



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
UNIDADE ACADÊMICA DE SISTEMAS E COMPUTAÇÃO
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

RONALDO MEDEIROS PESSOA FILHO

**INTEGRAÇÃO DE PARADIGMAS SDN, NFV E COMPUTAÇÃO
EM NUVEM: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

CAMPINA GRANDE - PB

2019

RONALDO MEDEIROS PESSOA FILHO

**INTEGRAÇÃO DE PARADIGMAS SDN, NFV E COMPUTAÇÃO
EM NUVEM: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

Trabalho de Conclusão Curso apresentado ao Curso Bacharelado em Ciência da Computação do Centro de Engenharia Elétrica e Informática da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador: Professor Dr. Reinaldo César de Moraes Gomes.

CAMPINA GRANDE - PB

2019



P475i Pessoa Filho, Ronaldo Medeiros.
Integração de paradigmas SDN, NFV e computação em nuvem : uma revisão sistemática. / Ronaldo Medeiros Pessoa Filho. - 2019.

10 f.

Orientador: Prof. Dr. Reinaldo César de Moraes Gomes.
Trabalho de Conclusão de Curso - Artigo (Curso de Bacharelado em Ciência da Computação) - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Engenharia Elétrica e Informática.

1. Computação em nuvem. 2. Controle SDN de arquiteturas. 3. Software Defined Networking - SDN. 4. Network Function Virtualization - NFV. 5. Integração SDN, NFV e computação em nuvem. 6. Network design principles. 7. Programmable networks. 8. Surveys and overviews. I. Gomes, Reinaldo César de Moraes. II. Título.

CDU:004(045)

Elaboração da Ficha Catalográfica:

Johnny Rodrigues Barbosa
Bibliotecário-Documentalista
CRB-15/626

RONALDO MEDEIROS PESSOA FILHO

**INTEGRAÇÃO DE PARADIGMAS SDN, NFV E COMPUTAÇÃO
EM NUVEM: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

**Trabalho de Conclusão Curso
apresentado ao Curso Bacharelado em
Ciência da Computação do Centro de
Engenharia Elétrica e Informática da
Universidade Federal de Campina
Grande, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em Ciência
da Computação.**

BANCA EXAMINADORA:

**Professor Dr. Reinaldo César de Moraes Gomes
Orientador – UASC/CEEI/UFCG**

**Professor Dr. Hyggo Oliveira de Almeida
Examinador – UASC/CEEI/UFCG**

**Professor Dr. Tiago Lima Massoni
Examinador – UASC/CEEI/UFCG**

Trabalho aprovado em: 02 de julho de 2019.

CAMPINA GRANDE - PB

Integração de paradigmas SDN, NFV e Computação em Nuvem: Uma revisão sistemática

Ronaldo Medeiros Pessoa Filho
ronaldo.medeiros.filho@ccc.ufcg.edu.br
Federal University of Campina Grande
Brazil

RESUMO

Software Defined Networking (SDN), *Network Function Virtualization (NFV)* e *Computação em Nuvem (Cloud Computing)* estão revolucionando a forma como serviços de rede são provisionados, oferecendo uma grande variedade de modelos arquiteturais e soluções desenvolvidas tanto pela indústria como pela academia. Dentre a vastidão de estudos existentes há a necessidade de avaliar e sumarizar esses trabalhos assim como a criação de um alicerce para elaboração de novas atividades de pesquisa.

Com o objetivo de solucionar esse problema, propomos a realização de uma revisão sistemática da literatura de acordo com um protocolo estabelecido. Esse tipo de revisão tem capacidade de levantar informações em uma grande variedade de cenários e condições permitindo a construção de uma perspectiva mais geral sobre o domínio em questão, evitando a existência de um viés na elaboração de novas pesquisas e identificando áreas ainda não exploradas.

CCS CONCEPTS

• **General and reference** → **Surveys and overviews**; • **Networks** → **Network design principles**; **Cloud computing**; **Programmable networks**.

KEYWORDS

Systematic Literature Review, Software Defined Network, Network Function Virtualization, Cloud Computing

1 INTRODUÇÃO

O protocolo TCP/IP atualmente consolidado como base da Internet teve grande sucesso em satisfazer as necessidades de uma rede mundial de computadores na época que foi proposto e em anos posteriores a partir de suas atualizações e adições, lidando bem com a arquitetura Cliente-Servidor tradicional. Porém com o passar do tempo novas necessidades são criadas quase sempre acompanhadas de inovações em diversas áreas implicando mudanças na infraestrutura existente para serem colocadas em prática efetivamente.

Computação em Nuvem (*Cloud Computing*) e *Big Data* surgiram no cenário de redes corporativas, a consolidação dos dispositivos móveis (*Smartphones e Tablets*) e a surgimento da "Internet das Coisas" (*IoT*) são grandes tendências [49], aumentando consideravelmente a demanda com uma nova geração de requisitos e funcionalidades que as redes de computadores modernas devem atender, fazendo com que provedores de serviço de Internet (*ISPs*) e *Data Centers* reavaliem a forma como tratam suas arquiteturas de rede.

O aumento da capacidade das tecnologias de transmissão (*Ethernet, Wi-fi, 4G e 5G Cellular*) e da performance dos dispositivos de rede (*Switches, Routers e Firewalls*) não é suficiente para atender os novos requisitos. O tráfego de rede se torna cada vez mais imprevisível e complexo, apresentando requisitos de qualidade de serviço (*QoS*) e de qualidade de experiência (*QoE*) de forma que redes corporativas tradicionais e redes presentes em *Data Centers* estão se tornando cada vez menos adequadas.

A *Open Network Foundation (ONF)* enumerou as principais limitações do modelo tradicional de redes TCP/IP [40], destacando principalmente a sua natureza estática, sua incapacidade de escalar e uma forte dependência de tecnologia e dispositivos proprietários.

Há uma grande dificuldade em expressar políticas de alto nível, mecanismos de tolerância a falhas e adaptabilidade a cargas de trabalho no estado da arte de redes de computadores, nas maiores vezes dependendo de configuração manual e dispositivos proprietários [30], ampliando as Despesas de Capital (*CAPEX*) e as Despesas Operacionais (*OPEX*).

A grande maioria de funcionalidades de gerenciamento de rede são implementadas a partir de protocolos independentes auxiliares ao protocolo TCP/IP, aumentando a complexidade de gerenciamento e manutenção dessa infraestrutura. Uma tentativa de criar um novo protocolo para Internet a partir do zero que dê suporte a esses requisitos emergentes é impraticável [19].

