, colocando o grupo envolvido em posição ativa na comunidade científica internacional. Para tal, serão propostos mecanismos de integração de NFV com SDN e Computação em Nuvem, algoritmos de alocação de recursos e metodologias para analisar o desempenho das VNFs. O segundo objetivo é capacitar alunos de graduação e pós-graduação nas tecnologias envolvidas. Esse objetivo será alcançado no projeto devido ao uso prático de ferramentas dessa área alinhado com os conhecimentos científicos adquiridos ao longo do projeto. Por exemplo, os participantes do projeto aprenderão a configurar e operar orquestradores de nuvem, como OpenStack. Além disso, os algoritmos desenvolvidos neste projeto poderão ser implementados nesse orquestrador. O terceiro objetivo é disseminar o conhecimento obtido, abordando assuntos sobre o tema em cursos da graduação e pós-graduação. Por fim, englobando todos os demais objetivos, esse projeto visa despertar nos alunos de graduação o interesse pela pesquisa e auxiliar os alunos de pós-graduação na conclusão de suas dissertações.

3.1 Objetivos Específicos

Para a conclusão dos objetivos gerais mencionados anteriormente, este projeto visa cinco objetivos específicos, detalhados a seguir.

3.1.1 Objetivo 1 - Formação de Recursos Humanos

Este objetivo, que serve como base para todos os demais objetivos, visa treinar pessoal nas tecnologias e conceitos envolvidos no REDEVIR, como NFV, SDN, Computação em Nuvem e otimização. Assim, espera-se a conclusão de trabalhos de conclusão de curso e dissertações de Mestrado no tema do projeto. Além disso, os resultados do projeto REDEVIR permitirão incluir o conteúdo estudado nas disciplinas de graduação e pós-graduação da UERJ.

3.1.2 Objetivo 2 - Análise de desempenho de camadas de virtualização

Em relação às tecnologias de virtualização, este projeto objetiva criar um *testbed* para avaliar o desempenho de VNFs (*Virtualized Network Functions*). Cada solução de virtualização será analisada em relação à capacidade de transmissão, processamento, utilização de memória do dispositivo hospedeiro e isolamento entre as VNFs.

3.1.3 Objetivo 3 - Integração da arquitetura NFV com ferramentas de SDN e Computação em Nuvem

Este objetivo consiste na implementação de um protótipo NFV, que se beneficie de funcionalidades oferecidas por soluções de SDN e Computação em Nuvem. Para tal, será necessário adaptar essas soluções ao contexto de NFV, que é uma preocupação crescente na maioria nas comunidades de desenvolvimento.

3.1.4 Objetivo 4 - Proposta de mecanismos de posicionamento de VNFs

Neste objetivo serão propostos mecanismos de alocação de recursos em NFV, mais especificamente relacionados às estratégias de posicionamento das VNFs na infraestrutura, considerando requisitos de QoS e de resiliência. Esses mecanismos serão validados de forma teórica e experimental a partir dos algoritmos de otimização propostos. Após a validação, esses algoritmos poderão ser implementados no protótipo implementado na conclusão do Objetivo 3.

3.1.5 Objetivo 5 - Disseminação dos Resultados

Os resultados obtidos no projeto serão publicados em revistas ou anais de congressos internacionais ou brasileiros. Os principais meios de divulgação deste tipo de trabalho são os congressos da Sociedade Brasileira de Computação, do IEEE, IFIP e ACM e dos periódicos do IEEE, ACM, Elsevier entre outros editores científicos. Os resultados científicos e tecnológicos obtidos poderão ser utilizados como base para outros projetos nacionais e internacionais que o proponente venha a participar.

3.2 Metas

O projeto REDEVIR possui as seguintes metas:

3.2.1 Meta 1 - Elaboração de uma disciplina de otimização

Esta meta consiste na elaboração de uma disciplina de Programação Linear, que é um conceito básico de otimização, aplicada a redes de telecomunicações na pós-graduação do Programa de Engenharia Eletrônica. Esta meta está relacionada com o Objetivo 1.

3.2.2 Meta 2 - Atualização de duas disciplinas

Esta meta, relacionada com o Objetivo 1, consiste na atualização da disciplina “Computadores Digitais II”, da graduação, e na disciplina “Tópicos Especiais em Redes de Telecomunicações”, da pós graduação. Na graduação, a atualização será apenas a inclusão de NFV como exemplo, devido ao seu conteúdo básico. Na pós-graduação, NFV será um tópico completo do programa da disciplina.

3.2.3 Meta 3 - Defesa de seis projetos de fim de curso

Esta meta consiste na defesa de projetos de fim de cursos dos três alunos de graduação já envolvidos no projeto, além de estimar que mais três novos alunos abordarão o tema do REDEVIR nos próximos 36 meses. Esta meta está relacionada com o Objetivo 1.

3.2.4 Meta 4 - Defesa de três dissertações de Mestrado

Esta meta consiste na defesa de dissertação dos três alunos de Mestrado envolvidos no projeto. Esta meta está relacionada com o Objetivo 1.

