



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS QUIXADÁ
TECNÓLOGO EM REDES DE COMPUTADORES

TIAGO DA SILVA NASCIMENTO

**UM CATÁLOGO DE MÉTRICAS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE
AMBIENTES INTEGRADOS DE COMPUTAÇÃO EM NUVEM, REDES DEFINIDAS
POR SOFTWARE E VIRTUALIZAÇÃO DE FUNÇÕES DE REDE**

QUIXADÁ

2017

TIAGO DA SILVA NASCIMENTO

UM CATÁLOGO DE MÉTRICAS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE AMBIENTES
INTEGRADOS DE COMPUTAÇÃO EM NUVEM, REDES DEFINIDAS POR SOFTWARE E
VIRTUALIZAÇÃO DE FUNÇÕES DE REDE

Monografia apresentada no curso de Redes de Computadores da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Redes de Computadores. Área de concentração: Computação.

Orientadora: Professora Dra. Carla Ilane
Moreira Bezerra

Coorientador: Professor Dr. Emanuel
Ferreira Coutinho

QUIXADÁ

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- N199c Nascimento, Tiago da Silva.
Um catálogo de métricas para avaliação da qualidade de ambientes integrados de computação em nuvem, redes definidas por software e virtualização de funções de rede / Tiago da Silva Nascimento. – 2017.
69 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, , Quixadá, 2017.
Orientação: Profa. Dra. Carla Ilane Moreira Bezerra.
Coorientação: Prof. Dr. Emanuel Ferreira Coutinho.
1. Computação em nuvem. 2. Software-defined networking (computer network technology). 3. Network Function Virtualization. 4. Software- Controle de qualidade. I. Título.

CDD

TIAGO DA SILVA NASCIMENTO

UM CATÁLOGO DE MÉTRICAS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE AMBIENTES
INTEGRADOS DE COMPUTAÇÃO EM NUVEM, REDES DEFINIDAS POR SOFTWARE E
VIRTUALIZAÇÃO DE FUNÇÕES DE REDE

Monografia apresentada no curso de Redes de Computadores da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Redes de Computadores. Área de concentração: Computação.

Aprovada em: ___/___/_____

BANCA EXAMINADORA

Professora Dra. Carla Ilane Moreira Bezerra (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará – UFC

Professor Dr. Emanuel Ferreira Coutinho (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Professor Dr. Paulo Antônio Leal Rego
Universidade Federal do Ceará - UFC

A Deus.

Aos meus pais, Maria das Graças e Francisco
Geraldo.

Aos meus irmãos, Lucas, Carlos e Felipe.

Aos meus amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por ter me iluminado durante toda a graduação e me dado forças quando mais precisei, pois sei que absolutamente tudo que conquisei foi graças a Ele.

À minha família, especialmente meus pais, Francisco e Maria, e meu irmão Lucas, por todo o esforço, amor, carinho, compreensão que tiveram comigo ao longo desses anos de graduação e de toda a minha vida. Amo vocês!

À Professora Carla Ilane, que além ser minha tutora no PET me orientou neste trabalho. Agradeço por todos os conselhos e motivação que me deu durante esse período e pela excelente orientação. Ao meu coorientador Professor Emanuel Coutinho e ao Professor Paulo Rego, por todas as contribuições que tiveram com este trabalho.

Ao projeto CrOSSiNg: Avaliação de Qualidade de Nuvens Computacionais Apoiadas por Redes Definidas por Software e Virtualização de Funções de Rede.

A todos os meus professores, em especial, Arthur Callado, Michel Sales, Alisson Barbosa, Marcos Dantas, Rubens Fernandes, Paulo Henrique, Ticiania Linhares, Jefferson Carvalho e Helder Candido por todo o conhecimento que me transmitiram.

À minha namorada Stherfany Alves, por todo amor, apoio e companheirismo em todos os momentos.

Aos meus amigos de turma Micaele, Roseli, Dálete e Isac, por terem me ajudado a superar as dificuldades em sala de aula.

Aos meus amigos Wilton, Paulo Miranda, Rayanne, Raul, Mateus Lima, Alexsandro, Priscila, Daiane, Júlio, Anderson, Camila, Erika, Igor, Robertty, Natanael, Abílio, Nayara, Ciano e a todos que conviveram comigo durante esses anos no PET Tecnologia da Informação. Vocês foram um grande apoio para mim.

Aos meus amigos Rômulo, Edney, Ana Paula, Kaiane, Ingryd, Luzia, Ralita, Welida, Caio, Cezar e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a minha formação.

“Pensava que nós seguíamos caminhos já feitos,
mas parece que não os há. O nosso ir faz o
caminho.”

(C.S. Lewis)

RESUMO

A computação em nuvem é um paradigma que sugere a integração de diversos modelos tecnológicos para disponibilizar infraestrutura de hardware, plataformas de desenvolvimento e aplicações como serviços sob demanda, fundamentados em um modelo *pay-as-you-go*. Embora existam diversos estudos e desenvolvimentos recentes, a computação em nuvem ainda está em processo de evolução e cada vez mais surgem novas tecnologias que podem ser agregadas a ela, sendo o caso das Redes Definidas por Software - SDN e Virtualização de Funções de Rede – NFV. SDN é um paradigma que promete mudar o estado das redes IP tradicionais, tornando-as menos complexas e mais fáceis de gerenciar. NFV, por sua vez, surgiu como uma solução para os desafios enfrentados por provedores de serviços de telecomunicações, pois leva a tecnologia de virtualização a oferecer uma nova maneira de projetar, implantar e gerenciar serviços de rede. Diante de tais tecnologias e desafios para sua utilização, surge a necessidade de integrá-las, assim como a necessidade de avaliar a qualidade dessa integração. Tendo isso em vista, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um catálogo de métricas para a avaliação de qualidade de ambientes de nuvens computacionais apoiadas pelas tecnologias SDN e NFV. Para a construção do catálogo foi realizado um mapeamento sistemático da literatura, no qual, de um conjunto de 529 trabalhos, foram selecionados 14 para a extração das métricas. Desse catálogo foi aplicada a métrica Utilização de Recursos a um ambiente de computação em nuvem híbrida, sem a integração das outras duas tecnologias (SDN e NFV), devido a dificuldade de encontrar um ambiente integrado e o curto período para desenvolvimento. A métrica Utilização de Recursos apresentou uma boa representação da alocação e desalocação de recursos no ambiente experimental, permitindo concluir-se que pode ser utilizada para avaliação de ambientes integrados de CC, SDN e NFV, podendo ter comportamento diferente do que teve nos experimentos apenas de nuvem híbrida.

Palavras-chave: Computação em Nuvem. Redes Definidas por Software. Virtualização de Funções de Rede. Avaliação de Qualidade.

ABSTRACT

A cloud computing is a paradigm that suggests the integration of various technology models to deliver hardware infrastructure, development platforms, and applications in a pay-as-you-go model. Although there are several studies and recent developments, a cloud computing is still in the process of evolution and more and more new technologies that can be added to it, such as Software Defined Networks - SDN and Network Function Virtualization - NFV. SDN is a paradigm that promises to change the state of traditional IP networks, making them less complex and easier to manage. NFV emerges as a solution to the challenges faced by telecom service providers, as it takes a virtualization technology to offer a new way to design, deploy, and manage network services. With such technologies and challenges for their use, there is a need to integrate and to evaluate the quality of such integration. This work aims to develop a catalog of metrics for a quality evaluation of computational cloud environments supported by SDN and NFV technologies. To construct this catalog, we made a systematic mapping of current literature. Of a set of 529 works, 14 were selected for metrics extraction. From this catalog, the Resource Utilization metric was applied on a hybrid cloud computing environment, without the integration of the other two technologies (SDN and NFV), due to the difficulty of finding an integrated environment and short period for development. The Resource Utilization metric presented a good representation of the allocation and delocalization of resources on an experimental environment, allowing us to conclude that it can be used for the evaluation of integrated environments of CC, SDN, and NNF. With the possibility of different behavior than the achieved on hybrid clouds only experiment.

Keywords: Cloud Computing. Software Defined Network. Network Function Virtualization. Quality Evaluation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelos de serviços de computação em nuvem.	19
Figura 2 – Modelos de implantação de computação em nuvem.	20
Figura 3 – Arquitetura SDN.	22
Figura 4 – Arquitetura NFV.	25
Figura 5 – Ciclo geral da metodologia.	36
Figura 6 – Atividades planejadas para execução do mapeamento sistemático.	38
Figura 7 – Processo de filtro.	43
Figura 8 – Distribuição por ano dos trabalhos coletados.	47
Figura 9 – Distribuição dos trabalhos da seleção classificados por ano.	48
Figura 10 – Experimento 1: uma máquina virtual na nuvem privada e uma máquina virtual na nuvem pública. Gráficos de Utilização de Recursos e Média de CPU.	61
Figura 11 – Experimento 2: três máquinas virtuais na nuvem privada e uma máquina virtual na nuvem pública. Gráficos de Utilização de Recursos e Média de CPU.	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características e atributos de qualidade da ISO/IEC 25010 (ISO/IEC, 2011)	28
Tabela 2 – Trabalhos relacionados.	33
Tabela 3 – Palavras-chave, sinônimos e termos derivados.	39
Tabela 4 – <i>String</i> de busca automática	40
Tabela 5 – Critério de Inclusão	41
Tabela 6 – Lista de Critérios de Exclusão	41
Tabela 7 – Informações coletadas nos documentos	41
Tabela 8 – Número de trabalhos encontrados por biblioteca	46
Tabela 9 – Estado da pesquisa após o filtro inicial.	47
Tabela 10 – Trabalhos selecionados agrupados por biblioteca.	48
Tabela 11 – Características e atributos de qualidade extraídos de artigos da literatura. . .	49
Tabela 12 – Características de qualidade, atributos de qualidade e medidas extraídas a partir de artigos da literatura.	52
Tabela 13 – Catálogo de medidas de qualidade.	54
Tabela 14 – Fórmulas de cálculo das medidas.	55
Tabela 15 – Estrutura dos arquivos de log.	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CC	<i>Cloud Computing</i> (Computação em Nuvem)
TI	Tecnologia da Informação
TICs	Tecnologias da Informação e Comunicação
SDN	<i>Software-Defined Networking</i> (Rede definida por Software)
NFV	<i>Network Functions Virtualization</i> (Virtualização de Funções de Rede)
VNF	<i>Virtual Network Function</i> (Funções de Rede Virtualizadas)
NF	<i>Network Functions</i> (Funções de Rede)
OPEX	<i>Operating Expenses</i> (Despesas Operacionais)
CAPEX	<i>Capital Expenses</i> (Despesas de Capital)
SaaS	<i>Software as a Service</i> (Software como um Serviço)
PaaS	<i>Platform as a Service</i> (Plataforma como um Serviço)
IaaS	<i>Infrastructure as a Service</i> (Infraestrutura com um Serviço)
NOS	<i>Network Operating System</i> (Sistema Operacional de Rede)
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i> (Instituto Europeu de Normas de Telecomunicações)
TSP	<i>Telecommunications Service Provider</i> (Provedor de Serviços de Telecomunicações)
NFVI	<i>Network Function Virtualization Infrastructure</i> (Infraestrutura de Virtualização de Funções de Rede)
NFV MANO	<i>NFV Management and Orchestration</i> (NFV Gerenciamento e Orquestração)
DHCP	<i>Dynamic Host Configuration Protocol</i> (Protocolo de Configuração de Host Dinâmico)
VMs	Máquinas Virtuais

SQuaRE	<i>Software Product Quality Requirements and Evaluation</i> (Requisitos e Avaliação de Qualidade de Produto de Software)
StArt	<i>State of the Art through Systematic Reviews</i> (Estado da Arte através de Revisões Sistemáticas)
UFC	Universidade Federal do Ceará
FOLE	Framework Conceitual para Avaliação de desempenho da Elasticidade de Ambientes de Computação em Nuvem
QP	Questões de Pesquisa
QoS	<i>Quality of Service</i> (Qualidade de Serviço)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	Computação em Nuvem (<i>Cloud Computing</i> - CC)	17
2.1.1	<i>Características Essenciais</i>	17
2.1.2	<i>Modelos de Serviços</i>	18
2.1.3	<i>Modelos de Implantação</i>	20
2.2	Redes Definidas por Software (<i>Software Defined Network</i> - SDN)	21
2.2.1	<i>Arquitetura SDN</i>	21
2.3	Virtualização de Funções de Rede (<i>Network Function Virtualization</i> - NFV)	23
2.3.1	<i>Arquitetura NFV</i>	24
2.3.1.1	<i>Infraestrutura de Virtualização de Funções de Rede (NFVI)</i>	25
2.3.1.2	<i>Funções de Rede Virtualizadas (VNF) e Serviços</i>	26
2.3.1.3	<i>Gerenciamento e Orquestração NFV (NFV MANO)</i>	26
2.4	Qualidade de Software	26
2.4.1	<i>Avaliação da Qualidade de Ambientes Integrados (CC, SDN e NFV)</i>	31
3	TRABALHOS RELACIONADOS	33
3.1	A Quality Model for Evaluating Software-as-a-Service in Cloud Computing	34
3.2	CLOUDQUAL: A Quality Model for Cloud Services	34
3.3	Quality models for web services: A systematic mapping	34
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	36
4.1	Definição da Metodologia	37
4.2	Planejamento do Mapeamento Sistemático	37
4.2.1	<i>Definição do Objetivo</i>	38
4.2.2	<i>Definição do Protocolo</i>	38
4.2.2.1	<i>Questões de Pesquisa</i>	39
4.2.2.2	<i>Estratégia de busca</i>	39
4.2.2.2.1	<i>Fontes de Pesquisa</i>	40
4.2.2.3	<i>Estratégia de Seleção dos Estudos</i>	40
4.2.2.3.1	<i>Critérios de Seleção</i>	40
4.2.2.4	<i>Estratégia de Extração de Dados</i>	41