É necessário um novo paradigma de redes de computadores que possa lidar com os requisitos e a demanda atual e futura e servindo de base para novas funcionalidades que podem vir a ser criadas posteriormente, com um foco em adaptabilidade e automação integrando nativamente boa parte das funcionalidades dos protocolos auxiliares ao TCP/IP.

Este novo paradigma de rede deve se estender também a forma com que os dispositivos são gerenciados e armazenados, lidando com questões de gerenciamento de energia, ciclo de vida e integração. Para se promover a constante evolução e inovação é necessário a existência de um ecossistema aberto e padronizações, assim como o que permitiu que a hegemonia do modelo TCP/IP e a Internet.

Software Defined Networking (SDN), *Network Function Virtualization (NFV)* e *Computação em Nuvem* estão proporcionando uma revolução no provisionamento de serviços de rede. *SDN* consolida as funções de controle em um elemento lógico centralizado [30, 41], resultando em um gerenciamento mais eficiente e uma melhor programação dos dispositivos de rede. *NFV* foca na separação entre a função de rede e o hardware subjacente, permitindo a utilização de equipamentos de propósitos gerais [12, 39]. E a *Computação em Nuvem* possibilita o provisionamento dinâmico de recursos computacionais sob demanda com menor esforço de gerenciamento [56].

A integração dos paradigmas *SDN*, *NFV* e Computação em Nuvem está sendo alvo de várias pesquisas pela indústria e academia, e possui uma grande diversidade de desafios a serem superados. Há uma vastidão de estudos presentes na área, com uma grande multiplicidade de modelos arquiteturais combinando esses três elementos. Nesse contexto, surge a necessidade de uma revisão da literatura com o objetivo de avaliar os benefícios e as limitações de um determinado estudo ou solução e servir como base para proposição de novas atividades de pesquisa.

Caso a revisão da literatura seja feita de maneira inadequada é possível que durante a condução de pesquisa a imparcialidade seja quebrada de alguma maneira, principalmente em casos onde existem estudos conflitantes sobre o tema, podendo ocasionar conclusões tendenciosas para um tipo de resultado, impossibilitando a construção de uma perspectiva mais geral sobre o tema proposto.

Uma revisão sistemática da literatura é uma fase bastante importante no processo de produção do conhecimento científico. É a partir dela que grande parte das pesquisas se inicia, servindo de pontapé inicial de novas hipóteses e descobertas. Se esta análise não é feita de maneira rigorosa, seguindo uma metodologia adequada e uma série de procedimentos preestabelecidos ocorre uma perda de boa parte de seu potencial como uma das peças principais do processo de pesquisa [28].

2 METODOLOGIA

Propondo resolver o problema elucidado anteriormente há o conceito de revisão sistemática, que tem a finalidade de realizar uma análise da literatura de maneira imparcial e completa, seguindo uma metodologia rígida e procedimentos bem definidos e auditáveis [28].

As principais vantagens de realizar esse tipo análise é a capacidade de levantar informações em uma grande variedade de cenários e condições, averiguando se um determinado estudo apresenta resultados consistentes e se essa consistência é preservada quando comparado com a multiplicidade de estudos existentes, ou no caso do contrário, compreender as circunstâncias que provocaram as variações.

2.1 Protocolo de Revisão

Com o objetivo de sumarizar, analisar e interpretar o material de pesquisa relevante disponível sobre a integração de paradigmas *SDN*, *NFV* e Computação em Nuvem propomos a realização de uma revisão sistemática da literatura, o que permite identificar áreas ainda não exploradas, assim como servir de base para proposição de novas atividades de pesquisa. Esse tipo de revisão requer a elaboração de um protocolo de revisão onde está especificada a metodologia a ser seguida. Na formulação deste protocolo, nos baseamos em [9] e no protocolo apresentado em [6].

2.2 Questões de Pesquisa

Para identificação do estado da arte de soluções baseadas na integração dos paradigmas *SDN*, *NFV* e Computação em Nuvem propomos as seguintes questões de pesquisa.

- **Questão 1:** Em que áreas soluções baseadas na integração *SDN*, *NFV* e Computação em Nuvem são aplicadas?

- **Questão 2:** Dentre os estudos que apresentam validações de suas propostas, quais são os tipos de validação mais utilizados?
- **Questão 3:** Quais são as ferramentas mais utilizadas no Plano de Controle *SDN* e as arquiteturas de Computação em Nuvem mais utilizadas?

2.3 Estratégia de busca e seleção de fontes

Para as que as questões de pesquisa sejam resolvidas é preciso obter evidências concretas e relevantes, sendo necessário selecionar um conjunto de fontes onde os estudos primários serão extraídos. Para estabelecer esses critérios consideramos a vastidão de estudos presentes na *Web* apenas no idioma Inglês e a utilização de ferramentas de busca avançadas baseadas em palavras-chave (*keywords*) e filtros de conteúdo. Dentre os tipos de estudos, selecionamos publicações em conferências, periódicos e revistas científicas levando em consideração o ano de publicação, os motores de busca selecionados foram: *ACM Digital Library (ACM)* [18] e *IEEE Xplore Digital Library (IEEE)* [43].

As buscas foram realizadas a partir da combinação de termos (*string search*), utilizando as palavras presentes na Tabela 1. O processo de formação das palavras-chave a serem pesquisadas é especificado da seguinte forma:

Palavras-chave: $([G1,T1] \text{ OR } [G1,T2]) \text{ AND } ([G2,T1] \text{ OR } [G2,T2]) \text{ AND } ([G3,T1] \text{ OR } [G3,T2]) \text{ AND } ([G4,T1])$.

2.4 Critérios de seleção dos estudos

Os resultados obtidos seguindo a estratégia de busca serão considerados estudos primários (iniciais), em seguida serão submetidos a um processo de avaliação manual baseado em três etapas, de forma que o estudo só estará presente na próxima etapa se for aprovado na anterior, caso o contrário o estudo será descartado.