3.2.5 Meta 5 - Publicação de cinco artigos em conferências nacionais ou internacionais

Esta meta, relacionada com todos os objetivos do projeto, visa disseminar os resultados iniciais da integração de NFV com SDN e Computação em Nuvem, dos mecanismos de alocação de recursos e da análise de desempenho.

3.2.6 Meta 6 - Publicação de três artigos em periódicos internacionais

A partir da realimentação obtida pela comunidade científica, referente às publicações da Meta 5, os trabalhos poderão ser estendidos e publicados em periódicos internacionais. Esta meta também está relacionada a todos os objetivos do projeto.

3.2.7 Meta 7 - Implantação de um protótipo experimental de NFV

Para alcançar o Objetivo 3, nesta meta será criado um protótipo NFV, a partir da instalação de ferramentas, como o OpenStack e o OpenFlow, em máquinas já existente no laboratório e outras orçadas neste projeto. As ferramentas instaladas poderão ser modificadas e aprimoradas de acordo com os requisitos do projeto. A implantação também utilizará os resultados obtidos nos Objetivos 2 e 4.

4 Indicadores de Acompanhamento

Para cada meta da Seção 3.2 foram definidos indicadores de acompanhamento apresentados na Tabela 1. Essa tabela mostra o indicador utilizado para cada meta, bem como a quantidade acumulada desse indicador em cada ano, considerando os anos anteriores. Por exemplo, para o Ano 3, considera-se o acumulado nos três anos de projeto.

5 Metodologia

Para alcançar os objetivos e metas descritos na Seção 3 serão seguidas as etapas de: verificação do estado da arte; estabelecimento de requisitos e avaliação qualitativa; proposta e implementação; avaliação do desempenho por simulação, análise teórica e testes experimentais e, por fim, a divulgação

Tabela 1: Indicadores de acompanhamento do projeto.

Meta	Indicador de Acompanhamento	Quantidade Acumulada		
		Ano 1	Ano 2	Ano 3
1	Porcentagem de aulas elaboradas do total necessário	100%	100%	100%
2	Porcentagem do total de <i>slides</i> confeccionados	0%	100%	100%
3	Quantidade de defesas de fim de curso	0	3	6
4	Quantidade de defesas de Mestrado	0	2	3
5	Quantidade de artigos aceitos em conferências	0	2	5
6	Quantidade de artigos aceitos em periódicos	0	1	3
7	Porcentagem concluída do protótipo	0%	75%	100%

dos resultados. Cada uma dessas etapas será realizada em conjunto com alunos e professores da UERJ, além de integrantes de instituições parceiras, como a UFF, a UFRJ e UPMC. Cada uma das etapas é descrita a seguir para ambos objetivos principais do projeto.

Durante toda a execução do projeto o estado de arte será verificado. Para tal, serão estudados artigos sobre o tema presentes na literatura, e os artigos publicados em novas edições de anais de congressos ou revistas serão constantemente analisados de forma a verificar novos avanços no tema em estudo. Nesta etapa será verificado avanço na área de diferentes grupos de pesquisa nacionais e internacionais. Dessa maneira, pretende-se direcionar o projeto conforme trabalhos recentes de importantes instituições de ensino em pesquisa. Outra abordagem possível é verificar com empresas da área o avanço do tema de estudo do ponto de vista industrial. Essa verificação permitirá que sejam identificados quais os tipos de propostas existentes e onde a contribuição deste projeto está principalmente inserida.

Para a proposta de mecanismos de alocação de recursos, o estabelecimento de requisitos consiste em verificar quais as métricas a serem otimizadas e quais são as principais restrições do problema. Esse levantamento de requisitos será realizado com base na verificação do estado da arte realizado anteriormente. A partir da definição de requisitos, a avaliação qualitativa pretende evidenciar em quais pontos os algoritmos encontrados na literatura podem ser melhorados. A seguir, os algoritmos serão propostos e implementados. Após implementados, os algoritmos propostos serão comparados com algoritmos já existentes como, por exemplo, em relação à complexidade computacional de cada um.

Em relação à análise de desempenho de camadas de virtualização, no estabelecimento de requisitos serão definidas quais serão as medidas a serem realizadas. A análise qualitativa permitirá evidenciar as vantagens dos experimentos desse projeto em relação à literatura. Em seguida, os protótipos serão montados e os *scripts* de experimento serão desenvolvidos e testados. Na avaliação de desempenho serão executadas, para cada plataforma, as medidas previamente definidas. Por fim, com base nos resultados, será realizado um estudo comparativo entre as soluções de virtualização estudadas, considerando os requisitos de cada VNF.

Para realizar os objetivos Seção 3, este projeto está dividido em *Work Packages* (WPs). Cada Objetivo listado na Seção 3.1 é alcançado por um WP, à exceção do Objetivo 5, que é distribuído pelos WP2, WP3 e WP4. Os WPs são detalhados a seguir Ao lado de cada nome de atividade, encontra-se em parênteses seu ID de acordo com o Formulário de Submissão da plataforma Carlos Chagas.