4.3	Condução do Mapeamento Sistemático	42
4.3.1	<i>Busca dos Trabalhos</i>	42
4.3.2	<i>Filtro Inicial</i>	43
4.3.3	<i>Seleção de Documentos</i>	43
4.3.4	<i>Extração dos Dados</i>	43
4.4	Resultados do Mapeamento Sistemático	44
4.5	Desenvolvimento de um Catálogo	44
4.6	Aplicação do Catálogo	44
4.6.1	<i>Definição do ambiente de aplicação</i>	44
4.6.2	<i>Escolha da Ferramenta de Apoio à Aplicação do catálogo</i>	44
4.6.3	<i>Escolha das métricas e Implementação</i>	45
4.6.4	<i>Realização dos Experimentos</i>	45
5	RESULTADOS DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO	46
5.1	Condução do Mapeamento Sistemático	46
5.1.1	<i>Busca dos Trabalhos</i>	46
5.1.2	<i>Filtro Inicial</i>	47
5.1.3	<i>Seleção de documentos</i>	48
5.1.4	<i>Extração dos dados</i>	48
5.1.4.1	<i>QP 1: Quais características e atributos de qualidade podem ser utilizadas para avaliar ambientes integrados de CC, SDN e NFV?</i>	49
5.1.4.2	<i>QP 2: Quais métricas de qualidade podem ser utilizadas para avaliar ambientes integrados de CC, SDN e NFV?</i>	50
5.2	Catálogo de Métricas	54
6	APLICAÇÃO PRÁTICA DO CATÁLOGO	58
6.1	Descrição do Ambiente de Nuvem Híbrida	58
6.1.1	<i>Experimento 1 - Uma Máquina Virtual na Nuvem Privada e Uma Máquina Virtual na Nuvem Pública</i>	59
6.1.2	<i>Experimento 2 - Três Máquinas Virtuais na Nuvem Privada e Uma Máquina Virtual na Nuvem Pública</i>	59
6.2	Ferramenta de Apoio à Análise das Métricas	59
6.3	Aplicação das Métricas	60
6.3.0.1	<i>Métrica de Utilização de Recursos</i>	60

6.3.0.2	<i>Métricas de Média de CPU.</i>	60
6.4	Resultados da Aplicação das Métricas	60
6.4.1	<i>Resultados da Aplicação das Métricas sobre os dados coletados no Experimento 1</i>	60
6.4.2	<i>Resultados da Aplicação das Métricas sobre os dados coletados no Experimento 2</i>	61
6.5	Análise dos Resultados da Aplicação das Métricas	62
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
7.1	Discussão	63
7.2	Conclusões	64
7.3	Limitações	65
7.4	Trabalhos Futuros	65
	REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, a Computação em Nuvem (*Cloud Computing* - CC) tornou-se um tema de pesquisa considerável das comunidades científicas e industriais, por representar uma nova era para a disponibilização e utilização dos serviços de Tecnologia da Informação (TI) por meio da Internet (SINGH, 2013). O paradigma de computação em nuvem é fundamentado em um modelo de pagamento baseado no uso, e sugere a integração de diversos modelos tecnológicos para disponibilizar infraestrutura de *hardware*, plataformas de desenvolvimento e aplicações como serviços sob demanda (COUTINHO et al., 2015).

Embora existam diversos estudos e desenvolvimentos recentes, a computação em nuvem ainda está em processo de evolução e cada vez mais surgem novas tecnologias que podem ser agregadas a ela (AZODOLMOLKY; WIEDER; YAHYAPOUR, 2013), sendo o caso das Redes Definidas por *Software* e Virtualização de Funções de Rede.

As Redes Definidas por *Software* (*Software-Defined Networking* - SDN) representam um paradigma que promete mudar o estado das redes IP tradicionais, que são consideradas complexas e difíceis de gerenciar, pois possuem o plano de controle e o plano de dados agrupados nos dispositivos de rede. SDN rompe a integração vertical com a separação desses planos (controle e dados). Dessa forma, a funcionalidade de controle é removida de dispositivos, que se tornam elementos de encaminhamento simples de pacotes (KREUTZ et al., 2015).

A Virtualização de Funções de Rede (*Network Functions Virtualization* - NFV) é uma grande parte da Computação em Nuvem (BATTULA, 2014), que surgiu como uma solução para os desafios enfrentados por provedores de serviços de telecomunicações, pois leva a tecnologia de virtualização a oferecer uma nova maneira de projetar, implantar e gerenciar serviços de rede. A NFV desassocia as Funções de Rede (*Network Functions* - NF) dos equipamentos físicos onde são executadas, podendo levar a reduções significativas nas despesas operacionais - *Operating Expenses* (OPEX) - e capitais - *Capital Expenses* (CAPEX), além de promover maior retorno e agilidade na implementação de novos serviços (MIJUMBI et al., 2016).

A Infraestrutura de rede de computação em nuvem é compartilhada com uma quantidade de entidades independentes, por consequência, o gerenciamento da rede se torna um desafio. Diante disso, SDN possui características altamente valiosas para sistemas de computação em nuvem (BARROS et al., 2015), e também desempenha um papel importante na infraestrutura da tecnologia de NFV, por tornar as redes mais flexíveis, dinâmicas e econômicas, ao mesmo tempo em que simplifica as complexidades operacionais (BATTULA, 2014).

Com o grande uso das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) em todos os níveis da atividade humana, a avaliação da qualidade dessas tecnologias tendem a adquirir a cada dia maior importância (GOMES, 2008). Assim, diante do surgimento das tecnologias de CC, SDN e NFV, e do fato delas estarem altamente relacionadas, viu-se a necessidade de avaliar a qualidade desses ambientes de forma integrada. Uma avaliação de qualidade pode ser realizada a partir da medição dos atributos de qualidade da tecnologia em questão (ISO/IEC, 2011).

Na pesquisa realizada neste trabalho, foram identificados alguns trabalhos relacionados a avaliação de qualidade em nuvem, como o trabalho de Lee et al. (2009), que apresenta um modelo de qualidade para avaliação de serviços de nuvem SaaS (*Software as a Service*), o trabalho de Zheng et al. (2014), que propõe um modelo chamado CLOUDQUAL para avaliação de qualidade de serviços de nuvem de um modo geral, e o trabalho de Oriol, Marco e Franch (2014), que realiza um mapeamento sistemático sobre o estado atual da arte dos modelos de qualidade propostos para serviços *Web*.

Nesse contexto de avaliação de qualidade em nuvem, este trabalho propõe, a partir de um mapeamento sistemático da literatura, a construção de um catálogo de métricas de qualidade para a avaliação da qualidade de ambientes integrados de Computação em Nuvem, Redes Definidas por *Software* e Virtualização de Funções de Rede, tendo como principal público alvo os pesquisadores dessas áreas.

O restante deste trabalho é dividido da seguinte maneira: o Capítulo 2 apresenta os conceitos de Computação em Nuvem, Redes Definidas por Software, Virtualização de Funções de Rede e Qualidade de *Software*; o Capítulo 3 descreve os trabalhos relacionados; o Capítulo 4 apresenta os procedimentos realizados para desenvolvimento e condução do mapeamento sistemático, incluindo os processos de extração de dados, desenvolvimento de um catálogo de métricas e aplicação do catálogo; o Capítulo 5 relata os resultados obtido com o mapeamento sistemático; O Capítulo 6 apresenta a aplicação prática do catálogo com os resultados da aplicação; por fim, o Capítulo 7 apresenta as considerações finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta uma visão geral dos conceitos fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Na Seção 2.1, são apresentados os conceitos referentes à Computação em Nuvem. Na Seção 2.2, é feita uma abordagem sobre Redes Definidas por *Software*. Na Seção 2.3, é definida Virtualização de Funções de Rede. Na Seção 2.4, são apresentados os conceitos de Qualidade de *Software*.

2.1 Computação em Nuvem (*Cloud Computing* - CC)

A computação em nuvem se manifestou como um paradigma de computação amplamente aceito (AZODOLMOLKY; WIEDER; YAHYAPOUR, 2013), que sugere a integração de diversos modelos tecnológicos para disponibilizar infraestrutura de *hardware*, plataformas de desenvolvimento e aplicações como serviços sob demanda. A computação em nuvem é fundamentada em um modelo *pay-as-you-go* (COUTINHO et al., 2015), em que os usuários pagam apenas pelo que usam de uma determinada infra-estrutura de computação (SINGH, 2013).

As nuvens são um grande conjunto de recursos virtualizados facilmente acessíveis através da *Web*. Os serviços disponibilizados pela nuvem podem ser acessados de qualquer local, sem a necessidade do usuário saber sobre *hardware*, *software*, serviços de interface e plataformas que estão por trás disso. Todas essas informações são abstraídas dos usuários (SINGH, 2013).

Mell, Grance et al. (2011) apresentam computação em nuvem como um modelo composto por cinco características essenciais, três modelos de serviço e quatro modelos de implantação. Esse modelo permite acesso a um conjunto de recursos de computação configuráveis, de modo conveniente e sob demanda, que podem ser ligeiramente obtidos e difundidos com o mínimo esforço de gerenciamento ou interação com o provedor de serviços. As características e os modelos de serviços e implantação são descritos nas Seções seguintes.

2.1.1 Características Essenciais

As características essenciais são, basicamente, as vantagens oferecidas pela computação em nuvem. Algumas dessas características, como elasticidade rápida, amplo acesso e serviço medido, definem a computação em nuvem e a diferencia de outros paradigmas (SOUSA et al.,).

- **Self-service sob demanda:** conforme surja necessidade, é realizada a aquisição de recursos computacionais de forma automática, como tempo de processamento no servidor e armazenamento na rede, sem que haja necessidade de interação humana com o provedor de serviços (MELL; GRANCE et al., 2011).
- **Ampla acesso:** recursos computacionais são oferecidos por meio da internet, sendo acessados através de mecanismos padronizados. Esses mecanismos possibilitam o uso dos recursos por meio de dispositivos como *smartphones*, *tablets* e *laptops* (MELL; GRANCE et al., 2011).
- **Pooling de recursos:** recursos computacionais são utilizados para atender a múltiplos usuários, utilizando um modelo multi-inquilino. Esses recursos distintos são ajustados e atribuídos dinamicamente de acordo com a demanda, sem a necessidade do usuário ter conhecimento da localização física deles. Exemplos de recursos incluem armazenamento, processamento e largura de banda (MELL; GRANCE et al., 2011).
- **Elasticidade rápida:** recursos computacionais, em conformidade com a demanda, podem ser adquiridos rapidamente e de forma elástica (caso haja a necessidade de escalar) ou liberados. Os recursos disponíveis para os usuários, parecem ser ilimitados e podem ser adquiridos a qualquer momento (MELL; GRANCE et al., 2011).
- **Serviço medido:** sistemas em nuvem, por meio de uma capacidade de medição, controlam e otimizam automaticamente os recursos para cada tipo de serviço, como armazenamento, processamento e largura de banda, realizando um monitoramento de forma transparente para os provedores de serviços e consumidores (MELL; GRANCE et al., 2011).

2.1.2 Modelos de Serviços

Do ponto de vista do usuário final, a indústria de computação fala sobre diferentes modelos de entrega de computação em nuvem (MARSTON et al., 2011). Esses modelos são considerados muito importantes por definirem um padrão arquitetural para soluções de computação em nuvem (SOUSA et al.,). Tais modelos estão representados na Figura 1 e detalhados logo em seguida.

Figura 1 – Modelos de serviços de computação em nuvem.



Fonte – Adaptada de Mell, Grance et al. (2011).