- **Etapa 1:** Serão selecionados apenas trabalhos que tiverem ano de publicação maior ou igual a 2016 no repositório *ACM Digital Library* e maior ou igual a 2018 na *IEEE Xplore Digital Library*.
- **Etapa 2:** Um estudo só será incluído nas etapas seguintes se este propõe uma solução baseada em *SDN*, *NFV* e Computação em Nuvem integradas. Neste estágio serão considerados apenas as informações presentes no resumo (*abstract*) e na conclusão dos trabalhos.
- **Etapa 3:** Só estarão presentes na próxima etapa estudos que além de propor uma solução baseada em *SDN*, *NFV* e Computação em Nuvem integradas apresentam também uma descrição de seu *design* arquitetural. Serão consideradas as informações presentes no estudo completo.
- **Etapa 4:** Essa etapa é dividida nas três sub-etapas seguintes:
 - **Etapa 4.1:** Os objetivos e problemas a serem resolvidos estão informados de maneira clara e objetiva?
 - **Etapa 4.2:** O *design* da arquitetura está disposto de maneira detalhada? É possível identificar estruturas *SDN*, *NFV* e de Computação em Nuvem separadamente?
 - **Etapa 4.3:** Foi realizado algum tipo de validação dos conceitos presente no estudo?

| Termo | Grupo 1 | Grupo 2 | Grupo 3 | Grupo 4 |
|-------|--------------------------|---------------------------------|----------------------|--------------|
| 1 | Software-Defined Network | Network Function Virtualization | Cloud Computing | Architecture |
| 2 | SDN | NFV | Cloud Infrastructure | |

Tabela 1: Termos e sinônimos utilizados na composição das palavras-chave

Para cada um das subetapas da Etapa 4 existem três possíveis respostas (Sim, Parcialmente e Não), para cada há uma correspondência em pontos (1, 0.5 e 0.0, respectivamente). Um estudo será descartado caso não atinja um valor maior ou igual a 2.0 como definido na Equação 1.

$$Etapa_{4.1} + Etapa_{4.2} + Etapa_{4.3} \geq 2.0 \quad (1)$$

3 RESULTADOS

Inicialmente foram obtidos 133 trabalhos com as pesquisas nas bases, sendo 60 no repositório *ACM Digital Library* e 73 no *IEEE Xplore Digital Library*. Ao final do processo de seleção especificado no protocolo de revisão obtivemos respectivamente 9 e 34 trabalhos como representado na Figura 1, totalizando 43 estudos selecionados (finais). Estes foram analisados com o intuito de responder às questões de pesquisa.

Na base *ACM Digital Library* podemos observar uma quantidade relativamente pequena de trabalhos selecionados em comparação com a outra base estudada, apesar de sido considerado um intervalo de tempo maior (2016-2019). O que leva a hipótese que a integração de paradigmas SDN, NFV e Computação em Nuvem não está entre os focos principais das submissões feitas à ACM, embora exista uma quantidade considerável de estudos tratando dos paradigmas de maneira separada e não necessariamente propondo soluções arquiteturas, evidenciado pela quantidade similar de estudos iniciais em ambas as bases.

Na base *IEEE Xplore Digital Library* há uma quantidade maior de estudos selecionados em um menor espaço de tempo (2018-2019) propondo a hipótese de que a integração dos paradigmas estudados pode estar entre as tendências de submissões na base analisada e que há uma maior inclinação nos trabalhos pertencentes a este repositório em seguir os padrões especificados no protocolo de revisão do que na base anterior.

3.1 Áreas de aplicação

Separamos os estudos em áreas de aplicação onde é possível que um estudo apresente mais de uma forma de validação e seja classificado em múltiplas áreas, as categorias foram:

- *Network Flexibility* - ACM: [4, 7, 26, 42] IEEE: [13, 20, 25, 34]
- *Security* - ACM: [11, 21, 35] IEEE: [2, 16, 25, 27]
- *Network Service Chaining(NSC)* - ACM: [7, 21] IEEE: [2, 13, 24, 48]
- *Formal Verification* - ACM: [35]
- *Smart Devices as a Service(SDAAS)* - ACM: [7]
- *Edge Computing* - ACM: [33, 42, 53] IEEE: [8, 29, 32, 36, 44, 46, 47, 52, 54]
- *Healthcare* - ACM: [33]
- *Overlay Networks* - ACM: [26] IEEE: [8, 17, 34]
- *Virtual Local Area Network(VLAN)* - ACM: [26]

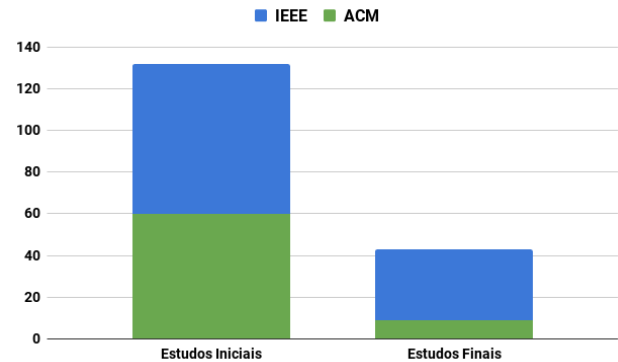


Figura 1: Relação de estudos finais e iniciais nos repositórios estudados após a execução do protocolo de revisão

- *Video Broadcast* - ACM: [4] IEEE: [38, 50]
- *Surveillance Systems* - ACM: [53]
- *Smart Cities* - ACM: [53]
- *Mobile Networks* - ACM: [42] IEEE: [1, 17, 22, 29, 32, 37, 38]
- *Radio Access Network(RAN)* - ACM: [42] IEEE: [5, 14, 15, 23, 29, 45-47, 51, 55]
- *Fifth Generation Cellular Network Technology(5G)* - ACM: [42] IEEE: - [5, 8, 14, 15, 17, 23, 27, 29, 31, 36, 44-46, 51]
- *Public Internet Infrastructure(PII)* - IEEE: [24, 50]
- *Fog Computing* - IEEE: [10, 20, 52, 54, 55]
- *Network Slices* - IEEE: [5, 15, 27, 31, 37]
- *Evolved Packet Core(EPC)* - IEEE: [22]
- *Fixed Mobile Convergence(FMC)* - IEEE: [36]
- *Multi-Layer Agregation Networks(MLAN)* - IEEE: [36]
- *Smart Grids* - IEEE: [10]
- *Electric Vehicle* - IEEE: [10]
- *Testbed* - IEEE: [3]
- *Internet of Things(IoT)* - IEEE: [3, 16, 44, 55]
- *Internet of Vehicles* - IEEE: [54, 55]
- *Blockchain* - IEEE: [54]
- *Data Center(DC) Architecture* - IEEE: [23, 34]
- *Resource Orchestration* - IEEE: [48]
- *Artificial Intelligence(AI)* - IEEE: [31, 45]
- *Joint Cloud* - IEEE: [24]
- *Autonomous Networks* - IEEE: [17]
- *Self-Organizing Network (SON)* - IEEE: [31]
- *Big Data* - IEEE: [31]

Quantificados como na Figura 2, apesar da baixa quantidade de estudos finais na base *ACM Digital Library* estes estão dispostos em uma variedade de áreas e subáreas, apresentando um comportamento mais distribuído e integrando os paradigmas propostos de maneira mais flexível. No repositório *IEEE Xplore Digital Library*

também há uma quantidade considerável de áreas de aplicação dos estudos, porém há uma concentração nas áreas: *5G*, *RAN*, *Edge Computing* e *Mobile Networks* respectivamente, revelando em contraste com a base anterior um comportamento mais concentrado com uma baixa interseção de áreas entre as bases analisadas.