- **WP1 - Levantamento do estado da arte e estudo de conceitos básicos**

Esse WP possui é relacionado ao Objetivo 1 e possui as seguintes atividades:

- **Atividade WP1.1 - Levantamento do estado da arte em NFV (1):** Durante toda a execução do projeto serão estudados artigos sobre o tema na literatura, e artigos publicados em novas edições de anais de congressos ou revistas serão constantemente analisados de forma a verificar novos avanços no tema em estudo. Outra abordagem possível é verificar com empresas o avanço do tema do ponto de vista industrial. A partir da busca na literatura e interação com parceiros industriais, serão verificados os principais desafios relacionados à alocação de recursos, gerenciamento e desempenho em NFV.
- **Atividade WP1.2 - Revisão e estudo de conceitos de otimização (2):** Nessa meta serão estudados ou revisados conceitos de otimização e outros relacionados, como teoria dos grafos, complexidade de algoritmos e outras áreas da matemática e da computação necessárias para o desenvolvimento dos algoritmos de posicionamento de VNFs, abordado no WP 2.
- **Atividade WP1.3 - Escolha das VNFs e levantamento de requisitos (3):** Nesta meta diferentes soluções de VNFs serão estudadas como, por exemplo, programas que implementem *firewall* e NAT. Esses VNFs serão utilizados nos WPs seguintes. Além disso, nessas atividades serão listados os principais requisitos das VNFs escolhidas, tendo como base artigo científicos e relatórios técnicos como os fornecidos pelo ETSI (European Telecommunications Standards Institute).
- **Atividade WP1.4 - Elaboração e atualização de disciplinas (4):** Esta atividade consiste na elaboração e atualização de disciplinas com temas relacionados ao projeto, tanto na graduação como na pós-graduação. Mais especificamente, será criada uma nova disciplina na pós-graduação e as disciplinas da graduação serão atualizadas com os temas do REDEVIR.

- **WP 2 - Análise de desempenho de camadas de virtualização**

Esse WP possui é relacionado ao Objetivo 2 e possui as seguintes atividades:

- **Atividade WP2.1 - Estudo e instalação das principais camadas de virtualização existentes (5):** Nesta metas serão estudadas e instaladas as diferentes soluções de virtualização dos três tipos de recursos envolvidos em NFV: computação, armazenamento e rede. Essa atividade terá como resultado a implantação de um *testbed* que suporte as soluções envolvidas.

- **Atividade WP2.2 - Realização de experimentos com as camadas de virtualização (6):** Para esta meta, será definida uma metodologia de análise do desempenho das VNFs escolhidas na Atividade WP1.3 de acordo com a camada de virtualização utilizada. Essa metodologia posteriormente será implementada por meio de *scripts*, que serão executados no *testbed* instalado.
 - **Atividade WP2.3 - Recomendações sobre soluções de virtualização (7):** A partir dos resultados obtidos na Atividade WP2.2 e o estabelecimento de requisitos da Atividade WP1.3, serão recomendadas soluções de virtualização para cada VNF. Por exemplo, as recomendações dirão se VNFs de *firewall* possuirão melhor desempenho utilizando contêineres ou virtualização baseada em hypervisor.
 - **Atividade WP2.4 - Divulgação de resultados do WP2 (8):** Divulgação de resultados a partir de publicações científicas, seminários, palestras e defesas de projeto de fim de curso e dissertação de Mestrado.
- **WP 3 - Integração da arquitetura NFV com ferramentas de SDN e Computação em Nuvem**

Esse WP possui é relacionado ao Objetivo 3 e possui as seguintes atividades:

- **Atividade WP3.1 - Estudo e escolha de orquestradores de nuvem (9):** Esta atividade consiste no levantamento dos principais orquestradores de nuvem, como o OpenStack e CloudStack, e posterior análise de sua documentação. A partir da análise, que irá considerar os requisitos de NFV levantados na Atividade WP1.3, serão escolhidos os orquestradores a serem instalados e testados. A partir dos testes será possível escolher qual orquestrador servirá de base para o WP3.
- **Atividade WP3.2 - Estudo e configuração de soluções de SDN (10):** O mesmo procedimento realizado para Computação em Nuvem na Atividade WP2.1 será realizado nesta atividade no contexto de SDN. Assim, controladores SDN como o NOX e o OpenDayLight, serão escolhidas para construir o *testbed* dependendo dos requisitos levantados na Atividade WP1.3.
- **Atividade WP3.3 - Implantação do Protótipo (11):** Nesta atividade as soluções escolhidas serão instaladas e integradas para a criação da infraestrutura NFV. Além disso, a infraestrutura empregará as camadas de virtualização de acordo com as recomendações do WP2. Nesta atividade será necessário realizar a modificação no código ou configuração das soluções escolhidas para atender aos requisitos da Atividade WP1.3. Assim, espera-se nesta atividade a proposta de novos mecanismo de integração entre as tecnologias envolvidas.
- **Atividade WP3.4 - Testes de desempenho no protótipo (12):** Nesta atividade serão escolhidas metodologias de teste e realizados experimentos de validação do protótipo construído.
- **Atividade WP3.5 - Divulgação de resultados do WP3 e Disponibilização de Código (13):** Divulgação de resultados a partir de publicações científicas, seminários, palestras

e defesas de projeto de fim de curso e dissertação de Mestrado. Além disso, o código dos mecanismos desenvolvidos será divulgado.