- **Software como um Serviço (*Software as a Service - SaaS*):** esse modelo permite o fornecimento de *softwares* para os usuários por meio da internet, em que o aplicativo é executado na nuvem, eliminando a necessidade de instalação e execução no computador. Os usuários podem acessar essas aplicações a partir de vários dispositivos, como o navegador *Web*, e não controlam ou gerenciam a infraestrutura de nuvem (MELL; GRANCE et al., 2011). O *Google Drive*¹ é um exemplo de SaaS que está sendo bastante utilizado.
- **Plataforma como um Serviço (*Platform as a Service - PaaS*):** esse modelo fornece aos usuários sistema operacional, bibliotecas, serviços, ferramentas e ambiente para execução e desenvolvimento de aplicações por meio do uso de linguagens de programação. O modelo PaaS facilita o desenvolvimento e implantação de aplicativos sem o custo e a complexidade de comprar e gerenciar *hardware* e *software*, pois, da mesma forma que no modelo SaaS, os usuários não controlam ou gerenciam a infraestrutura de nuvem, porém têm controle sobre as aplicações criadas e podem realizar configurações necessárias ao ambiente em que essas estão hospedadas (MELL; GRANCE et al., 2011). A plataforma *Google App Engine*² é um exemplo de PaaS.
- **Infraestrutura como um Serviço (*Infrastructure as a Service - IaaS*):** esse modelo fornece aos usuários servidores de armazenamento, redes, implantação e execução de *softwares* e demais recursos computacionais como um serviço. Da mesma forma que nos demais modelos, no IaaS os usuários também não controlam ou gerenciam a infraestrutura de nuvem, mas têm controle sobre os *softwares* e aplicativos implantados (MELL;

¹ <https://www.google.com/drive/>

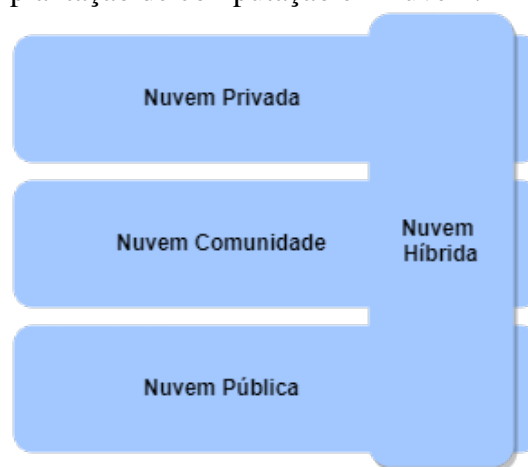
² <https://cloud.google.com/appengine/>

GRANCE et al., 2011). OpenStack³ e OpenNebula⁴ são exemplos de IaaS.

2.1.3 Modelos de Implantação

A distinção dos tipos de modelo de implantação para os ambientes de computação em nuvem se dá a partir do tipo de acesso e disponibilidade dos mesmos (SOUSA et al.,). Esses modelos estão ilustrados na Figura 2 e em seguida são detalhados de acordo com as definições de Mell, Grance et al. (2011):

Figura 2 – Modelos de implantação de computação em nuvem.



Fonte – Adaptada de (MELL; GRANCE et al., 2011).

- **Nuvem privada (*private cloud*):** é uma infraestrutura de nuvem em que o uso é destinado a uma organização, podendo essa nuvem ser gerenciada e operada pela própria organização ou por terceiros.
- **Nuvem comunidade (*community cloud*):** é uma infraestrutura de nuvem em que o uso é destinado a uma comunidade de organizações que têm interesses compartilhados, como políticas e requisitos de segurança, podendo ser gerenciada ou operada por qualquer uma das organizações envolvidas ou por terceiros.
- **Nuvem pública (*public cloud*):** é uma infraestrutura de nuvem em que o uso é aberto ao público em geral, podendo ser gerenciada e operada por uma organização comercial, acadêmica ou governamental.
- **Nuvem híbrida (*hybrid cloud*):** é uma infraestrutura de nuvem que compreende uma composição de duas ou mais infraestruturas de nuvem distintas, conectadas por meio de

³ <https://www.openstack.org/>

⁴ <https://opennebula.org/>

tecnologias que favorecem o compartilhamento de dados e aplicações.

A Infraestrutura de rede de computação em nuvem é compartilhada com uma quantidade de entidades independentes, por consequência, o gerenciamento da rede se torna um desafio. Diante disso, a tecnologia de Redes Definidas por *Software* que está emergindo, possui características consideradas altamente valiosas para sistemas de computação em nuvem (BARROS et al., 2015).

2.2 Redes de Definidas por *Software* (*Software Defined Network* - SDN)

As redes IP tradicionais dispõem de protocolos de controle e transporte (executando em roteadores e switches), que são as principais tecnologias responsáveis pelo tráfego de dados ao redor do mundo. Porém, apesar de sua ampla adoção, as redes IP tradicionais são consideradas complexas e difíceis de serem gerenciadas (BENSON; AKELLA; MALTZ, 2009). Quando há a necessidade de integrar um novo elemento básico à rede, por exemplo um roteador, ele tem que ser configurado manualmente para que toda a rede o conheça, e configurações manuais demandam bastante tempo e são vulneráveis a falhas (SIMÕES, 2016).

Um fator que torna as redes tradicionais ainda mais complexas, é o agrupamento do plano de controle e o plano de dados dentro dos dispositivos de rede. O plano de controle é o responsável pela parte "inteligente" do dispositivo. Por exemplo, é função do plano de controle executar os códigos dos protocolos de roteamento para efetuarem o cálculo das rotas em roteadores. O plano de dados, por sua vez, é responsável pelo encaminhamento, verificando na tabela de roteamento por qual interface deve encaminhar os pacotes (REZENDE et al., 2016).

As Redes Definidas por *Software* (SDN) é um paradigma que promete mudar o estado das redes IP tradicionais, visto que essas redes são complexas e difíceis de gerenciar. SDN rompe a integração vertical, separando o plano de dados do plano de controle, em que a funcionalidade de controle passa a ser implementada em um controlador logicamente centralizado, sendo removida de dispositivos de rede, que se tornam elementos de encaminhamento simples de pacotes (KREUTZ et al., 2015).

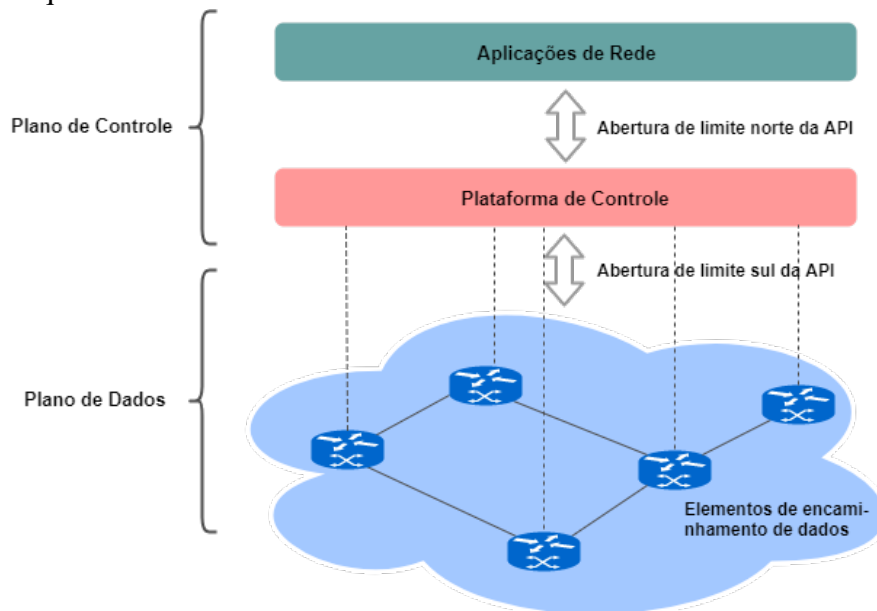
2.2.1 Arquitetura SDN

Kreutz et al. (2015) definem Redes Definidas por *Software* como uma arquitetura de rede composta por estes quatro pilares:

1. Desacoplamento do plano de controle do plano de dados, em que a funcionalidade de controle é removida de dispositivos de rede (*switches*, roteadores).
2. Em vez de baseadas em destino, as decisões de encaminhamento passam a ser baseadas em fluxo. No contexto SDN / OpenFlow, um fluxo é uma sequência de pacotes entre uma origem e um destino, em que todos os pacotes de um fluxo recebem políticas de serviços idênticos aos dispositivos de encaminhamento.
3. Uma entidade externa, chamada controlador SDN ou NOS (*Network Operating System* - Sistema Operacional de Rede), passa a ser responsável pela lógica de controle. O NOS é uma plataforma de *software* que tem funcionalidade semelhante a de um sistema operacional, fornecendo recursos e abstrações necessárias para facilitar a programação de dispositivos de encaminhamento.
4. A rede é programada por meio de aplicações que executam no NOS, que interage com os dispositivos do plano de dados. Essa é considerada a principal característica da SDN.

Em Redes Definidas por *Software* um único programa do Plano de Controle atua sobre múltiplos dispositivos de rede no Plano de Dados (REZENDE et al., 2016). Um modelo simples da arquitetura SDN é apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Arquitetura SDN.



Fonte – Adaptada de Kreutz et al. (2015).

A plataforma de controle exerce funções nos elementos do plano de dados por meio de uma interface de programação de aplicativos (API). Essa API basicamente realiza a separação

dos dois planos (controle e dados), se localizando entre os dispositivos de encaminhamento de dados (*switches*, roteadores) e o controlador SDN, sendo responsável pela troca de comandos entre eles (KREUTZ et al., 2015), conforme ilustrado na Figura 3. Um exemplo de interface de programação de aplicativos é o OpenFlow (REZENDE et al., 2016).

O OpenFlow é fortemente utilizado pela indústria por oferecer acesso ao plano de dados de um modo simples e comum para o controlador da rede. O protocolo OpenFlow foi introduzido inicialmente por McKeown et al. (2008). Os autores abordaram um novo mecanismo de programar o encaminhamento dos pacotes entre os dispositivos de redes, através de uma nova definição dos fluxos. Em virtude da ampla utilização do protocolo OpenFlow, surgiu o inovador paradigma com a ideia de redes programadas por *software*. Na prática, foi implementada uma "espécie" de *firmware* (*software* embutido em *hardware*) com suporte ao OpenFlow, tornando possível gerenciar o tráfego da rede e definir políticas de roteamento.

Redes Definidas por *Software* desempenham um papel importante na infraestrutura da tecnologia de Virtualização de Funções de Redes, por tornar as redes mais flexíveis, dinâmicas e econômicas, ao mesmo tempo em que simplificam as complexidades operacionais (BATTULA, 2014).

2.3 Virtualização de Funções de Rede (*Network Function Virtualization - NFV*)

O fornecimento de serviços de telecomunicações tem sido tradicionalmente baseado na implantação de operações de rede em dispositivos físicos e equipamentos para cada função que faz parte de um determinado serviço (MIJUMBI et al., 2016). Tais soluções possuem arquiteturas proprietárias e *software* fechados, fornecendo pouca flexibilidade quando se deseja realizar novos experimentos em ambientes de estudo e produção (ROSA et al., 2014).

Os componentes de serviços possuem encadeamento e/ou pedidos rigorosos que devem ser refletidos na topologia da rede e na localização dos elementos do serviço. Esses, juntamente com os requisitos de alta qualidade, estabilidade e adesão rigorosa ao protocolo, levaram a ciclos longos de produtos, a uma agilidade de serviço muito baixa e a uma forte dependência de *hardware* especializado (MIJUMBI et al., 2016).

A Virtualização das Funções de Rede é uma grande parte da Computação em Nuvem (BATTULA, 2014) e tem ganhado destaque e apoio da indústria e academia por ser atualmente considerada uma solução aos desafios enfrentados nos serviços de telecomunicações (MIJUMBI et al., 2016).

O conceito de NFV ganhou amadurecimento em 2012, através de um grupo de 13 operadoras com interesses em comum, na qual realizaram uma publicação no *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI) introduzindo novas perspectivas voltadas para a virtualização das funções de rede. Desde então, o uso de NFV tem ganhado cada vez mais popularidade no meio acadêmico e empresarial (ADVISOR, 2014).

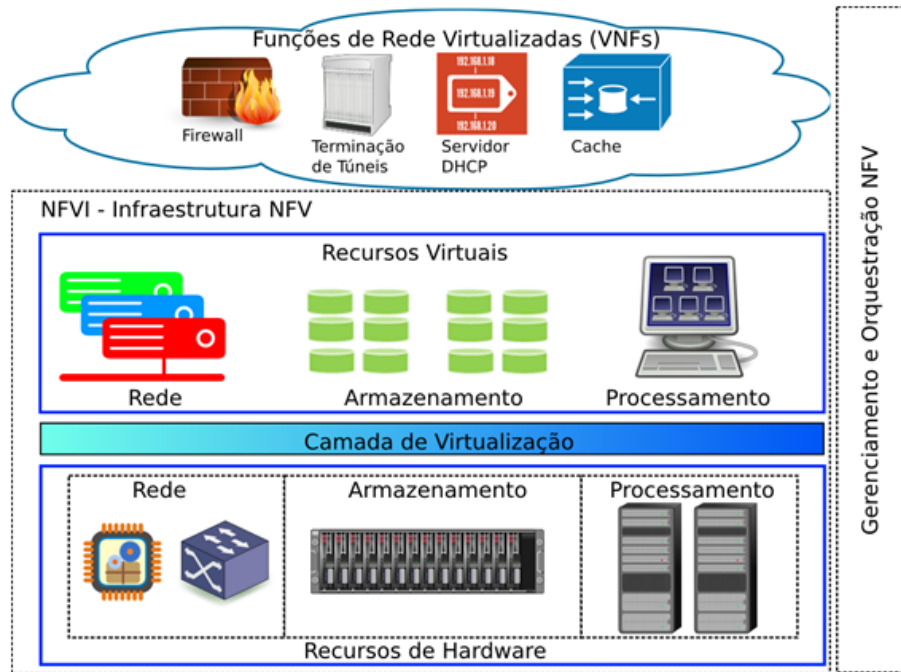
A Virtualização de Funções de Rede é a tecnologia responsável por disponibilizar funções de rede através de serviços virtualizados (ROSA et al., 2014). A NFV utiliza a tecnologia de virtualização para oferecer uma nova maneira de projetar, implantar e gerenciar serviços de rede. A principal ideia da NFV é a dissociação do equipamento de rede física das funções que executam nele. Isso significa que uma função de rede, como um *firewall*, pode ser enviada para um TSP (Provedor de Serviços de Telecomunicações - *Telecommunications Service Provider*) como uma instância de *software* simples (MIJUMBI et al., 2016).