3.2 Tipos de Validação

Observando os resultados percebemos que dentre os 43 estudos finais, 31, além da proposta, apresentavam algum tipo de validação das ideias apresentadas, como apontado na Figura 3, há uma predominância de trabalhos que apresentam validação em ambas as bases estudadas.

Para analisar estes estudos propomos agrupá-los em 3 categorias: **Teste Real**, **Simulação** e **Modelagem Analítica** expressos na Figura 4, na primeira categoria estão classificados trabalhos que foram validados a partir de testes reais na ausência total de um ambiente controlado, a segunda categoria seriam testes realizados em ambientes e com variáveis controladas, utilizando cargas de trabalho pré-definidas, a terceira categoria seria a avaliação por meio de uma modelagem matemática do sistema e de seu comportamento. É possível que um estudo seja classificado em mais de uma categoria.

Na *ACM Digital Library* dentre os 9 soluções propostas, 6 apresentam validação, sendo todas elas do tipo Simulação, levando a hipótese que na base em questão em relação a integração dos paradigmas estudados esse tipo de validação parece ser mais aceita. A *IEEE Xplore Digital Library* apresenta uma variedade maior que a base anterior, apresentando 15 trabalhos na categoria Simulação, 11 de Modelagem Analítica e apenas 1 de Teste Real.

Podemos concluir a partir desses resultados que validações do tipo Teste Real ainda constituem uma região ainda não explorada na integração de paradigmas *SDN*, *NFV* e Computação em Nuvem nos repositórios de estudos analisados.

3.3 Plano de Controle SDN e arquiteturas de Computação em Nuvem

Na tentativa de identificar e sumarizar as principais tecnologias de Plano de Controle *SDN* e arquiteturas de Computação em Nuvem utilizadas, utilizamos duas categorias de estudos: **Tipo 1** - trabalhos que propõem uma arquitetura de mais alto nível independente de tecnologias específicas se baseando mais em padronizações, regulações e protocolos criados nos paradigmas em questão **Tipo 2** - trabalhos que utilizam alguma tecnologia diretamente, citam ou exemplificam alguma tecnologia como aplicável a aquela determinada arquitetura, sendo possível um estudo utilizar mais uma tecnologia de Plano de Controle *SDN* e arquitetura de Computação em Nuvem.

Analisando o repositório *ACM Digital Library* em relação às tecnologias do Plano de Controle *SDN* dentre os 9 trabalhos obtemos 6 do **Tipo 2**, onde 5 destes utilizam tecnologias já bastante consolidadas na área, como exposto na Figura 6, encontramos apenas um estudo com uma implementação própria [42]. Na *IEEE Xplore Digital Library* obtemos 22 trabalhos do **Tipo 2** dentre os 34, onde também há apenas um estudo utilizando uma implementação própria [3]. Foram observadas as mesmas tecnologias principais em ambas as bases, sendo elas:

- *Open Network Operating System (ONOS)* - *ACM*: [21, 33] *IEEE*: [23, 27]
- *OpenDayLight* - *ACM*: [4, 35] *IEEE*: [17, 25]
- *Ryu SDN Framework* - *ACM*: [26] *IEEE*: [2, 5, 16, 34, 36, 37, 46]

Com destaque para o *Ryu SDN Framework* que foi citado com exemplo ou utilizado diretamente na grande maioria dos trabalhos na base *IEEE Xplore Digital Library*. Observamos uma convergência de tecnologias entre os repositórios analisados, optando por aquelas já consolidadas no meio.

Em relação às arquiteturas de Computação em Nuvem, as principais foram:

- *OpenStack* - *ACM*: [33, 35, 53] *IEEE*: [13, 14, 23, 27, 37, 38]
- *Amazon EC2* - *ACM* [26, 53] *IEEE*: [27]

Com destaque para o *OpenStack*, a arquitetura de Computação em Nuvem mais citada como exemplo ou utilizada diretamente em ambas as bases, indicando assim como no Plano de Controle *SDN* uma convergência de tecnologias. Foi observado um estudo com implementação própria na *ACM Digital Library* [42] e três na *IEEE Xplore Digital Library* [34, 46, 48] como quantificado na Figura 7.

4 LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS

Os principais fatores limitantes são a grande quantidade de estudos a serem analisados e o nível de representatividade da amostra de trabalhos escolhidos, o que reflete diretamente na validade das conclusões propostas em um levantamento sistemático da literatura. Dependendo da quantidade de repositórios de estudos e do número de questões de pesquisa a serem respondidas a complexidade e o intervalo de tempo necessário para realização de uma revisão sistemática da literatura pode crescer exponencialmente. Uma das alternativas na tentativa de tratar esse problema é a utilização de um número maior de pesquisadores.

Dependendo da vastidão e da consolidação da área escolhida, a amostra de estudos analisada pode não refletir com acurácia o estado da arte em questão, impactando diretamente na credibilidade da análise e abrindo espaço para outros estudos de mesmo caráter que considerem amostras mais significativas apresentem resultados conflitantes com os obtidos. Neste estudo optamos por um escopo viável de acordo com o tempo estipulado de pesquisa, pelo fato dos paradigmas estudados terem sido propostos recentemente e os repositórios utilizados serem bem consolidados na academia [18, 43] acreditamos que a amostra escolhida é significativa e representa o estado da arte da integração de paradigmas *SDN*, *NFV* e Computação em Nuvem.

Como proposto em [28], existe também a possibilidade da existência de um viés quando não há um número ímpar diferente de um de pesquisadores realizando a revisão, principalmente na avaliação dos critérios especificados no protocolo de revisão em um determinado estudo. Devido a natureza dos diferentes tipos de estudos, em muitos casos é preciso modificar o protocolo de revisão durante o processo de seleção, de forma a aumentar a sua abrangência, sendo um processo de natureza mais iterativa do que sequencial [28].