- **WP 4 - Proposta de mecanismos de posicionamento de VNFs**

Esse WP possui é relacionado ao Objetivo 4 e possui as seguintes atividades:

- **Atividade WP4.1 - Definição do cenário e restrições dos problemas (14):** Com base no levantamento realizado nas Atividades WP1.1 e WP1.3, definidas as restrições que cada algoritmo de posicionamento de VNFs irá considerar. Por exemplo, o posicionamento de VNFs deve considerar o custo refletido na infraestrutura, requisitos de resiliência, além de exigências de capacidade de rede disponível, etc.
- **Atividade WP4.2 - Definição das funções objetivo (15):** Nesta meta define-se as métricas a serem otimizadas nos algoritmos de posicionamento, que farão parte da função objetivo de cada problema de otimização. Por exemplo, a função objetivo pode ter como meta reduzir o número de servidores físicos que hospedam uma determinada SFC.
- **Atividade WP4.3 - Escolha dos algoritmos de otimização e modelagem do problema (16):** Esta atividade consiste primeiramente em um estudo dos principais algoritmos de otimização existentes. Após isso, os algoritmos serão escolhidos e os problemas de otimização serão modelados com base nas restrições e na função objetivo de cada um. Após a definição do modelo, a função objetivo de cada problema deverá ser ajustada para poder estar de acordo com o modelo. Os algoritmos serão testados e suas ordens de complexidade serão analisada teoricamente. Essa análise teórica, que levará em consideração o tempo de cálculo das métricas e convergência dos algoritmos, será verificada a partir de medidas do tempo de execução. Caso a análise teórica mostre que um determinado algoritmo é computacionalmente inviável, esse será modificado através de heurísticas ou simplificações do problema.
- **Atividade WP4.4 - Avaliação do desempenho dos algoritmos (17):** Nesta atividade os algoritmos propostos serão simulados e comparados com algoritmos já existentes. Para isso, nessa etapa será definida ou montada a infraestrutura computacional a ser utilizada para as simulações, baseada nos computadores orçados no projeto. Os algoritmos propostos serão comparados com outras soluções da literatura que realizam posicionamento de VNFs.
- **Atividade WP4.5 - Implementação dos algoritmos propostos no protótipo (18):** Nesta atividade os algoritmos propostos no WP4 serão implementados no protótipo do WP3.
- **Atividade WP4.6 - Divulgação de resultados do WP4 (19):** Divulgação de resultados a partir de publicações científicas, seminários, palestras e defesas de projeto de fim de curso e dissertação de Mestrado.

6 Principais Contribuições Científicas e Tecnológicas

A integração da Computação em Nuvem, SDN e NFV (*Work Package 3 - WP3*) deste projeto irá gerar majoritariamente resultados tecnológicos, como a construção do protótipo. Assim, a maior parte dos resultados científicos do REDEVIR será realizada nas áreas de alocação de Recursos (*Work Package 4 - WP4*) e análise de desempenho em NFV (*Work Package 2 - WP2*), que resultarão em publicações científicas.

Com a integração da Computação em Nuvem, SDN e NFV será possível para os participantes se aproximarem na comunidade de desenvolvimento do orquestrador de nuvem OpenStack, ou de outro orquestrador escolhido. Assim, os membros do REDEVIR serão incentivados a contribuir para o código do orquestrador, através da solução de problemas encontrados pela comunidade. Além das comunidades de desenvolvimento em nuvem, existem outras comunidades relacionadas a SDN e NFV nas quais é possível contribuir. A comunidade do Opendaylight⁶, que é uma solução de SDN e NFV, é também aberta e permite a contribuição no desenvolvimento de código. Por fim, os participantes deste projeto poderão participar da comunidade OPNFV⁷, que desenvolve uma solução de NFV baseada em OpenStack. Em suma, a construção do protótipo NFV desse projeto permitirá aos membros do projeto participarem de forma ativa em comunidades de código aberto. Como consequência, esse projeto irá gerar resultados tecnológicos que consistem em melhorias das ferramentas estudadas.

Em alocação de recursos, serão propostos algoritmos de posicionamento de VNFs (*Virtual Network Functions*) na infraestrutura física, considerando o Encadeamento de Funções de Serviço (SFC - *Service Function Chaining*). Essa área está relacionada com o tema de Mapeamento de Redes Virtuais (VNE - *Virtual Network Embedding*), que consiste em mapear uma topologia de rede virtual em uma topologia de rede física, considerando os requisitos da requisição de rede virtual. Apesar da similaridade, o posicionamento de VNFs possui aspectos diferentes do caso de VNE. Por exemplo, em VNE geralmente os nós virtuais possuem a mesma função de roteador, enquanto em NFV os nós são *middleboxes*, com diferentes características entre si. Além disso, o VNE é feito em uma etapa, isto é mapeamento da topologia virtual na topologia física. O posicionamento de VNFs é realizado em duas etapas, no qual escolhe-se quais VNFs serão responsáveis por um determinado SFC, que depois são mapeadas na infraestrutura física. A literatura sobre posicionamento de SFCs e VNFs ainda é escassa [1], sendo o projeto REDEVIR importante para essa área. Pretende-se também considerar fatores até então não abordados na literatura, como a resiliência.