A NFV abre o caminho a uma série de diferenças na forma como o provisionamento de serviços de rede é realizado. Essas diferenças são as seguintes: (i) separação de *software* e *hardware*, permitindo que o *software* possa evoluir independente do *hardware* e vice-versa; (ii) implantação flexível de funções de rede, permitindo que *hardware* e *software* executem funções diferentes em momentos diferentes. Isso faz com que os operadores de redes possam implantar novos serviços de rede mais rápidos sobre a mesma plataforma física; e (iii) dimensionamento dinâmico, em que os operadores de rede podem escalar os recursos para prover um desempenho VNF (*Virtualised Network Function*) de forma dinâmica de acordo com as necessidades e das condições atuais da rede (ETSI, 2014).

2.3.1 Arquitetura NFV

A arquitetura NFV é basicamente formada por três elementos chave: Infraestrutura de Virtualização de Funções de Rede (*Network Function Virtualization Infrastructure* - NFVI), Funções de Rede Virtualizadas (*Virtual Network Function* - VNF) e Gerenciamento e Orquestração NFV (NFV Management and Orchestration - NFV MANO) (ETSI, 2014). A Figura 4 apresenta a arquitetura com esses três elementos.

Figura 4 – Arquitetura NFV.



Fonte – Rosa et al. (2014).

Esses três elementos chave ilustrados na Figura 4, apresentados por Rosa et al. (2014) como os três blocos funcionais principais da arquitetura NFV, são detalhados nas seções seguintes.

2.3.1.1 Infraestrutura de Virtualização de Funções de Rede (NFVI)

A Infraestrutura NFV é a combinação dos recursos de *hardware* e *software* que compõem o ambiente em que são implantadas, executadas e gerenciadas as funções de redes virtuais. Os recursos físicos incluem recursos de computação em nuvem, armazenamento e de rede que fornecem processamento, armazenamento e conectividade para as NFVs. Os recursos virtuais são abstrações de computação, armazenamento e rede. Essa abstração é conseguida através de uma camada de virtualização, com uso de hipervisores (MIJUMBI et al., 2016).

A camada de *software* (ou virtualização) abstrai os recursos de *hardware*, desacoplando o *software* das VNFs de *hardware* especializado, garantindo a independência do tipo de *hardware* a ser utilizado. Em um ambiente de *datacenter*, os recursos computacionais e de armazenamento podem ser representados em termos de uma ou mais máquinas virtuais que podem estar em diferentes localidades. Isso permite que as funções de redes possam executar em locais distintos, mas com a visão de um ambiente único (ROSA et al., 2014).

2.3.1.2 Funções de Rede Virtualizadas (VNF) e Serviços

Funções de Rede Virtualizadas (VNF) é uma implementação de um NF, que é um bloco funcional dentro de uma infraestrutura de rede que tem as interfaces externas e o comportamento funcional bem definidos (exemplos de NFs são elementos como *firewalls* e servidores DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*)). Um único VNF pode ser composto por vários componentes internos e pode ser implementado através de múltiplas máquinas virtuais (VMs) (MIJUMBI et al., 2016).

Um serviço é ofertado por um TSP e é composto por um ou mais NFs. Em NFV, os NFs que compõem o serviço são virtualizados e implementados em recursos virtuais, como uma máquina virtual. Entretanto, na perspectiva do usuário, os serviços, quando baseados em funções executando em um equipamento dedicado ou em uma máquina virtual, devem ter o mesmo desempenho (MIJUMBI et al., 2016).

É muito comum os termos VNF e NFV serem confundidos, porém eles possuem significados distintos. Um VNF refere-se à implementação de uma função de rede usando o *software* que está desacoplado do *hardware* subjacente, enquanto NFV normalmente se refere ao princípio abrangente ou ao conceito de executar funções de rede definidas pelo *software*, independentemente de qualquer plataforma de *hardware* específica (HIROTSU, 2015).

2.3.1.3 Gerenciamento e Orquestração NFV (NFV MANO)

Gerenciamento e Orquestração NFV (NFV MANO - *Management and Orchestration*) controla a interação das funções de rede virtuais com os recursos físicos que fazem parte da NFVI, realizando gerenciamento de recursos como alocação, desalocação e inventário, além de operações como visibilidade da infraestrutura e coleta de informações para gerenciamento de falhas e desempenho. Por outro lado, o NFV MANO também gerencia o ciclo de vida das funções de rede, realizando operações como instanciação, atualização e finalização de VNFs (MIJUMBI et al., 2016).

2.4 Qualidade de Software

Pode-se definir qualidade como a totalidade de características de uma entidade, que lhe confere a capacidade de satisfazer necessidades explícitas e implícitas. Necessidades explícitas são expressas em definição dos requisitos propostos pelo produtor e necessidades

implícitas são necessárias aos usuários, porém não são documentadas (PRESSMAN,). A qualidade é fundamental para o sucesso do produto de *software* (KITCHENHAM; WALKER, 1989).

A avaliação da qualidade de produtos de *software* tem o propósito de atender as necessidades de qualidade das etapas do ciclo de vida do desenvolvimento de *software*, e pode ser feita a partir da medição dos atributos externos (pela medição do comportamento do código quando executado), dos atributos internos (medidas estáticas de produtos intermediários) ou dos atributos de qualidade em uso. O objetivo é que o produto tenha o efeito requisitado por um cenário particular (ISO/IEC, 2011).

Para avaliar a qualidade de um produto de *software*, recomenda-se que seja definido um modelo de qualidade (ISO/IEC, 2014). A utilização de modelos de qualidade é uma forma comum de lidar com a qualidade de modo estruturado e sistemático (WAGNER et al., 2009). Um modelo de qualidade de produto é definido por um conjunto de características, as quais são subdivididas em subcaracterísticas e atributos de qualidade (ISO/IEC, 2011).

Característica de qualidade, que pode ser dividida em subcaracterísticas, é um conjunto de propriedades de um produto de *software* pela qual sua qualidade pode ser definida e avaliada. Atributos são propriedades mensuráveis, físicas ou abstratas, de uma entidade. Medidas podem ser parte de um modelo de avaliação de qualidade, sendo uma medida o mapeamento de uma entidade para um número ou símbolo, com intuito de caracterizar uma propriedade da entidade. As medidas ou métricas são utilizadas para medir os atributos, as subcaracterísticas e as características de qualidade em um produto de *software* (ISO/IEC, 2011).

A norma ISO/IEC 25000, também conhecida como SQuaRE (*Software Product Quality Requirements and Evaluation*), é a norma técnica mais recente para avaliação da qualidade do produto de software (ISO/IEC, 2014). Na Tabela 1 é apresentado o modelo de qualidade para *software* da norma ISO/IEC 25000 (com suas oito características e trinta atributos de qualidade relacionados), que foi atualizado de acordo com o modelo de qualidade definido na ISO/IEC 9126-1 (ISO/IEC, 2001).

A seguir são descritas as oito características e seus trinta e um (31) atributos de qualidade definidos pelo modelo SQuaRE (ISO/IEC, 2011):

1. **Adequação Funcional:** grau em que um produto ou sistema fornece funções que correspondam às necessidades explícitas e implícitas quando utilizado sob as condições especificadas.

Tabela 1 – Características e atributos de qualidade da ISO/IEC 25010 (ISO/IEC, 2011)

Características de Qualidade	Atributos de Qualidade
Adequação Funcional	Completude Funcional
	Corretude Funcional
	Funcionalidade Apropriada
Eficiência de Desempenho	Comportamento em Relação ao Tempo
	Comportamento em Relação aos recursos
	Capacidade
Compatibilidade	Coexistência
	Interoperabilidade
Usabilidade	Conhecimento Adequado
	Apreensibilidade
	Operabilidade
	Acessibilidade
	Proteção de Erro de Usuário
	Estética de Interface de Usuário
Confiabilidade	Maturidade
	Tolerância a Falhas
	Recuperabilidade
	Disponibilidade
Segurança	Integridade
	Confidencialidade
	Não-Repúdio
	Responsabilização
	Autenticidade
Manutenibilidade	Analisabilidade
	Modificabilidade
	Modularidade
	Testabilidade
	Reusabilidade
Portabilidade	Adaptabilidade
	Instabilidade
	Substituibilidade

Fonte – (ISO/IEC, 2011)

- *Completude Funcional*: grau no qual um conjunto de funções abrange todas as tarefas especificadas e os objetivos do usuário.
 - *Corretude Funcional*: grau no qual um produto ou sistema fornece resultados corretos, com um determinado grau de precisão.
 - *Funcionalidade Apropriada*: grau em que as funções facilitam a realização das tarefas e dos objetivos para os quais o sistema foi especificado.
2. **Eficiência de Desempenho**: desempenho do produto em relação à quantidade dos recursos utilizados sob condições estabelecidas.
- *Comportamento em relação ao tempo*: grau em que os tempos de resposta e de

processamento e taxas de transferência de um produto ou sistema, no desempenho das suas funções, atende aos requisitos.

- *Comportamento em Relação aos recursos*: diz respeito à quantidade de recursos necessários para que um produto ou sistema atenda aos requisitos.
- *Capacidade*: grau em que os limites máximos do produto ou sistema satisfazem os requisitos.

3. **Compatibilidade**: grau em que um produto, sistema ou componente pode trocar informações com outros produtos, sistemas ou componentes, e/ou executar suas funções, enquanto compartilham o mesmo ambiente de *hardware* ou *software*.

- *Coexistência*: grau em que um produto pode desempenhar as suas funções de forma eficiente ao compartilhar um ambiente e recursos comuns com outros produtos, sem impacto negativo em qualquer outro produto.
- *Interoperabilidade*: grau em que dois ou mais sistemas, produtos ou componentes podem trocar informações e utilizar as informações que foram trocadas.

4. **Usabilidade**: grau em que um produto ou sistema pode ser utilizado por usuários específicos para atingir metas especificadas com eficácia, eficiência e satisfação, em um determinado contexto.

- *Conhecimento Adequado*: grau em que os usuários podem reconhecer se um produto ou sistema é apropriado para suas necessidades.
- *Apreensibilidade*: grau em que um produto ou sistema pode ser usado por usuários para alcançar objetivos específicos de aprendizagem para utilização do produto ou sistema com eficácia, eficiência, inexistência de risco e satisfação, em um contexto de uso especificado.
- *Operabilidade*: grau de facilidade com a qual um produto ou sistema é operado ou controlado.
- *Acessibilidade*: grau em que um produto ou sistema pode ser usado por pessoas com a mais ampla gama de características e capacidades, a fim de alcançar um objetivo especificado em um contexto de uso determinado.
- *Proteção de Erro de Usuário*: grau em que um sistema protege os usuários de cometer erros.
- *Estética de Interface de Usuário*: grau em que uma interface de usuário permite interação agradável e satisfatória.

5. **Confiabilidade:** grau em que um sistema, produto ou componente mantém, ao longo do tempo, um comportamento consistente com o esperado, sob as condições especificadas.
- *Maturidade:* grau no qual um sistema, produto ou componente satisfaz às necessidades de confiabilidade em sua operação normal.
 - *Tolerância a Falhas:* grau em que um sistema, produto ou componente opera como pretendido, apesar da presença de falhas de hardware ou software.
 - *Recuperabilidade:* grau em que, em caso de interrupção ou falha, um produto ou sistema pode recuperar os dados diretamente afetados e re-estabelecer o estado desejado do sistema.
 - *Disponibilidade:* grau em que um sistema, produto ou componente está operacional e acessível quando requisitado para uso.
6. **Segurança:** grau em que as funções e os dados, de um produto ou sistema, são protegidos do acesso não autorizado e o grau em que são disponibilizados para acesso autorizado.
- *Integridade:* grau em que um sistema, produto ou componente evita o acesso não autorizado ou a modificação de programas de computador ou dados.
 - *Confidencialidade:* grau em que um produto ou sistema garante que os dados são acessíveis somente por pessoas autorizadas.
 - *Não-Repúdio:* grau em que um produto ou sistema permite constatar que ações ou acessos foram efetivamente realizados, de forma que não possam ser negados posteriormente.
 - *Responsabilização:* grau em que as ações de uma entidade podem ser atribuídas exclusivamente a esta entidade.
 - *Autenticidade:* grau em que a identidade de uma entidade (pessoa ou recurso) pode ser comprovada a quem requisitar.
7. **Manutenibilidade:** grau de eficácia e eficiência com que um produto ou sistema pode ser modificado pela equipe de manutenção.
- *Analisabilidade:* grau de eficácia e eficiência com a qual é possível avaliar o impacto sobre um produto ou sistema de uma mudança em uma ou mais de suas partes.
 - *Modificabilidade:* grau em que um produto ou sistema pode ser modificado de forma eficiente e eficaz sem a introdução de defeitos ou sem degradação de sua qualidade.
 - *Modularidade:* grau em que um sistema ou programa de computador é composto por componentes discretos, de forma que uma mudança em um componente tem um

impacto mínimo sobre os demais.

- *Testabilidade*: grau de eficácia e eficiência com que critérios de teste podem ser estabelecidos e executados.
- *Reusabilidade*: grau em que um produto pode ser utilizado em mais do que um sistema, ou na construção de outros produtos.