Como trabalhos futuros propomos a realização de uma revisão sistemática da literatura mais abrangente, rígida e completa, ampliando a quantidade de critérios e métricas no protocolo de revisão, utilizando mais motores de busca e repositórios de estudos, com

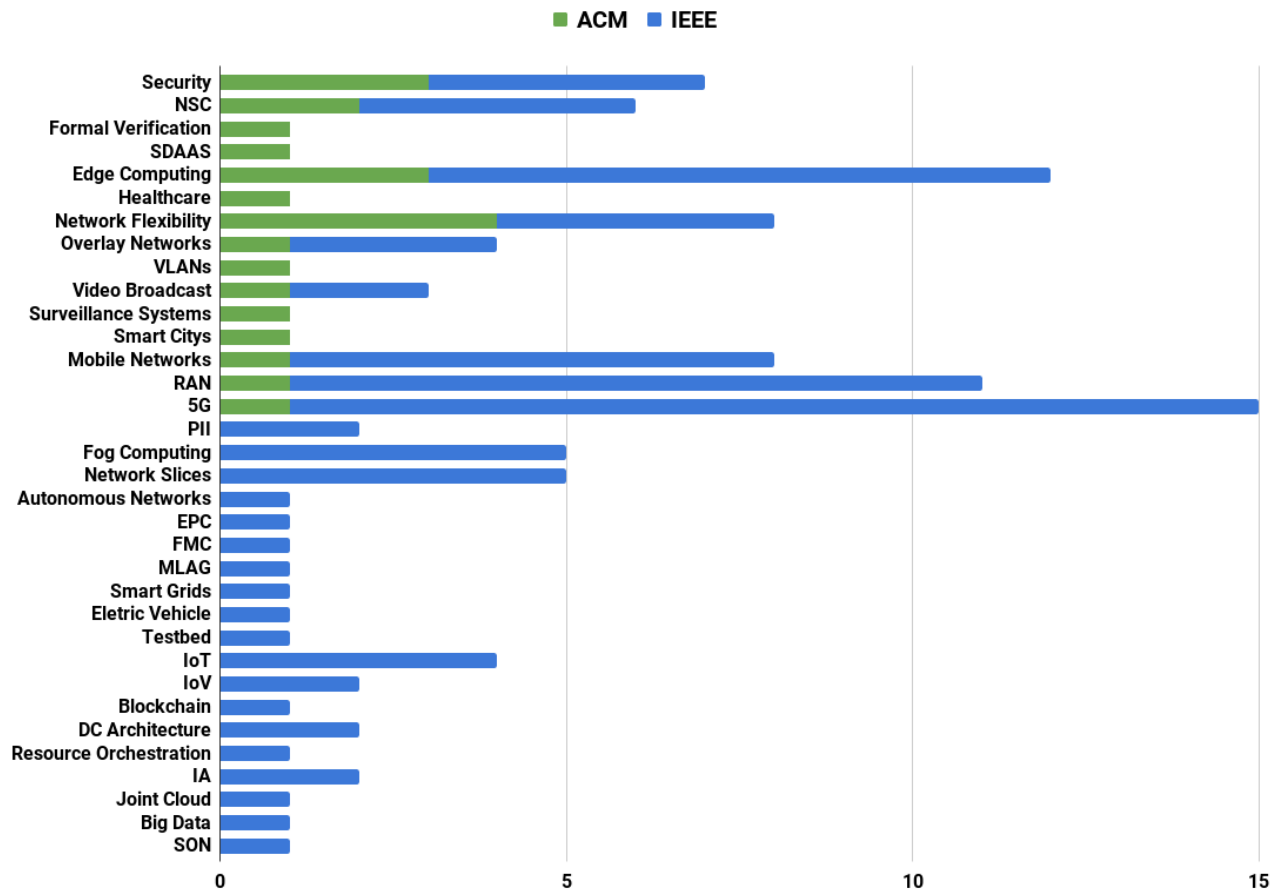


Figura 2: Quantidade de estudos em cada área e subárea selecionada

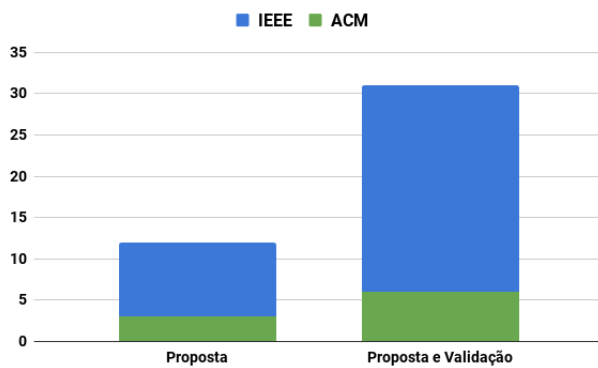


Figura 3: Quantidade de estudos que apresentaram proposta e validação e apenas proposta

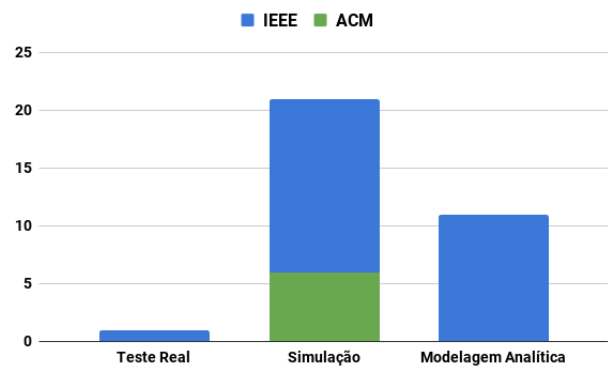


Figura 4: Quantidade de trabalhos em cada categoria de validação

uma maior quantidade de questões de pesquisa a serem investigadas e um número maior de pesquisadores. Podendo vir a ser uma

contribuição de maior valor no processo de pesquisa e inovação na integração de paradigmas SDN, NFV e Computação em Nuvem.