Por último, a análise de desempenho em NFV será uma importante contribuição. Como o NFV propõe substituir gradativamente equipamentos dedicados por servidores de uso geral, é importante entender o comportamento de cada tipo de VNF de acordo com a solução de virtualização. Esse tipo de análise já foi extensivamente estudado no contexto de virtualização de redes, inclusive pelo coordenador do REDEVIR [14]. Entretanto, da mesma forma que o VNE, a virtualização de redes considera apenas a utilização de roteadores, enquanto é necessário também conhecer também o desempenho dos *middleboxes* implementados pelas VNFs. Assim, diversas camadas de virtualização serão analisadas experimentalmente com base nos requisitos de cada tipo de VNF, por exemplo

⁶<https://www.opendaylight.org/>

⁷www.opnfv.org

firewall, NAT, etc. Por exemplo, serão analisadas solução de virtualização de computação, com as de contêineres e as baseadas em hipervisor. Nesse aspecto, será possível relacionar quais funções de rede devem ser virtualizadas por contêineres, quais devem ser virtualizadas por tecnologias de hipervisor e quais não podem ser executadas utilizando o conceito de NFV. Essa relação é um tema ainda aberto [1].

7 Orçamento

O orçamento do projeto REDEVIR pode ser visto na Tabela 2. A seguir encontra-se a justificativa dos itens solicitados.

Tabela 2: Orçamento. Observações: (1) Cotação do dólar estimada em R\$ 4,00 ; (2) Configuração do computador de mesa: Processador Intel i5-4590, 8 GB de RAM, 1 TB de HD, Mouse e Teclado inclusos ; (3) Configuração do Monitor: Monitor LED 21,4

Rubrica	Item	Qtd.	Valor Unit.	Sub-total	Total
Custeio					R\$ 18.000,00
	Material de consumo	-	-	R\$ 1.200,00	
	Componentes e peças de reposição	-	-	R\$ 1.200,00	
	Diária nacional	10	R\$ 320,00	R\$ 3.200,00	
	Passagem nacional	2	R\$ 800,00	R\$ 1.600,00	
	Inscrição nacional	2	R\$ 420,00	R\$ 840,00	
	Diária internacional	4	R\$ 1.480,00 (1)	R\$ 5.920,00	
	Passagem internacional	1	R\$ 3.000,00	R\$ 3.000,00	
	Inscrição internacional	1	R\$1.040,00	R\$1.040,00	
Capital					R\$ 12.000,00
	Computador de mesa (2)	3	R\$ 3.200,00	R\$ 9.600,00	
	Monitor (3)	3	R\$ 800,00	R\$ 2.400,00	
Total Geral					R\$ 30.000,00

7.1 Justificativa dos itens solicitados

Solicita-se financiamento para a aquisição de diversos itens essenciais. O material de consumo é destinado principalmente para armazenamento de dados e produção de documentos e materiais didáticos. Os componentes e peças de reposição serão utilizados para eventuais reparos de máquinas do laboratório e compra de componentes necessárias ao protótipo e ao testbed. Os itens de diárias nacionais e internacionais serão utilizados para participação do coordenador ou dos alunos em eventos científicos, nos quais os resultados do projeto serão divulgados. Realizou-se o orçamento considerando duas participações em congressos nacionais e uma em congresso internacional. Os computadores de mesa, assim como os monitores, destinam-se ao uso da equipe nas

diversas tarefas desempenhadas, como elaboração de artigos científicos, simulações computacionais e experimentos. Além disso, esses computadores de mesa poderão ser utilizados para compor o protótipo implementado no projeto ou o *testbed* de análise de desempenho.

8 Cronograma

Este projeto tem como meta ser concluído em 36 meses, tendo em vista o prazo de execução máximo definido pelo CNPq. A Tabela 3 representa o cronograma de execução em trimestres. O cronograma mostra as atividades descritas na Seção 5. Ao lado de cada nome de atividade, encontra-se em parênteses seu ID de acordo com o Formulário de Submissão da plataforma Carlos Chagas.

Tabela 3: Cronograma de execução.