8. **Portabilidade**: grau de eficácia e eficiência com a qual um sistema, produto ou componente pode ser transferido de um *hardware*, *software* ou ambientes de uso.

- *Adaptabilidade*: grau em que um produto ou sistema pode eficazmente e eficientemente ser adaptado para um *hardware*, *software* ou ambientes de uso diferentes ou em evolução.
- *Instabilidade*: grau de eficácia e eficiência com que um produto ou sistema pode ser instalado e/ou desinstalado com sucesso em num ambiente especificado.
- *Substituibilidade*: grau em que um produto pode substituir outro produto de *software* especificado para o mesmo fim no mesmo ambiente.

Praticamente todas as características ou atributos de qualidade definidos pela SQuaRE (ISO/IEC, 2011) podem ser aplicados a ambientes computacionais, e terem sua qualidade avaliada.

2.4.1 Avaliação da Qualidade de Ambientes Integrados (CC, SDN e NFV)

Com o grande uso das tecnologias de informação e comunicação em todos os níveis da atividade humana, a avaliação da qualidade dessas tecnologias tendem a adquirir a cada dia maior importância (GOMES, 2008).

Diante do surgimento das tecnologias de Computação em Nuvem, Redes Definidas por *Software* e Virtualização de Funções de Redes, e do fato dessas tecnologias estarem altamente relacionadas, como apresentado nas Seções anteriores, viu-se a necessidade de avaliar a qualidade desses ambientes de forma integrada.

A qualidade de serviço (*Quality of Service - QoS*), é um termo bastante utilizado para a avaliação de qualidade em redes de computadores, sendo um aspecto muito importante para as redes de comunicação como um todo. A QoS é garantida pela rede, seus componentes e equipamentos utilizados, e é fundamental para o desempenho fim-a-fim das aplicações (SANTANA, 2006).

A QoS é tipicamente expressa e solicitada em termos de "Solicitação de Serviço" ou

"Contrato de Serviço". A solicitação de QoS da aplicação é denominada tipicamente de SLA - Contrato de Nível de Serviço (*Service Level Agreement*), que tem o objetivo de especificar os níveis mínimos de desempenho que um provedor de serviços deverá manter a disposição dos usuários da rede (SANTANA, 2006).

Para medir a qualidade dos serviços em redes, vários aspectos do serviço são frequentemente considerados, tais como vazão, atraso, perda de pacotes, *jitter* (variação de atraso) e disponibilidade (SANTANA, 2006). Esses aspectos estão bastante relacionados às dimensões de qualidade apresentadas pela SQuaRE, como confiabilidade e eficiência de desempenho (ISO/IEC, 2011). Confiabilidade e demais dimensões de qualidade referentes a eficiência de desempenho foram apresentados por trabalhos como o de Guérout et al. (2014) para a avaliação de qualidade de serviço em computação em nuvem. Diante disso, percebe-se que é ainda mais forte relação dos critérios utilizados para avaliação de qualidade de serviço com os critérios apresentados pela SQuaRE.

Zheng et al. (2014) propuseram um conjunto de dimensões de qualidade para serviços em nuvens computacionais: usabilidade, disponibilidade, confiabilidade e capacidade de resposta, que condizem com várias características e atributos de qualidade definidos pela SQuaRE (ISO/IEC, 2011).

Alguns desafios como confiabilidade, escalabilidade, visibilidade e alocação de controladores, ainda vêm sendo enfrentados por SDN, visto que é uma tecnologia relativamente nova (SHARKH et al., 2013). Esses desafios estão altamente relacionados a características e atributos de qualidade definidos pela SQuaRE (ISO/IEC, 2011).

Han et al. (2015) apresentaram alguns requisitos técnicos essenciais para implementação de soluções NFV, que são eles: desempenho da rede, gerenciabilidade, confiabilidade, estabilidade e segurança. Esses requisitos possuem um alto relacionamento com características e atributos de qualidade definidos pela SQuaRE (ISO/IEC, 2011).

Nesse contexto, o presente trabalho objetiva desenvolver um catálogo de métricas de qualidade, para ser aplicado em um ambiente de Nuvens Computacionais apoiados pelas tecnologias de Redes Definidas por *Software* e Virtualização de Funções de Rede.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Neste capítulo, são apresentados os trabalhos de Lee et al. (2009), Zheng et al. (2014) e Oriol, Marco e Franch (2014), que se encontram entre as principais produções relacionadas ao tema de pesquisa deste trabalho. A Tabela 2 apresenta as relações e as principais diferenças entre este trabalho e os trabalhos relacionados. Essas relações e diferenças apresentadas na tabela estão detalhadas nas Subseções seguintes.

Tabela 2 – Trabalhos relacionados.

Trabalhos Relacionados Relações e Diferenças	(LEE et al., 2009)	(ZHENG et al., 2014)	(ORIOLO; MARCO; FRANCH, 2014)	Este trabalho
Definiu um modelo de qualidade para a avaliação de qualidade de computação em nuvem	x	x	x	
Baseado na ISO / IEC 9126	x			
Baseado na ISO / IEC 25000			x	x
Definiu características e atributos para avaliação de qualidade	x	x	x	x
Definiu métricas para avaliação de qualidade	x	x		x
Realizou aplicação prática de métricas		x		x
Realizou um mapeamento sistemático da literatura			x	x
Propôs um catálogo de métricas para avaliação de ambientes integrados de CC, SDN e NFV				x

Fonte – Elaborada pelo autor.

3.1 A Quality Model for Evaluating Software-as-a-Service in Cloud Computing

O trabalho de Lee et al. (2009) apresenta, basicamente, a proposta de um modelo de qualidade abrangente para a avaliação de qualidade de serviços da nuvem SaaS. Com base na ISO / IEC 9126, esses autores identificaram características, atributos de qualidade e definiram métricas para mensurar a qualidade desses atributos. Esse trabalho não faz nenhuma aplicação prática em um ambiente real das métricas definidas e seu modelo de avaliação de qualidade é direcionado a um modelo específico de computação em nuvem (SaaS).

Neste trabalho, é proposta a identificação de características, atributos e medidas de qualidade, assim como no trabalho de Lee et al. (2009). Porém, utiliza-se como base a ISO/IEC 25000, e é proposta a aplicação prática das métricas em um ambiente real. Além disso, este trabalho não se restringe apenas à avaliação de qualidade do modelo de computação em nuvem SaaS.

3.2 CLOUDQUAL: A Quality Model for Cloud Services

Zheng et al. (2014) propõem um modelo de qualidade para serviços em nuvem chamado CLOUDQUAL, que especifica seis métricas de avaliação de qualidade que atendem a serviços de nuvem em geral. Nesse trabalho, os autores fazem um estudo de caso envolvendo três nuvens de armazenamento do mundo real, nomeadas por *Amazon S3*, *Microsoft Windows Azure Blob Storage (Azure Blob)* e *Aliyun Open Storage Service (Aliyun OSS)*, conseguindo demonstrar, por meio de resultados experimentais, a eficácia do CLOUDQUAL e que sua utilização para avaliação de qualidade de serviços de nuvem é viável.

Diferente do trabalho de Zheng et al. (2014), este trabalho propõe um catálogo de métricas para a avaliação de qualidade de ambientes de nuvens computacionais compostos por SDN e NFV.

3.3 Quality models for web services: A systematic mapping

O trabalho de Oriol, Marco e Franch (2014) realiza um mapeamento sistemático sobre o estado atual da arte dos modelos de qualidade propostos para serviços *Web*, utilizando a norma ISO/IEC 25010 (ISO/IEC, 2011) para articulação da análise. Esse trabalhos apresenta características e atributos de qualidade, com as definições mais utilizadas em modelos de

qualidade de serviços *Web* para essas dimensões.

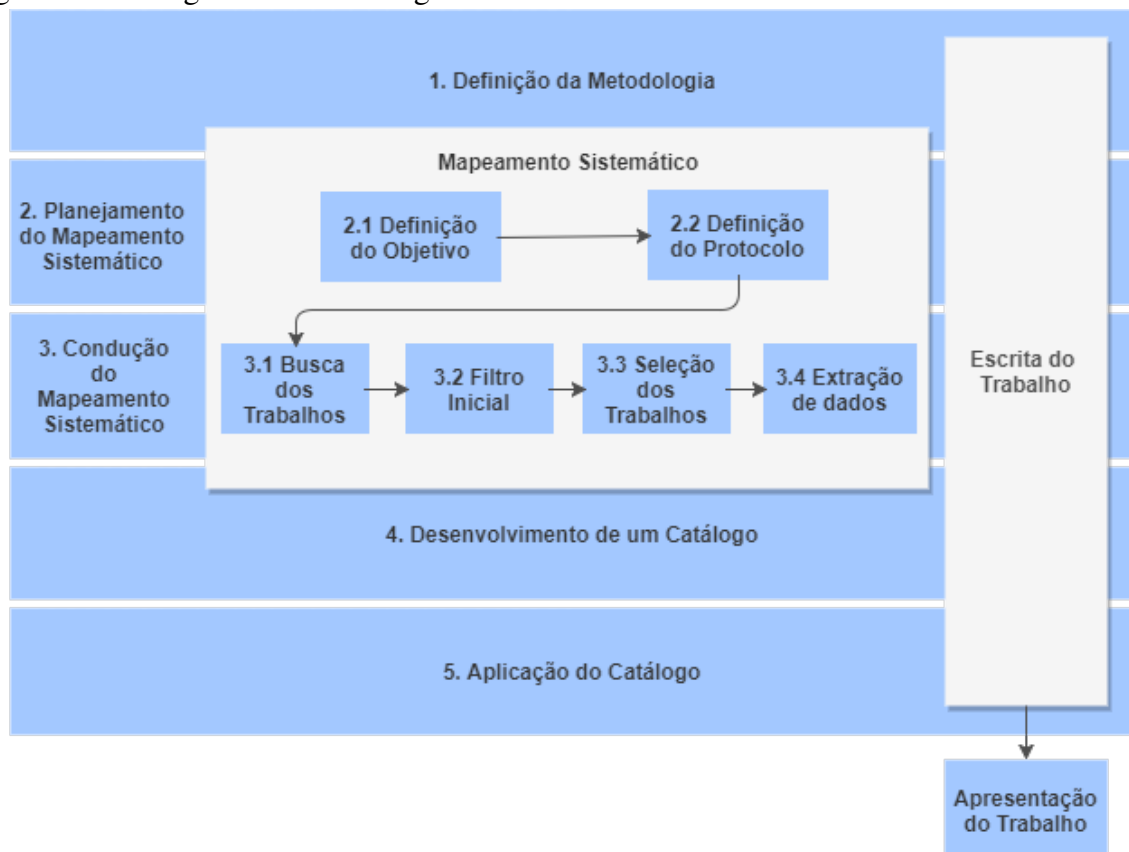
Assim como no trabalho de Oriol, Marco e Franch (2014), este trabalho realiza um mapeamento sistemático da literatura, porém com foco voltado para ambientes integrados de CC, SDN e NFV, além da aplicação prática dos resultados obtidos no mapeamento.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O objetivo desta seção é apresentar o ciclo geral de atividades executadas para o desenvolvimento deste trabalho. A Figura 5 apresenta cinco (5) etapas, ilustrando desde a definição da metodologia até a aplicação prática do catálogo de métricas proposto neste trabalho.

Cada uma das etapas ilustradas na Figura 6 corresponde a uma Seção deste Capítulo. Algumas dessas etapas são complementadas por atividades que são necessárias para alcançar o objetivo que a etapa propõe. Essas atividades complementares representam as Subseções. O processo de escrita do trabalho também é ilustrado na figura, sendo representado por um retângulo que envolve todas as etapas, indicando que a escrita do trabalho ocorreu de modo paralelo a execução delas. Por fim, a figura apresenta um retângulo em sua parte inferior direita, seguida de um seta proveniente da escrita do trabalho, que indica a sua apresentação.

Figura 5 – Ciclo geral da metodologia.



Fonte – Adaptada de Silva (2015).

4.1 Definição da Metodologia

Como este trabalho busca identificar características, atributos e métricas para avaliação de qualidade de ambientes de Computação em Nuvem apoiados por Redes Definidas por *Software* e Virtualização de Funções de Rede, optou-se por realizar um mapeamento sistemático da literatura. O resultado de um estudo de mapeamento é um inventário de documentos sobre a área do tópico, mapeado para uma classificação. Por isso, um mapeamento sistemático fornece uma visão geral do escopo da área e permite descobrir lacunas e tendências de pesquisa (PETERSEN; VAKKALANKA; KUZNIARZ, 2015).

A abordagem utilizada como referência para a realização do mapeamento sistemático deste trabalho, segue as orientações propostas por Petersen, Vakkalanka e Kuzniarz (2015). Como ferramenta de apoio à execução do mapeamento, foi utilizado a ferramenta StArt¹ (*State of the Art through Systematic Reviews*). Essa ferramenta apoia a realização do mapeamento sistemático desde a elaboração do protocolo de mapeamento até a consolidação dos resultados.

A partir da extração de dados dos trabalhos selecionados no mapeamento sistemático, foi desenvolvido um catálogo com a relação de todas as métricas identificadas, mapeadas às características e atributos de qualidade aos quais se relacionam.