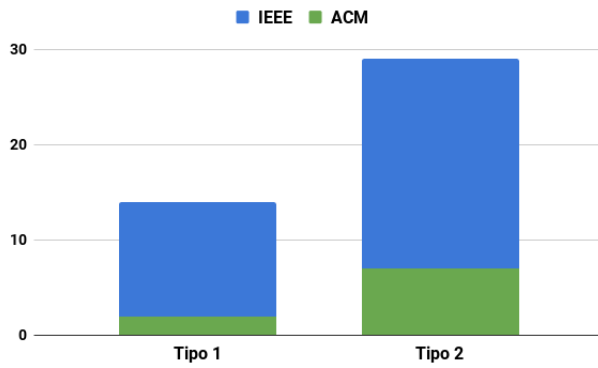


Figura 5: Quantidade de estudos Tipo 1 e Tipo 2 nos repositórios estudados

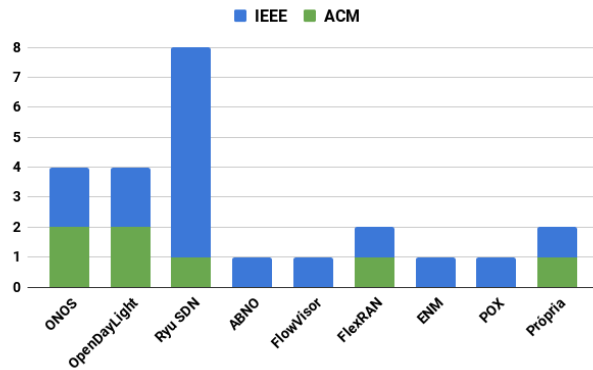


Figura 6: Quantidade de trabalhos por tecnologia de Plano de Controle SDN

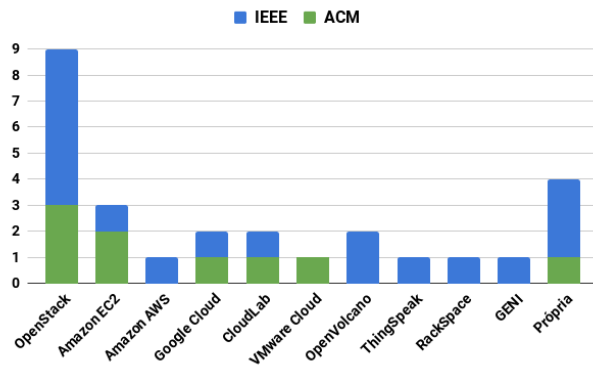


Figura 7: Quantidade de trabalhos por arquitetura de Computação em Nuvem

5 AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional. Ao professor Reinaldo César de Moraes Gomes pela imensa ajuda, orientação, apoio e confiança, também ao professor Tiago Lima Massoni pela grande ajuda e supervisão e a todos os que me apoiaram e que estiveram ao meu lado durante a graduação.

REFERÊNCIAS

- [1] S. Abe, G. Hasegawa, and M. Murata. 2018. Effects of C/U Plane Separation and Bearer Aggregation in Mobile Core Network. *IEEE Transactions on Network and Service Management* 15, 2 (June 2018), 611–624. <https://doi.org/10.1109/TNSM.2018.2797301>
- [2] N. Akhtar, I. Matta, A. Raza, and Y. Wang. 2018. EL-SEC: ELastic management of security applications on virtualized infrastructure. In *IEEE INFOCOM 2018 - IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS)*. 778–783. <https://doi.org/10.1109/INFOCOMW.2018.8407019>
- [3] B. R. Al-Kaseem, Y. Al-Dunainawi, and H. S. Al-Rawashdy. 2019. End-to-End Delay Enhancement in 6LoWPAN Testbed Using Programmable Network Concepts. *IEEE Internet of Things Journal* 6, 2 (April 2019), 3070–3086. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2879111>
- [4] Gabriele Baldoni, Alfio Lombardo, Marcello Melita, Sergio Micalizzi, Corrado Rametta, and Alessandro Vassallo. 2017. An Emulation Framework for SDN-NFV Based Services. In *Proceedings of the Second International Conference on Internet of Things, Data and Cloud Computing (ICC '17)*. ACM, New York, NY, USA, Article 135, 8 pages. <https://doi.org/10.1145/3018896.3036378>
- [5] C. Bektas, S. Monhof, F. Kurtz, and C. Wietfeld. 2018. Towards 5G: An Empirical Evaluation of Software-Defined End-to-End Network Slicing. In *2018 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*. 1–6. <https://doi.org/10.1109/GLOCOMW.2018.8644145>
- [6] Michel S. Bonfim, Kelvin Lopes Dias, and Stenio F. L. Fernandes. 2018. Integrated NFV/SDN Architectures: A Systematic Literature Review. *CoRR abs/1801.01516* (2018).
- [7] R. Bruschi, F. Davoli, L. Galluccio, P. Lago, A. Lombardo, C. Lombardo, C. Rametta, and G. Schembra. 2017. Virtualization of Set-top-box Devices in Next Generation SDN-NFV Networks: The Input Project Perspective. In *Proceedings of the Second International Conference on Internet of Things, Data and Cloud Computing (ICC '17)*. ACM, New York, NY, USA, Article 10, 8 pages. <https://doi.org/10.1145/3018896.3152304>
- [8] R. Bruschi, F. Davoli, P. Lago, and J. F. Pajo. 2019. A Multi-Clustering Approach to Scale Distributed Tenant Networks for Mobile Edge Computing. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 37, 3 (March 2019), 499–514. <https://doi.org/10.1109/JSAC.2019.2894236>
- [9] Elmano Cavalcanti, Anderson Rodrigues, Marco Spohn, Reinaldo César, and Anderson Fabiano. 2018. VANETs' research over the past decade: Overview, credibility, and trends. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review* 48 (04 2018), 31–39. <https://doi.org/10.1145/3213232.3213237>
- [10] D. A. Chekired, L. Khoukhi, and H. T. Mouftah. 2018. Decentralized Cloud-SDN Architecture in Smart Grid: A Dynamic Pricing Model. *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 14, 3 (March 2018), 1220–1231. <https://doi.org/10.1109/TII.2017.2742147>
- [11] Ming-Hung Chen, Jyun-Yan Ciou, I-Hsin Chung, and Cheng-Fu Chou. 2018. FlexProtect: A SDN-based DDoS Attack Protection Architecture for Multi-tenant Data Centers. In *Proceedings of the International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Region (HPC Asia 2018)*. ACM, New York, NY, USA, 202–209. <https://doi.org/10.1145/3149457.3149476>
- [12] Margaret Chiosi, Don Clarke, Peter Willis, Andy Reid, James Feger, Michael Bugenhagen, Waqar Khan, Michael Fargano, Chunfeng Cui, Hui Deng, et al. 2012. Network functions virtualisation: An introduction, benefits, enablers, challenges and call for action. In *SDN and OpenFlow World Congress*, Vol. 48. sn.
- [13] L. Chou, C. Tseng, S. Xie, P. Chen, Y. Lee, C. Yen, W. Tsai, and S. Su. 2018. Design of SFC Management System based on SDN and NFV. In *2018 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*. 391–395. <https://doi.org/10.1109/ICTC.2018.8539693>
- [14] J. Cosmas, B. Meunier, K. Ali, N. Jawad, M. Salih, H. Meng, M. Ganley, J. Gbadamosi, A. Savov, Z. Hadad, B. Globen, H. Gokmen, S. Malkos, M. Emre Cakan, H. Koumaras, M. Kourtis, C. Sakkas, E. Salomon, Y. Avinoam, D. Nezru, M. Lacaud, Y. Zhang, L. Huang, R. Zetik, K. Cabai, W. Mazurczyk, X. Zhang, M. Ran, D. Malka, and A. Kapovits. 2018. A Scalable and License Free 5G Internet of Radio Light Architecture for Services in Homes Businesses. In *2018 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*. 1–6. <https://doi.org/10.1109/BMSB.2018.8436938>
- [15] S. Costanzo, I. Fajjari, N. Aitsaadi, and R. Langar. 2018. A network slicing prototype for a flexible cloud radio access network. In *2018 15th IEEE Annual Consumer Communications Networking Conference (CCNC)*. 1–4. <https://doi.org/>