Work Packages	Trimestres											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
WP1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Ativ. WP1.1 (1)</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Ativ. WP1.2 (2)</i>	X	X										
<i>Ativ. WP1.3 (3)</i>	X	X										
<i>Ativ. WP1.4 (4)</i>			X	X	X	X	X	X				
WP2												
<i>Ativ. WP2.1 (5)</i>	X	X										
<i>Ativ. WP2.2 (6)</i>			X	X								
<i>Ativ. WP2.3 (7)</i>					X	X						
<i>Ativ. WP2.4 (8)</i>						X	X	X	X	X	X	X
WP3												
<i>Ativ. WP3.1 (9)</i>			X	X								
<i>Ativ. WP3.2 (10)</i>				X	X							
<i>Ativ. WP3.3 (11)</i>						X	X	X	X			
<i>Ativ. WP3.4 (12)</i>										X	X	
<i>Ativ. WP3.5 (13)</i>										X	X	X
WP4												
<i>Ativ. WP4.1 (14)</i>			X									
<i>Ativ. WP4.2 (15)</i>				X								
<i>Ativ. WP4.3 (16)</i>					X	X	X					
<i>Ativ. WP4.4 (17)</i>								X	X	X		
<i>Ativ. WP4.5 (18)</i>								X	X	X		
<i>Ativ. WP4.6 (19)</i>										X	X	X

9 Participantes do Projeto

Rodrigo de Souza Couto é Professor Adjunto do Departamento de Eletrônica e Telecomunicações e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Eletrônica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), desde março de 2015. Obteve seu Doutorado em Engenharia Elétrica pela COPPE/UFRJ em 2015 e graduação *cum laude* em Engenharia Eletrônica e de Computação pela UFRJ em 2011. No seu período de Doutorado, realizou pesquisas durante um ano no *Laboratoire d'Informatique de Paris 6* (LIP6) da UPMC Sorbonne Universités, França. Possui diversos artigos publicados na área de Redes de Computadores, principalmente nos temas de Redes de Data Center, Computação em Nuvem, Confiabilidade em Redes e Virtualização de Redes.

Este projeto conta com a participação de alunos de graduação e pós-graduação, orientador pelo coordenador. Dentre eles estão os seguinte alunos:

- Gabriel Fontes Carvalho Queiroz, aluno de Mestrado da UERJ, coorientado com o Prof. Alexandre Sztajnberg (UERJ);
- Felipe Arruda Ferreira da Silva, aluno de Mestrado da UERJ, coorientado com o Prof. Marcelo Rubinstein (UERJ);
- Rodrigo Silva Vilela Eiras, aluno de Mestrado da UERJ, coorientado com o Prof. Marcelo Rubinstein (UERJ);
- Roberto Gonçalves Pacheco, aluno de Iniciação Científica da UERJ;
- Raphael Ferreira Queiroz, aluno de Iniciação Científica da UERJ;
- Pedro Henrique Cruz Caminha, estagiário da COPPE-UFRJ, coorientado com o Prof. Luís Henrique Costa (COPPE-UFRJ). O aluno já foi aprovado para o Mestrado na COPPE-UFRJ e, ao longo do projeto, será coorientado de Mestrado do coordenador do REDEVIR.

10 Interesse e Comprometimento de Empresas

A utilização de equipamentos de comunicação específicos eleva os custos de capital e de operação de uma empresa de telecomunicações. Além disso, essa elevação dos custos não pode se traduzir em aumento dos preços para os clientes, devido à alta competitividade desse mercado. Assim, um aumento do preço irá incentivar os usuários a contratarem outros provedores [1]. Consequentemente, essas empresas necessitam de uma forma de melhorar a inovação e qualidade de seus serviços, sem efetivamente aumentar seus custos. O NFV é um caminho para nesse sentido. Uma pesquisa realizada pela comunidade OPNFV mostra que aproximadamente 60% dos profissionais de telecomunicações estão considerando o uso do NFV. Outra pesquisa realizada pela empresa de consultoria *IHS Infonetics* prevê que o mercado relacionado a NFV irá movimentar cerca US\$11,6 bilhões, que em 2014 já movimentava cerca de US\$0,95 bilhões [7].

Diversas empresas de telecomunicações já começaram a estudar e implementar soluções de NFV, geralmente baseadas em OpenStack. A AT&T, que contribui com a comunidade OPNFV e Opendaylight, possui milhões de usuários de sua rede sem-fio já conectados a funções de rede virtualizadas. Além disso, a AT&T estima que em 2020 75% dos seus serviços estarão virtualizados, graças à integração de soluções de SDN, Computação em Nuvem e NFV. O provedor japonês NTT (*Nippon Telephone and Telegraph Corporation*) planeja oferecer a seus clientes soluções virtualizadas de *firewall* e balanceamento de carga. A NTT recebeu o prêmio *OpenStack Superuser Award* devido à quantidade de contribuições ao código do OpenStack. Além da NTT, diversas outras grande empresas estão interessadas e trabalhando em NFV, como a Verizon, Deutsche Telekom e a Bloomberg. Todas as informações acima podem ser encontradas com mais detalhes em [7].

No Brasil, o NFV ainda se encontra em fase de estudos pelas empresas. Por exemplo, a TIM e a Huawei firmaram um acordo de cooperação tecnológica para o desenvolvimento de tecnologias como o SDN e o NFV no Brasil [18]. Dessa forma, o projeto REDEVIR é de suma importância para auxiliar a disseminação do NFV pelo Brasil.