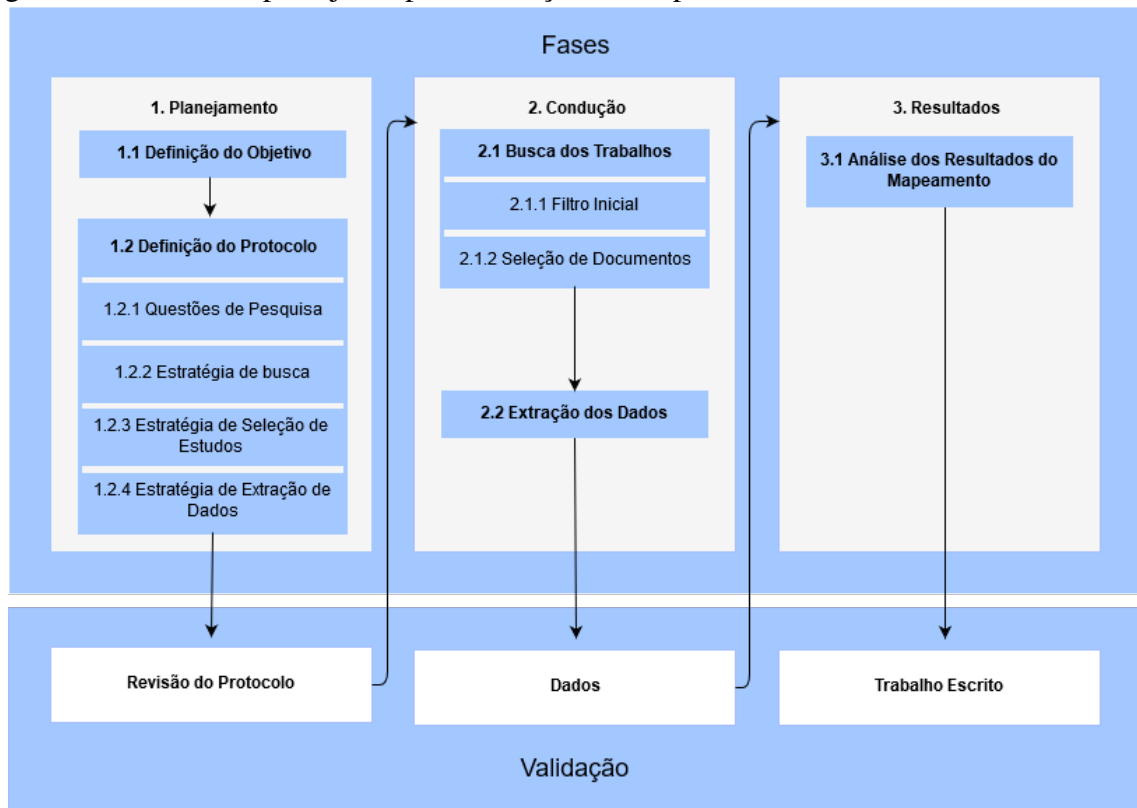
O catálogo de métricas foi desenvolvido para ser aplicado em um ambiente de computação em nuvem apoiado pelas tecnologias de SDN e NVF, porém, devido a limitações, a aplicação foi feita apenas em um ambiente de computação em nuvem sem o apoio das duas tecnologias.

4.2 Planejamento do Mapeamento Sistemático

Esta Seção apresenta o conjunto de atividades planejadas para o processo relacionado à execução do mapeamento sistemático, que é ilustrado pela Figura 6. O objetivo de cada uma das atividades desse planejamento e as orientações de como elas foram realizadas, são apresentados nesta e nas próximas Seções.

¹ <http://lapes.dc.ufscar.br/tools/startool>

Figura 6 – Atividades planejadas para execução do mapeamento sistemático.



Fonte – Adaptada de Silva (2015).

4.2.1 Definição do Objetivo

O primeiro passo realizado, é a definição do objetivo pretendido com a execução do mapeamento sistemático. O objetivo deste mapeamento, concentra-se na identificação de características, atributos e medidas para avaliação da qualidade de ambientes de Nuvens Computacionais apoiados por Redes Definidas por *Software* e Virtualização de Funções de Rede.

4.2.2 Definição do Protocolo

Para guiar o processo de execução do mapeamento sistemático, foi definido o Protocolo de Mapeamento, baseado no modelo utilizado por Petersen, Vakkalanka e Kuzniarz (2015) em seu artigo sobre diretrizes para a realização de estudos de mapeamento sistemático em engenharia de *software*: uma atualização. Este protocolo apresenta os procedimentos a serem executados durante a realização do mapeamento sistemático.

4.2.2.1 Questões de Pesquisa

Diante do objetivo da pesquisa, foram definidas duas principais questões de pesquisa (QP), as quais buscou-se fortemente respondê-las no nosso processo de mapeamento sistemático.

QP 1: Quais características e atributos de qualidade podem ser utilizadas para avaliar ambientes integrados de CC, SDN e NFV?

A partir dessa questão de pesquisa, pretende-se identificar, nos trabalhos selecionados, características e atributos de avaliação de qualidade para os ambiente de Computação em Nuvem, Redes Definidas por *Software* e Virtualização de Funções de Redes de forma integrada.

QP 2: Quais métricas de qualidade podem ser utilizadas para avaliar ambientes integrados de CC, SDN e NFV?

Essa questão de pesquisa busca identificar as medidas de qualidade internas e externas que podem ser utilizadas para avaliação de qualidade de ambientes integrados de Computação em Nuvem, Redes Definidas por *Software* e Virtualização de Funções de Redes.

4.2.2.2 Estratégia de busca

Para a realização da busca automática dos trabalhos, foi necessária a definição de uma *string* de busca. Essa *string* foi definida por meio da extração de palavras-chave das questões de pesquisa. Dessas palavras-chave, foram identificados sinônimos e termos derivados para a montagem de uma *string* ainda mais completa.

Tabela 3 – Palavras-chave, sinônimos e termos derivados.

Palavras-chave	Sinônimos	Termos Derivados
<i>Cloud Computing</i>	-	-
<i>Software Defined Network</i>	-	-
<i>Network Function Virtualization</i>	-	-
<i>Quality Evaluation</i>	<i>Quality Assessment</i>	<i>Quality Attribute, Non-functional Requirement, Quality Requirement</i>
<i>Quality of Service</i>	-	<i>Service Level Agreement, Service Level Objective</i>

Fonte – Elaborada pelo autor.

Neste mapeamento sistemático, os trabalhos a serem considerados como válidos

deveriam ser escritos na língua inglesa, portanto, as palavras-chave, sinônimos e termos derivados extraídas das questões de pesquisa foram traduzidas para o inglês, como apresentadas na Tabela 3. Por consequência, a *string* de busca também foi definida em inglês. A *string* pode ser visualizada na Tabela 4.

Tabela 4 – *String* de busca automática

(“cloud computing” OR “software defined network” OR “network function virtualization”) AND (metric OR measure) AND (“quality of service” OR “Service Level Agreement” OR “Service Level Objective”) AND (“quality attribute” OR “non functional requirement” OR “quality requirement” OR “quality evaluation” OR “quality assessment”)

Fonte – Elaborado pelo autor.

4.2.2.2.1 Fontes de Pesquisa

Grande parte de trabalhos publicados estão disponíveis em bibliotecas digitais. As bibliotecas utilizadas para este trabalho foram: *IEEE Explore*, *Springer Link*, *Scopus* e *Web of Science*. Essas são fontes confiáveis de informações e se encontram entre as principais bases de dados consideradas relevantes para a área da computação (WAZLAWICK, 2015).

4.2.2.3 Estratégia de Seleção dos Estudos

A estratégia de seleção dos estudos consiste na definição dos critérios de seleção, que são critérios de inclusão e exclusão.

4.2.2.3.1 Critérios de Seleção

Foram definidos critérios de inclusão para serem utilizados como auxílio do processo de avaliação dos trabalhos encontrados. Esses critérios foram utilizados para determinar quais trabalhos fariam parte do escopo do mapeamento sistemático. Para este trabalho, foi definido um único critério de inclusão, que pode ser visualizado na Tabela 5.

Tabela 5 – Critério de Inclusão

Documento apresenta abordagem que usa características, atributos ou medidas de qualidade para um ambiente de CC, SDN ou NFV.

Fonte – Elaborado pelo autor

Da mesma forma que os critérios de inclusão determinam quais trabalhos fariam parte do escopo do mapeamento sistemático, os critérios de exclusão são os encarregados por determinar os trabalhos que não fariam parte desse escopo. Na Tabela 6, são apresentados os critérios de exclusão definidos para este trabalho.

Tabela 6 – Lista de Critérios de Exclusão

Documentos não escritos em inglês;
 Documento não apresenta relação ao objetivo da pesquisa;
 Menos de 4 páginas;
 Estudos duplicados.

Fonte – Elaborado pelo autor

4.2.2.4 Estratégia de Extração de Dados

Para cada um dos documentos selecionados, foram extraídas as informações que estão listadas e detalhadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Informações coletadas nos documentos

Campo	Descrição	Especificações
Título	O título do documento	-
Autores	Lista de autores	-
Ano de publicação	Ano em que o documento foi publicado	-
Fonte de Publicação	Nome do Journal, conferência ou lugar onde foi publicado	-
Resumo	Resumo completo do documento	-
Características de Qualidade	Descrição das características de qualidade utilizadas	Requisitos não funcionais sugeridos pela ISO / IEC 25000, tais como, adequação funcional, eficiência de desempenho, compatibilidade, usabilidade, confiabilidade, segurança, manutenibilidade e portabilidade.

Atributos de Qualidade	Descrição das sub-características de qualidade utilizados	Requisitos não funcionais sugeridos pela ISO / IEC 25000, tais como, completude funcional, corretude funcional, adequação funcional, comportamento no tempo, utilização de recursos, capacidade, coexistência, interoperabilidade, conhecimento adequado, apreensibilidade, operacionalidade, acessibilidade, proteção de erro de usuário, estética de interface com o usuário, maturidade, disponibilidade, tolerância a falhas, recuperabilidade, confidencialidade, integridade, não-repúdio, responsabilização, autenticidade, modularidade, analisabilidade, modificabilidade, testabilidade, reusabilidade, adaptabilidade, instabilidade, substituíbilidade.
Medidas de Qualidade	Descrição das medidas de qualidade utilizadas	Medidas de qualidade externas e internas

Fonte – Elaborada pelo autor.

4.3 Condução do Mapeamento Sistemático

O processo de condução do mapeamento sistemática se deu pela realização da busca automática nas bibliotecas digitais definidas, seleção e análise dos trabalhos coletados. Esse processo foi subdividido em alguns passos que são apresentados nesta Seção como Subseções.

4.3.1 Busca dos Trabalhos

A partir do planejamento da execução do mapeamento sistemático, foi realizada a identificação dos primeiros trabalhos. O processo de identificação foi executado por meio de uma busca automática nas três (3) bibliotecas digitais selecionadas (*IEEE Explore*, *Springer Link*, *Scopus e Web of Science*), utilizando a *string* de busca definida.

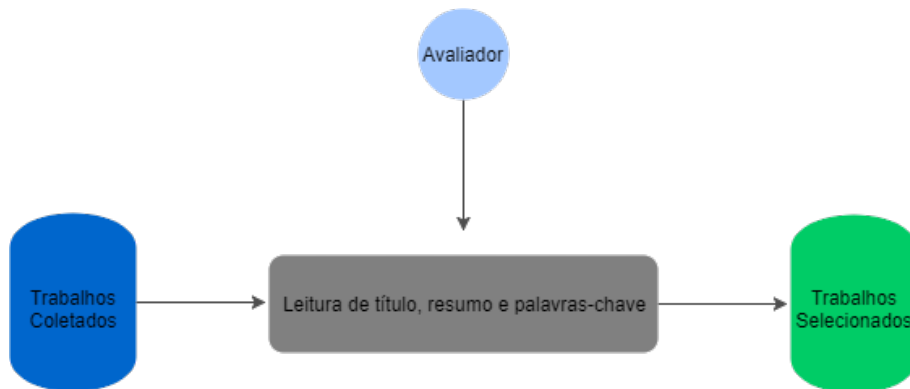
Depois de realizada a busca por trabalhos, os resultados foram adicionados à ferramenta de apoio à execução do mapeamento (StArt). Os resultados provenientes da busca automática das bibliotecas *IEEE Explore*, *Scopus e Web of Science* foram adicionados por meio da importação de arquivos BIBTEX, gerados pelas próprias bibliotecas digitais. Já os resultados advindos da biblioteca *Springer Link* foram adicionados à ferramenta por meio da importação de arquivos RIS, também gerados pela própria biblioteca.

4.3.2 Filtro Inicial

Após a realização da busca, deu-se início ao filtro inicial de documentos. Esse filtro foi responsável por eliminar os trabalhos que, apesar de terem sido selecionados pela busca eletrônica, não apresentavam informações importantes para responder às questões de pesquisa deste mapeamento. Isso ocorre devido ao fato de que alguns trabalhos possuem palavras-chave da *string* de busca, e, mesmo assim, não correspondem de maneira satisfatória com a área em estudo.

O processo para realização do primeiro filtro consistiu na leitura dos títulos, resumos e palavras-chave de cada documento. Cada trabalho foi classificado ou não como aceito para a fase de seleção, a partir de uma avaliação com base nos critérios de inclusão e exclusão definidos durante o planejamento do mapeamento. A Figura 7 apresenta o processo pelo qual foi realizado o filtro inicial de trabalhos.