- 10.1109/CCNC.2018.8319259
- [16] W. Dai, P. Wan, W. Qiang, L. T. Yang, D. Zou, H. Jin, S. Xu, and Z. Huang. 2018. TNGuard: Securing IoT Oriented Tenant Networks Based on SDN. *IEEE Internet of Things Journal* 5, 3 (June 2018), 1411–1423. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2801317>
- [17] X. Dang, M. A. Khan, and F. Sivrikaya. 2019. An Autonomous Service-Oriented Orchestration Framework for Software Defined Mobile Networks. In *2019 22nd Conference on Innovation in Clouds, Internet and Networks and Workshops (ICIN)*. 277–284. <https://doi.org/10.1109/ICIN.2019.8685919>
- [18] Association for Computing Machinery. 2019. ACM Digital Library. <https://dl.acm.org/>
- [19] Ali Ghodsi, Scott Shenker, Teemu Koponen, Ankit Singla, Barath Raghavan, and James Wilcox. 2011. Intelligent Design Enables Architectural Evolution. In *Proceedings of the 10th ACM Workshop on Hot Topics in Networks (HotNets-X)*. ACM, New York, NY, USA, Article 3, 6 pages. <https://doi.org/10.1145/2070562.2070565>
- [20] P. Habibi, S. Baharlooie, M. Farhoudi, S. Kazemian, and S. Khorsandi. 2018. Virtualized SDN-Based End-to-End Reference Architecture for Fog Networking. In *2018 32nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA)*. 61–66. <https://doi.org/10.1109/WAINA.2018.00064>
- [21] Zheng Hao, Zhaowen Lin, and Ran Li. 2018. A SDN/NFV Security Protection Architecture with a Function Composition Algorithm Based on Trie. In *Proceedings of the 2Nd International Conference on Computer Science and Application Engineering (CSAE '18)*. ACM, New York, NY, USA, Article 176, 8 pages. <https://doi.org/10.1145/3207677.3277992>
- [22] H. Hawilo, L. Liao, A. Shami, and V. C. M. Leung. 2018. NFV/SDN-based vEPC solution in hybrid clouds. In *2018 IEEE Middle East and North Africa Communications Conference (MENACOMM)*. 1–6. <https://doi.org/10.1109/MENACOMM.2018.8371048>
- [23] C. Huang, C. Ho, N. Nikaiein, and R. Cheng. 2018. Design and Prototype of A Virtualized 5G Infrastructure Supporting Network Slicing. In *2018 IEEE 23rd International Conference on Digital Signal Processing (DSP)*. 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICDSP.2018.8631816>
- [24] D. Huang, S. Shen, and X. Liu. 2019. SD-P2: a Novel Software Defined Public Internet Infrastructure for Joint Cloud Computing. In *2019 IEEE International Conference on Service-Oriented System Engineering (SOSE)*. 305–3057. <https://doi.org/10.1109/SOSE.2019.00052>
- [25] S. Hyun, J. Kim, H. Kim, J. Jeong, S. Hares, L. Dunbar, and A. Farrel. 2018. Inference to Network Security Functions for Cloud-Based Security Services. *IEEE Communications Magazine* 56, 1 (Jan 2018), 171–178. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2018.1700662>
- [26] Kyuho Jeong and Renato Figueiredo. 2016. Self-configuring Software-defined Overlay Bypass for Seamless Inter- and Intra-cloud Virtual Networking. In *Proceedings of the 25th ACM International Symposium on High-Performance Parallel and Distributed Computing (HPDC '16)*. ACM, New York, NY, USA, 153–164. <https://doi.org/10.1145/2907294.2907318>
- [27] Y. Khettab, M. Bagaa, D. L. C. Dutra, T. Taleb, and N. Toumi. 2018. Virtual security as a service for 5G verticals. In *2018 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*. 1–6. <https://doi.org/10.1109/WCNC.2018.8377298>
- [28] Barbara Kitchenham. 2004. *Procedures for Performing Systematic Reviews*. Keele University. Technical Report TR/SE-0401. Department of Computer Science, Keele University, UK.
- [29] M. Kourtis, G. Xilouris, D. Makris, A. Sarlas, T. Soenen, H. Koumaras, and A. Kourtis. 2019. An End-to-End Carrier Ethernet MEF enabled 5G network architecture. In *2019 IFIP/IEEE Symposium on Integrated Network and Service Management (IM)*. 20–24.
- [30] Diego Kreutz, Fernando M. V. Ramos, Paulo Verissimo, Christian Esteve Rothenberg, Siamak Azodolmolky, and Steve Uhlig. 2014. Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey. *Proc. IEEE* 103 (2014), 14–76.
- [31] L. Le, B. P. Lin, L. Tung, and D. Sinh. 2018. SDN/NFV, Machine Learning, and Big Data Driven Network Slicing for 5G. In *2018 IEEE 5G World Forum (5GWF)*. 20–25. <https://doi.org/10.1109/5GWF.2018.8516953>
- [32] M. Li, F. R. Yu, P. Si, and Y. Zhang. 2018. Green Machine-to-Machine Communications with Mobile Edge Computing and Wireless Network Virtualization. *IEEE Communications Magazine* 56, 5 (May 2018), 148–154. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2018.1601005>
- [33] Peilong Li, Chen Xu, Yan Luo, Yu Cao, Jomol Mathew, and Yunsheng Ma. 2017. CareNet: Building a Secure Software-defined Infrastructure for Home-based Healthcare. In *Proceedings of the ACM International Workshop on Security in Software Defined Networks & Network Function Virtualization (SDN-NFVSec '17)*. ACM, New York, NY, USA, 69–72. <https://doi.org/10.1145/3040992.3041007>
- [34] Y. Lin, C. Wang, C. Huang, and Y. Lai. 2018. Hierarchical CORD for NFV Datacenters: Resource Allocation with Cost-Latency Tradeoff. *IEEE Network* 32, 5 (Sep. 2018), 124–130. <https://doi.org/10.1109/MNET.2017.1700037>
- [35] Taous Madi, Suryadipa Majumdar, Yushun Wang, Yosr Jarraya, Makan Pourzandi, and Lingyu Wang. 2016. Auditing Security Compliance of the Virtualized Infrastructure in the Cloud: Application to OpenStack. In *Proceedings of the Sixth ACM Conference on Data and Application Security and Privacy (CODASPY '16)*. ACM, New York, NY, USA, 195–206. <https://doi.org/10.1145/2857705.2857721>