11 Colaborações e Parcerias

Este trabalho possui como ponto importante a colaboração de professores e alunos de outras instituições de ensino no Brasil e no exterior. Dentre os possíveis parceiros, os quais já atuam com o coordenador em atividade relacionadas, estão:

- Luís Henrique Maciel Kosmowski Costa (Dr.) é Professor Associado do Departamento de Eletrônica e de Computação da Escola Politécnica da UFRJ e Professor do Programa de Engenharia Elétrica da COPPE/UFRJ. É bolsista de produtividade de pesquisa 1D do CNPq.
- Miguel Elias Mitre campista (D. Sc.) é Professor Adjunto do Departamento de Eletrônica e de Computação da Escola Politécnica da UFRJ e Professor do Programa de Engenharia Elétrica da COPPE/UFRJ. É bolsista de produtividade de pesquisa 2 do CNPq.
- Pedro Braconnot Velloso (Dr.) é Professor Adjunto do Departamento de Eletrônica e de Computação da Escola Politécnica da UFRJ e Professor do Programa de Engenharia Elétrica da COPPE/UFRJ. É bolsista de produtividade de pesquisa 2 do CNPq.
- Marcelo Gonçalves Rubinstein (D.Sc.) é Professor Associado do Departamento de Eletrônica e Telecomunicações da Faculdade de Engenharia UERJ. É bolsista de produtividade de pesquisa 2 do CNPq.
- Alexandre Sztajnberg (D.Sc.) Professor Associado do Departamento de Informática e Ciências da Computação do Instituto de Matemática e Estatística da UERJ. É bolsista de produtividade de desenvolvimento tecnológico e extensão inovadora 2 do CNPq.
- Igor Monteiro Moraes (D.Sc.) é Professor Adjunto do Instituto de Computação da UFF. É bolsista de produtividade de pesquisa 2 do CNPq.
- Stefano Secci (Dr.) é Professor da Université Pierre et Marie Curie na França.

12 Disponibilidade de Infraestrutura e Apoio Técnico

Como contrapartida, este projeto utilizará, além dos recursos humanos financiados por outras fontes, a infraestrutura do Laboratório de Redes de Computadores (LRC), do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Eletrônica (PEL) e do Departamento de Eletrônica e de Telecomunicações (DETEL) da UERJ. O LRC possui uma área de $41,3m^2$, com uma capacidade aproximada de 10 alunos e uma mesa de reunião. A infraestrutura básica necessária para iniciar as atividades de pesquisa descritas neste projeto já se encontra disponível, contando com um rack para instalação de servidores, 5 servidores de simulação Intel Xeon ou i7 com interface de rede GigaEthernet, com capacidades entre 8GB e 32GB de RAM, conectados a uma rede Gigabit Ethernet por um comutador gigabit. Além disso, o laboratório possui 5 computadores de mesa para uso dos alunos e 3 servidores de menor capacidade.

13 Recursos Financeiros de Outras Fontes

Como a infraestrutura do laboratório e os alunos envolvidos já estão disponíveis, não será necessário utilizar recursos de outras fontes. Eventualmente, serão solicitadas bolsas de Iniciação Científica da FAPERJ ou do programa PIBIC/UERJ, além de serem utilizadas bolsas de Mestrado da CAPES destinadas ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Eletrônica (PEL) da UERJ. Ao longo do projeto o coordenador irá submeter projetos para outras chamadas, como as abertas pelo CNPq e pela FAPERJ.

14 Plano de Atividades do Bolsista de Iniciação Científica

14.1 Descrição dos objetivos e perfil do bolsista

Para este projeto será solicitada uma bolsa de IC de 36 meses. Não serão exigidos conhecimentos prévios do aluno escolhido para a execução do projeto. O bolsista deverá apenas possuir interesse na área, sendo capaz de desenvolver e operar sistemas de computação. Dessa forma, é desejável que o bolsista seja aluno dos cursos de Engenharia Elétrica (ênfase em Eletrônica, Telecomunicações ou Sistemas de Computação) ou Ciências da Computação. Os diversos conhecimentos necessários para o projeto serão adquiridos pelos alunos ao longo da execução do mesmo.

14.2 Descrição das atividades e cronograma

O aluno bolsista será um dos responsáveis pela execução do WP3, descrito na Seção 5. Isto é, ele será um dos responsáveis pela implementação do protótipo NFV. O aluno também executará o WP1 já que esse é essencial para a execução do WP3 e, à exceção da atividade WP1.4, é obrigatório para todos os membros do projeto.

A Tabela 4 representa o cronograma de execução em trimestres do bolsista de IC. As atividades descritas nesse cronograma são idênticas às descritas na Seção 5. Ao lado de cada nome de atividade, encontra-se em parênteses seu ID de acordo com o Formulário de Submissão da plataforma Carlos Chagas.

Tabela 4: Cronograma de execução do bolsista de IC.