Figura 7 – Processo de filtro.



Fonte – Adaptada de Silva (2015).

4.3.3 Seleção de Documentos

A seleção de documentos foi realizada por meio da leitura completa dos trabalhos selecionados no filtro inicial, descrito na Seção 4.3.2. A consulta aos trabalhos se deu por meio do acesso autorizado aos periódicos e conferências perante a regulamentação da Universidade Federal do Ceará (UFC).

4.3.4 Extração dos Dados

Com os resultados da seleção dos trabalhos (Seção 4.3.3), foi iniciado o processo de extração das informações dos trabalhos. Esse processo foi realizado a partir da leitura completa

de cada trabalho.

4.4 Resultados do Mapeamento Sistemático

Esta última etapa da metodologia de mapeamento sistemático é responsável por apresentar os resultados obtidos em sua execução. Nela, foi feita uma análise do conjunto final de documentos, obtendo assim o relatório final do mapeamento.

4.5 Desenvolvimento de um Catálogo

Após realizada a extração dos dados, foi construído um catálogo com as medidas de qualidade identificadas. A construção desse catálogo se deu a partir de uma análise dos resultados obtidos no mapeamento sistemático, em que foram identificadas as métricas, mapeadas aos seus atributos, características de qualidade e suas fórmulas de cálculo.

4.6 Aplicação do Catálogo

4.6.1 Definição do ambiente de aplicação

O catálogo de métricas foi desenvolvido para ser aplicado em um ambiente de computação em nuvem apoiado por SDN e NFV, porém, devido a dificuldade de encontrar ou montar um ambiente composto por essas tecnologias, a aplicação prática do catálogo foi feita sobre a base de dados de experimentos realizados em um outro ambiente.

Foram utilizados os seguintes experimentos realizados por Coutinho (2014) para aplicação do catálogo: experimento 1: uma máquina virtual na nuvem privada e uma máquina virtual na nuvem pública; experimento 2: três máquinas virtuais na nuvem privada e uma máquina virtual na nuvem pública. Neste caso, um ambiente de nuvem híbrida. Esses experimentos estão detalhados no Capítulo 6.

4.6.2 Escolha da Ferramenta de Apoio à Aplicação do catálogo

Após a definição do ambiente foi escolhida uma ferramenta para dar suporte a aplicação do catálogo. Essa ferramenta foi desenvolvida por Coutinho, Gomes e Souza (2015).

4.6.3 Escolha das métricas e Implementação

A métrica selecionada no catálogo para ser aplicada na base de dados dos experimentos foi a Utilização de Recursos, que posteriormente foi implementada na ferramenta de apoio à aplicação do catálogo. Essa ferramenta continha a implementação da métrica Média de CPU que foi utilizada para auxiliar a análise de utilização de recursos.

4.6.4 Realização dos Experimentos

Após o processo de escolha de métricas e implementação, foi feita a aplicação delas sobre a base de dados dos experimentos selecionados.

5 RESULTADOS DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO

5.1 Condução do Mapeamento Sistemático

A condução do mapeamento sistemático agrupa as atividades responsáveis por selecionar os trabalhos da pesquisa, classificá-los por meio dos critérios de inclusão e exclusão, e extrair as informações relevantes. Nesta Seção apresentamos os resultados coletados em cada um dos passos da condução do mapeamento sistemático.

5.1.1 Busca dos Trabalhos

A Tabela 8 apresenta os resultados da busca automática nas bibliotecas digitais *IEEE Explore*, *SpringerLink*, *Scopus* e *Web of Science*, utilizando a *string* de busca definida no protocolo de mapeamento sistemático.

Pode-se visualizar na Tabela 8 que os trabalhos coletados inicialmente pela *string* de busca, sem passarem por nenhum filtro, constituíram um conjunto de quinhentos e vinte e nove (529) trabalhos, sendo duzentos e vinte e cinco (225) da *IEEE Explore*, cento e dezenove (119) da *Springer Link*, cento e cinquenta e um (151) da *Scopus* e quatro (4) da *Web of Science*.

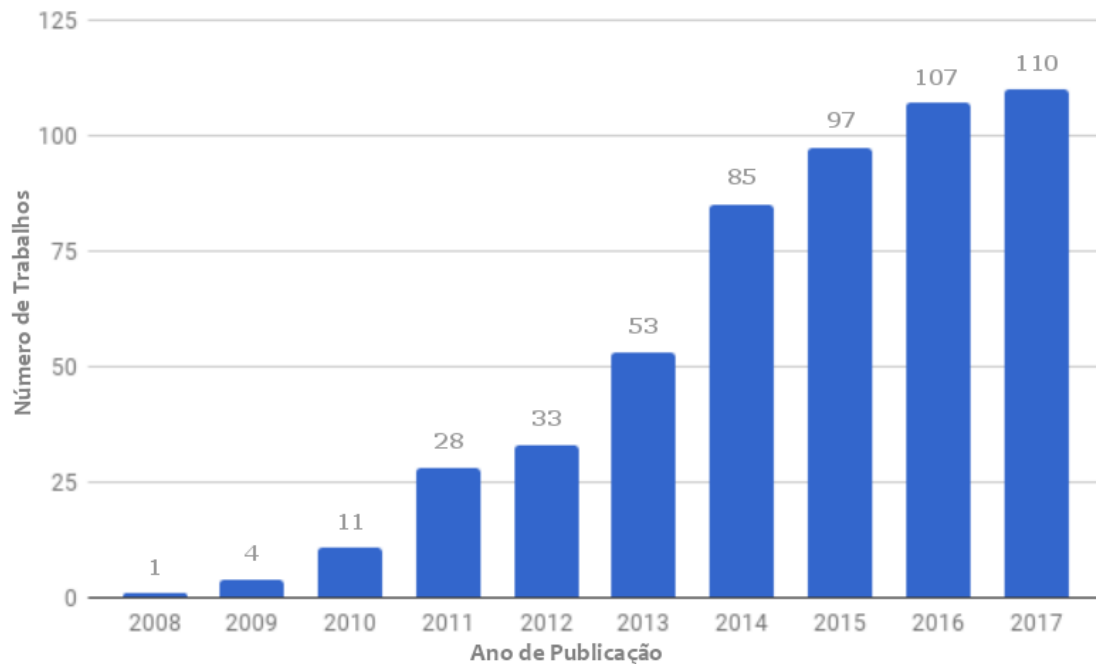
O histograma ilustrado pela Figura 8 apresenta o número de trabalhos coletados agrupados pelo ano em que foram publicados. A partir da análise do histograma, constatamos que a *string* de busca coletou trabalhos entre os anos de 2008 e 2017, e que as produções relacionadas ao tema de pesquisa deste trabalho foram crescendo gradativamente ao longo dos anos.

Tabela 8 – Número de trabalhos encontrados por biblioteca

Biblioteca	Resultado
<i>IEEE Explorer</i>	255
<i>Springer Link</i>	119
<i>Scopus</i>	151
<i>Web of Science</i>	4

Fonte – Elaborada pelo autor.

Figura 8 – Distribuição por ano dos trabalhos coletados.



Fonte – Elaborada pelo autor.

5.1.2 Filtro Inicial

A Tabela 9 apresenta as informações gerais do estado da pesquisa após a realização do filtro inicial.

Tabela 9 – Estado da pesquisa após o filtro inicial.

Categoria	Quantidade
Trabalhos selecionados	68
Trabalhos rejeitados	425
Trabalhos duplicados	36

Fonte – Elaborada pelo autor.

No filtro inicial, foram eliminados quatrocentos e vinte e cinco (425) trabalhos que se encontraram fora do escopo do mapeamento, a partir da leitura de títulos, resumos e palavras-chave. Dentre os critérios para a exclusão de um trabalho, o mais utilizado foi o que estava relacionado a trabalhos não apresentarem relação ao objetivo da pesquisa. Adicionalmente, foram eliminados trinta e seis (36) trabalhos duplicados de maneira automatizada pela ferramenta de apoio à execução do mapeamento. Ao final desse filtro, foram extraídos sessenta e oito (68) trabalhos para serem direcionados ao processo de seleção de documentos.

5.1.3 Seleção de documentos

Ao final desse processo de seleção, foram selecionados quatorze (14) trabalhos. A distribuição desses trabalhos por biblioteca é apresentada na Tabela 10.

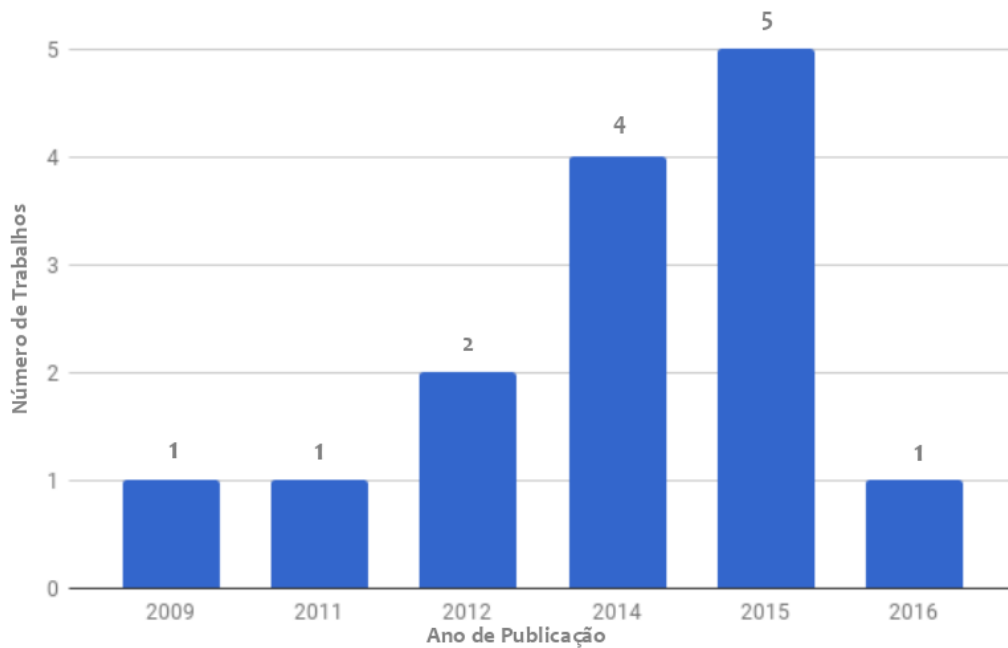
Tabela 10 – Trabalhos selecionados agrupados por biblioteca.

Categoria	Quantidade
<i>IEEE Explorer</i>	10
<i>Springer Link</i>	4
<i>Scopus</i>	0
<i>Web of Science</i>	0

Fonte – Elaborada pelo autor.

O histograma ilustrado pela Figura 9, apresenta a quantidade de trabalhos selecionados agrupados pelos respectivos anos de publicação.

Figura 9 – Distribuição dos trabalhos da seleção classificados por ano.



Fonte – Elaborada pelo autor.

5.1.4 Extração dos dados

Esta Seção busca apresentar os resultados para cada uma das questões de pesquisa definidas para este trabalho. Os resultados foram obtidos a partir da extração de dados realizada.

5.1.4.1 QP 1: Quais características e atributos de qualidade podem ser utilizadas para avaliar ambientes integrados de CC, SDN e NFV?

Para responder a essa questão de pesquisa, foi feita uma análise detalhada dos trabalhos selecionados. Boa parte dos trabalhos apresentou modelo de avaliação de qualidade baseado na ISO/IEC 9126-1 (ISO/IEC, 2001), fazendo com que atributos como disponibilidade, por exemplo, fossem apresentados no mesmo nível de confiabilidade, sendo que na ISO/IEC 25010 disponibilidade é um atributo de confiabilidade. Com isso, houve a necessidade de realizar uma adaptação dos resultados, para apresentá-los de acordo com a ISO/IEC 25010, como proposto neste trabalho. As características e atributos de qualidade identificados no mapeamento sistemático estão relacionados na Tabela 11.

Tabela 11 – Características e atributos de qualidade extraídos de artigos da literatura.

Características	Atributos
Adequação Funcional	Corretude Funcional
Eficiência de Desempenho	Utilização de Recursos
	Comportamento em relação ao tempo
Compatibilidade	Interoperabilidade
Usabilidade	Operabilidade
	Acessibilidade
Confiabilidade	Disponibilidade
	Tolerância a Falhas
	Recuperabilidade
Segurança	Integridade
	Confidencialidade
	Autenticidade
Manutenibilidade	Reutilização
Portabilidade	Adaptabilidade
	Elasticidade
	Escalabilidade

Fonte – Elaborada pelo autor.

Na Tabela 11, pode-se visualizar que, no processo de extração, foram identificadas as oito (8) características de qualidade que são definidas pela SQuaRE (ISO/IEC, 2014) e quatorze

(14) atributos associados a suas respectivas características. Além desses quatorze atributos, nota-se que a tabela apresenta outros dois (2) atributos que não estão associados a nenhuma característica, são eles: elasticidade e escalabilidade. Esses atributos não são definidos pela ISO 25000, porém os artigos que os apresentaram aplicaram a eles as seguintes definições: escalabilidade: corresponde à potencialidade de aumentar a capacidade de computação de um sistema para processar mais solicitações de clientes em um determinado intervalo de tempo (NADANAM; RAJMOHAN, 2012); e elasticidade, que é uma das características essenciais da computação em nuvem (MELL; GRANCE et al., 2011), corresponde à capacidade dos serviços da nuvem fornecerem recursos rapidamente e sob demanda (ZHENG et al., 2014).