- [36] R. Martínez, R. Vilalta, M. Requena, R. Casellas, R. Muñoz, and J. Mangues. 2018. Experimental SDN control solutions for automatic operations and management of 5G services in a fixed mobile converged packet-optical network. In *2018 International Conference on Optical Network Design and Modeling (ONDM)*. 214–219. <https://doi.org/10.23919/ONDM.2018.8396133>
- [37] F. Meneses, D. Corujo, A. Neto, and R. L. Aguiar. 2018. SDN-based End-to-End Flow Control in Mobile Slice Environments. In *2018 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN)*. 1–5. <https://doi.org/10.1109/NFV-SDN.2018.8725764>
- [38] F. Meneses, C. Guimarães, D. Corujo, and R. L. Aguiar. 2018. Handover Initiation Comparison in Virtualised SDN-based Flow Mobility Management. In *2018 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*. 00404–00409. <https://doi.org/10.1109/ISCC.2018.8538696>
- [39] R. Mijumbi, J. Serrat, J. Gorricho, N. Bouten, F. De Turck, and R. Boutaba. 2016. Network Function Virtualization: State-of-the-Art and Research Challenges. *IEEE Communications Surveys Tutorials* 18, 1 (Firstquarter 2016), 236–262. <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2477041>
- [40] Open Networking Foundation. 2012. Software-Defined Networking: The New Norm for Networks. (04 2012).
- [41] Open Networking Foundation. 2012. Software-Defined Networking: The New Norm for Networks. (04 2012).
- [42] Navid Nikaiein, Chia-Yu Chang, and Konstantinos Alexandris. 2018. Mosaic5G: Agile and Flexible Service Platforms for 5G Research. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.* 48, 3 (Sept. 2018), 29–34. <https://doi.org/10.1145/3276799.3276803>
- [43] Institute of Electrical and Electronics Engineers. 2019. IEEE Xplore Digital Library. <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>
- [44] H. Rahimi, A. Zibaenejad, and A. A. Safavi. 2018. A Novel IoT Architecture based on 5G-IoT and Next Generation Technologies. In *2018 IEEE 9th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*. 81–88. <https://doi.org/10.1109/IEMCON.2018.8614777>
- [45] H. Ren, N. Liu, C. Pan, M. El-kashlan, A. Nallanathan, X. You, and L. Hanzo. 2018. Low-Latency C-RAN: An Next-Generation Wireless Approach. *IEEE Vehicular Technology Magazine* 13, 2 (June 2018), 48–56. <https://doi.org/10.1109/MVT.2018.2811244>
- [46] R. Riggio, S. N. Khan, T. Subramanya, I. G. B. Yahia, and D. Lopez. 2018. Light-MANO: Converging NFV and SDN at the edges of the network. In *NOMS 2018 - 2018 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium*. 1–9. <https://doi.org/10.1109/NOMS.2018.8406266>
- [47] P. Shantharama, A. S. Thyagaturu, N. Karakoc, L. Ferrari, M. Reisslein, and A. Scaglione. 2018. LayBack: SDN Management of Multi-Access Edge Computing (MEC) for Network Access Services and Radio Resource Sharing. *IEEE Access* 6 (2018), 57545–57561. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2873984>
- [48] B. Sonkoly, M. Szabó, B. Németh, A. Majdán, G. Pongrácz, and L. Tóka. 2018. FEROF: Fast and Efficient Resource Orchestrator for a Data Plane Built on Docker and DPDK. In *IEEE INFOCOM 2018 - IEEE Conference on Computer Communications*. 243–251. <https://doi.org/10.1109/INFOCOM.2018.8485953>
- [49] William Stallings. 2015. *Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoS, IoT, and Cloud* (1 ed.). Addison-Wesley Professional.
- [50] B. Suresh, D. Bhat, and M. Zink. 2018. An Evaluation of SDN and NFV Support for Parallel, Alternative Protocol Stack Operations. In *2018 IEEE International Conference on Communications (ICC)*. 1–7. <https://doi.org/10.1109/ICC.2018.8422752>
- [51] G. C. Valastro, D. Panno, and S. Riolo. 2018. A SDN/NFV based C-RAN architecture for 5G Mobile Networks. In *2018 International Conference on Selected Topics in Mobile and Wireless Networking (MoWNet)*. 1–8. <https://doi.org/10.1109/MoWNet.2018.8428882>
- [52] F. Wamser, C. Lombardo, C. Vassilakis, L. Dinh-Xuan, P. Lago, R. Bruschi, and P. Tran-Gia. 2018. Orchestration and Monitoring in Fog Computing for Personal Edge Cloud Service Support. In *2018 IEEE International Symposium on Local and Metropolitan Area Networks (LANMAN)*. 91–96. <https://doi.org/10.1109/LANMAN.2018.8475113>
- [53] Jianyu Wang, Jianli Pan, and Flavio Esposito. 2017. Elastic Urban Video Surveillance System Using Edge Computing. In *Proceedings of the Workshop on Smart Internet of Things (SmartIoT '17)*. ACM, New York, NY, USA, Article 7, 6 pages. <https://doi.org/10.1145/3132479.3132490>
- [54] K. Wang, H. Yin, W. Quan, and G. Min. 2018. Enabling Collaborative Edge Computing for Software Defined Vehicular Networks. *IEEE Network* 32, 5 (Sep. 2018), 112–117. <https://doi.org/10.1109/MNET.2018.1700364>
- [55] Y. Wu, X. Fang, and X. Wang. 2019. Mobility Management through Scalable C/U-Plane Decoupling in IoV Networks. *IEEE Communications Magazine* 57, 2 (February 2019), 122–129. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2019.1700698>
- [56] Qi Zhang, Lu Cheng, and Raouf Boutaba. 2010. Cloud computing: state-of-the-art and research challenges. *Journal of Internet Services and Applications* 1, 1 (01 May 2010), 7–18. <https://doi.org/10.1007/s13174-010-0007-6>