Work Packages	Trimestres											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
WP1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Ativ. WP1.1 (1)</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Ativ. WP1.2 (2)</i>	X	X										
<i>Ativ. WP1.3 (3)</i>	X	X										
WP3												
<i>Ativ. WP3.1 (9)</i>			X	X								
<i>Ativ. WP3.2 (10)</i>				X	X							
<i>Ativ. WP3.3 (11)</i>						X	X	X	X			
<i>Ativ. WP3.4 (12)</i>										X	X	
<i>Ativ. WP3.5 (13)</i>										X	X	X

14.3 Resultados esperados

Um dos resultados esperados é que o aluno contribua na obtenção da Meta 7, da Seção 3. Além disso, espera-se publicar os resultados obtidos em relatórios técnicos e em encontros de Iniciação Científica. Eventualmente, os resultados do projeto poderão ser submetidos a conferências e periódicos nacionais ou internacionais. Os resultados científicos e tecnológicos obtidos poderão ser utilizados em um futuro trabalho de fim de curso do aluno.

Referências

- [1] R. Mijumbi, J. Serrat, J.-L. Gorricho, N. Bouten, F. De Turck e R. Boutaba, “Network function virtualization: State-of-the-art and research challenges”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 18, no. 1, no. 1, pp. 236–262, 2016.
- [2] B. Han, V. Gopalakrishnan, L. Ji e S. Lee, “Network function virtualization: Challenges and opportunities for innovations”, vol. 53, no. 2, no. 2, pp. 90–97, 2015.
- [3] A. Kivity, Y. Kamay, D. Laor, U. Lublin e A. Liguori, “KVM: the linux virtual machine monitor”, in *Linux Symposium*, vol. 1, pp. 225–230, 2007.
- [4] B. Pfaff, J. Pettit, K. Amidon, M. Casado, T. Koponen e S. Shenker, “Extending networking into the virtualization layer.”, in *Hotnets*, 2009.

- [5] N. ETSI, “Network functions virtualisation (nfv) architectural framework”, *ETSI GS NFV*, vol. 2, no. 2, no. 2, p. V1, 2013.
- [6] J. Soares, C. Goncalves, B. Parreira, P. Tavares, J. Carapinha, J. P. Barraca, R. L. Aguiar e S. Sargento, “Toward a telco cloud environment for service functions”, vol. 53, no. 2, no. 2, pp. 98–106, 2015.
- [7] O. Foundation, “Accelerating NFV delivery with openstack”, tech. rep., 2016. <https://www.openstack.org/assets/telecoms-and-nfv/OpenStack-Foundation-NFV-Report.pdf>.
- [8] D. Kreutz, F. M. Ramos, P. Esteves Verissimo, C. Esteve Rothenberg, S. Azodolmolky e S. Uhlig, “Software-defined networking: A comprehensive survey”, *Proceedings of the IEEE*, vol. 103, no. 1, no. 1, pp. 14–76, 2015.
- [9] N. McKeown, T. Anderson, H. Balakrishnan, G. Parulkar, L. Peterson, J. Rexford, S. Shenker e J. Turner, “Openflow: enabling innovation in campus networks”, *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 38, no. 2, no. 2, pp. 69–74, 2008.
- [10] ETSI, “Openstack liason statement: Nfv requirements”, tech. rep., 2014.
- [11] M. Bari, S. R. Chowdhury, R. Ahmed, R. Boutaba *et al.*, “On orchestrating virtual network functions”, in *International Conference on Network and Service Management (CNSM)*, pp. 50–56, IEEE, 2015.
- [12] M. C. Luizelli, L. R. Bays, L. S. Buriol, M. P. Barcellos e L. P. Gaspar, “Piecing together the nfv provisioning puzzle: Efficient placement and chaining of virtual network functions”, in *IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM)*, pp. 98–106, 2015.
- [13] S. Mehraghdam, M. Keller e H. Karl, “Specifying and placing chains of virtual network functions”, in *IEEE International Conference on Cloud Networking (CloudNet)*, pp. 7–13, 2014.
- [14] N. C. Fernandes, M. D. D. Moreira, I. M. Moraes, L. H. G. Ferraz, R. S. Couto, H. E. T. Carvalho, M. E. M. Campista, L. H. M. K. Costa e O. C. M. B. Duarte, “Virtual networks: Isolation, performance, and trends”, *Annals of Telecommunications*, vol. 66, no. 5-6, no. 5-6, pp. 339–355, 2011.
- [15] P. Barham, B. Dragovic, K. Fraser, S. Hand, , T. Harris, A. Ho, R. Neugebauer, I. Pratt e A. Warfield, “Xen and the art of virtualization”, in *ACM Symposium on Operating Systems Principles (SOSP 2003)*, pp. 164–177, outubro 2003.
- [16] W. Felter, A. Ferreira, R. Rajamony e J. Rubio, “An updated performance comparison of virtual machines and linux containers”, in *IEEE International Symposium on Performance Analysis of Systems and Software (ISPASS)*, 2015, pp. 171–172, March 2015.

- [17] Y. Dong, X. Yang, J. Li, G. Liao, K. Tian e H. Guan, “High performance network virtualization with sr-iov”, *Journal of Parallel and Distributed Computing*, vol. 72, no. 11, no. 11, pp. 1471 – 1480, 2012.
- [18] *TIM e Huawei anunciam acordo de cooperação tecnológica no Brasil*, maio 2015. <http://portasabertas.tim.com.br/noticia.php?noticia=tim-e-huawei-anunciam-acordo-de-cooperacao-tecnologica-no-brasil->.