A característica mais apresentada pelos trabalhos selecionados no mapeamento sistemático foi a Confiabilidade, com seu atributo Disponibilidade.

Uma questão importante de ser relatada, é que as características e atributos coletados no mapeamento, não estavam especificamente atrelados às tecnologias de Redes Definidas por *Software* e Virtualização de Funções de Rede, porém estavam relacionadas a diversas dimensões da computação em nuvem, como serviços *Web* (NADANAM; RAJMOHAN, 2012), serviços móveis da nuvem (SHIN; HUH, 2016) e modelo de serviços SaaS (LEE et al., 2009).

5.1.4.2 QP 2: *Quais métricas de qualidade podem ser utilizadas para avaliar ambientes integrados de CC, SDN e NFV?*

Para responder a essa questão de pesquisa, buscou-se nos resultados da extração as métricas utilizadas para mensurar os atributos de qualidade definidos na Tabela 11 e discutidos na Subseção anterior (5.1.4.1). A Tabela 13 apresenta a consolidação dessas métricas, mapeadas aos seus respectivos atributos e características de qualidade.

A partir da análise da Tabela 12, pode-se identificar que a característica com o maior número de métricas encontrado no mapeamento sistemático foi a Confiabilidade, com um total de onze (11) métricas distribuídas em seus atributos. A quantidade de métricas encontradas para o restante das características foram as seguintes: quatro (4) para Adequação Funcional, cinco (5) para Eficiência de Desempenho, três (3) para Compatibilidade, duas (2) para Usabilidade, quatro (4) para Segurança, seis (6) para Manutenibilidade e duas (2) para Portabilidade. Além disso, foi identificada uma (1) métrica para Elasticidade e uma (1) para Escalabilidade, que são dimensões de qualidade não definidas pela ISO 25000.

Pode ser identificado, na Tabela 12, que algumas métricas estão mapeadas

diretamente a características, não sendo identificados os atributos a que estão relacionadas. Isso ocorreu porque os respectivos trabalhos que utilizaram as métricas, apresentaram-nas como forma de mensurar apenas as características de um modo geral. Assim, essas métricas foram mapeadas apenas às características que estavam associadas nos trabalhos.

Ainda na Tabela 12, podem ser visualizados os atributos recuperabilidade, confidencialidade e autenticidade, que foram sugeridos por trabalhos em seus modelos de avaliação de qualidade, porém com a ausência das métricas para mensurá-los. Em todo o mapeamento sistemático não foram encontradas métricas para esses atributos, sendo assim, elas não foram identificadas na relação.

Todas as métricas identificadas no mapeamento sistemático foram aplicadas a ambientes de computação em nuvem nos respectivos trabalhos que as apresentavam, porém não foram encontradas métricas para serem aplicadas a ambientes integrados de CC, SDN e NFV. Sendo assim, métricas para avaliação de qualidade desses ambientes é um campo a ser estudado.

Confiabilidade e Eficiência de Desempenho foram apresentadas como quesitos técnicos ou limitações das tecnologias SDN e NFV nos trabalhos de Sharkh et al. (2013) e Han et al. (2015), que não foram encontrados no mapeamento sistemático. Confiabilidade e Eficiência de Desempenho foram características apresentadas por mais de 65% dos trabalhos do mapeamento, sendo utilizadas para avaliação de ambientes de nuvem. Diante dessas informações, algumas métricas que poderiam ser utilizadas para avaliação de qualidade de ambientes integrados de CC, SDN e NFV são métricas referentes a Confiabilidade e Eficiência de Desempenho. Sugestões de métricas de Confiabilidade relacionadas ao atributo Disponibilidade: Flexibilidade do Serviço (Flexibility of Service - FOS), QoSDisponibilidade (QoSDisp) e Porcentagem de tempo de atividade de serviços na nuvem durante um intervalo de tempo (Disponibilidade - DISP). Sugestões de métricas de Eficiência de Desempenho relacionadas aos atributos Utilização de Recursos e Tolerância a Falhas, respectivamente: Utilização de Recursos (Resource Utilization - RU) e Proporção de suportar a ocorrência de uma falha (Fault Tolerance - FT). Todas essas métricas são apresentadas na Tabela 12, e suas fórmulas de cálculo são definidas na Seção 5.2.

A análise dessas métricas é uma das limitações deste trabalho, que deve ser aprofundada com estudos e aplicação prática em um ambiente integrado.

Tabela 12 – Características de qualidade, atributos de qualidade e medidas extraídas a partir de artigos da literatura.

Características	Atributos	Métricas	Referências
Adequação Funcional	Corretude Funcional	Adequação (<i>Suitability</i> - SU) Precisão (<i>Accuracy</i> - AC), Precisão do Serviço (<i>Service Accuracy</i> (SA)), Precisão dos serviços (<i>Accuracy of services</i> - AoS)	(SHIN; HUH, 2016),(ORIOI; MARCO; FRANCH, 2014) (LEE et al., 2009), (SHIN; HUH, 2016), (NADANAM; RAJMOHAN, 2012), (PADMAPRIYA; RAJMOHAN, 2012)
	Utilização de Recursos	Utilização de Recursos (<i>Resource Utilization</i> - RU)	(LEE et al., 2009), (SHIN; HUH, 2016), (NADANAM; RAJMOHAN, 2012),(THOSS et al., 2014)
	Comportamento em relação ao tempo	Comportamento no tempo (<i>Time Behaviour</i> - TB), Capacidade de resposta (RC) Tempo de resposta (RT) <i>Throughput</i> (TP)	(LEE et al., 2009), (SHIN; HUH, 2016), (NADANAM; RAJMOHAN, 2012),(THOSS et al., 2014),(THOSS et al., 2014), (ZHENG et al., 2014) (ALJAZZAF, 2015), (NADANAM; RAJMOHAN, 2012), (ORIOI; MARCO; FRANCH, 2014), (CHOI; JEONG, 2014) (ALJAZZAF, 2015),(ORIOI; MARCO; FRANCH, 2014), (LEHRIG; EIKERLING; BECKER, 2015)
Compatibilidade	Interoperabilidade	Capacidade de interagir com sistemas específicos (IO), QoSInteroperabilidade (QoSInter), Interoperabilidade de Serviço (IoS)	(SHIN; HUH, 2016),(ALJAZZAF, 2015), (THOSS et al., 2014),(ORIOI; MARCO; FRANCH, 2014), (NADANAM; RAJMOHAN, 2012)
Usabilidade	Operabilidade	Operabilidade (<i>Operability</i> - OP)	(SHIN; HUH, 2016)
	Acessibilidade	QoSAccessibilidade (QoSAccess)	(ALJAZZAF, 2015),(THOSS et al., 2014)
Confiabilidade		Cobertura de tolerância a falhas (<i>Coverage of Fault Tolerance</i> (CFT)), Cobertura de Recuperação de Falhas (<i>Coverage of Failure Recovery</i> (CFR)), QoSConfiabilidade (QoSConf)	(LEE et al., 2009), (ALJAZZAF, 2015)
	Disponibilidade	Robustez do Serviço (<i>Robustness of Service</i> (RoS)), Porcentagem de tempo de atividade de serviços na nuvem durante um intervalo de tempo (AVAL), QoSDisponibilidade (QoSDisp), Flexibilidade do serviço (<i>Flexibility of Service</i> - FOS), Completude do conjunto de variantes (CoM)	(LEE et al., 2009), (ZHENG et al., 2014), (ALJAZZAF, 2015), (NADANAM; RAJMOHAN, 2012), (PADMAPRIYA; RAJMOHAN, 2012), (ORIOI; MARCO; FRANCH, 2014), (THOSS et al., 2014), (WANG; JIANG; ZHOU, 2015), (ZHOU et al., 2015), (CHOI; JEONG, 2014), (WAGLE et al., 2015)
		Garantia de que os serviços da nuvem estão livres de falhas de hardware, falhas de software e outros defeitos (<i>Reliability</i> - REL)	(ZHENG et al., 2014), (THOSS et al., 2014)

Segurança	Tolerância a Falhas	Proporção de suportar a ocorrência de uma falha (<i>Fault Tolerance - FT</i>)	(SHIN; HUH, 2016), (NADANAM; RAJMOHAN, 2012), (PADMAPRIYA; RAJMOHAN, 2012), (CHOI; JEONG, 2014)
		Recuperação de Falhas (FR)	(NADANAM; RAJMOHAN, 2012), (PADMAPRIYA; RAJMOHAN, 2012)
	Recuperabilidade	-	(ORIOLO; MARCO; FRANCH, 2014), (CHOI; JEONG, 2014)
Segurança		Garantia de que os serviços estão livres de vírus, intrusões, <i>spyware</i> , ataques e outras vulnerabilidades de segurança (<i>Security - SECY</i>), Número de detecções de ataque - Segurança (QoSSeg)	(ZHENG et al., 2014), (ALJAZZAF, 2015), (CHOI; JEONG, 2014), (WAGLE et al., 2015)
	Integridade	Capacidade de impedir acesso ou alteração não-autorizada (<i>Integrity - INTE</i>), QoSIntegridade (QoSIntegri)	(SHIN; HUH, 2016), (ALJAZZAF, 2015), (THOSS et al., 2014), (WANG; JIANG; ZHOU, 2015)
	Confidencialidade		(THOSS et al., 2014), (WANG; JIANG; ZHOU, 2015), (ORIOLO; MARCO; FRANCH, 2014)
	Autenticidade		(ORIOLO; MARCO; FRANCH, 2014)
	Reutilização	<i>Functional Commonality (FC)</i> , <i>Non-functional Commonality (NFC)</i> , <i>Coverage of Variability (CV)</i> , Legibilidade do Serviço (<i>Understandability of Service (UoS)</i>), Compreensibilidade do Serviço (<i>Comprehensibility of Service (CoS)</i>), Média comum de cada recurso funcional ou não funcional definida em um serviço web de destino (<i>Commonality Feature - CF</i>)	(LEE et al., 2009), (NADANAM; RAJMOHAN, 2012), (OH; LA; KIM, 2011)
Portabilidade	Adaptabilidade	Cobertura de Variabilidade (<i>Coverage of Variability (CoV)</i>), <i>Completeness of Variant Set (CoA)</i>	(OH; LA; KIM, 2011), (THOSS et al., 2014)
	Elasticidade	Capacidade dos Serviços da Nuvem de Fornecer Recursos sob Demanda Durante um Intervalo de Tempo (<i>Elasticity - ELAS</i>)	(ZHENG et al., 2014), (LEHRIG; EIKERLING; BECKER, 2015)
	Escalabilidade	<i>Coverage of Scalability (CoS)</i>	(LEE et al., 2009), (NADANAM; RAJMOHAN, 2012), (THOSS et al., 2014), (WANG; JIANG; ZHOU, 2015), (CHOI; JEONG, 2014)

Fonte – Elaborada pelo autor.

5.2 Catálogo de Métricas

Nesta Seção é apresentado um catálogo construído a partir do mapeamento sistemático da literatura sobre ambientes de Computação em Nuvem apoiados por SDN, e NFV, o qual é composto por trinta e nove (39) medidas de qualidade.

Tabela 13 – Catálogo de medidas de qualidade.

Características	Atributos	Métricas
Adequação		Adequação (<i>Suitability</i> - SU)
Funcional	Corretude Funcional	Precisão (<i>Accuracy</i> - AC), Precisão do Serviço (<i>Service Accuracy</i> (SA)), Precisão dos serviços (<i>Accuracy of services</i> - AoS)
Eficiência de	Utilização de Recursos	Utilização de Recursos (<i>Resource Utilization</i> - RU),
Desempenho	Comportamento em relação ao tempo	Comportamento no tempo (<i>Time Behaviour</i> - TB) Tempo de resposta (RT) <i>Throughput</i> (TP)
Compatibilidade	Interoperabilidade	Capacidade de interagir com sistemas específicos (IO), QoSInteroperabilidade (QoSInteroperability), Interoperabilidade de Serviço (IoS)
Usabilidade	Operabilidade	Operabilidade (<i>Operability</i> - OP)
	Acessibilidade	QoSAcessibilidade (QoSAccess)
Confiabilidade		Cobertura de tolerância a falhas (<i>Coverage of Fault Tolerance</i> (CFT), Cobertura de Recuperação de Falhas (<i>Coverage of Failure Recovery</i> (CFR), QoSConfiabilidade (QoSConf)
	Disponibilidade	Robustez do Serviço (<i>Robustness of Service</i> (RoS)), Porcentagem de tempo de atividade de serviços na nuvem durante um intervalo de tempo (AVAL), QoSDisponibilidade (QoSDisp), Flexibilidade do serviço (<i>Flexibility of Service</i> - FOS), Completude do conjunto de variantes (CoM)
		Garantia de que os serviços da nuvem estão livres de falhas de hardware, falhas de software e outros defeitos (<i>Reliability</i> - REL)
	Tolerância a Falhas	Proporção de suportar a ocorrência de uma falha (<i>Fault Tolerance</i> - FT)
		Recuperação de Falhas (FR)
Segurança		Garantia de que os serviços estão livres de vírus, intrusões, spyware, ataques e outras vulnerabilidades de segurança (<i>Security</i> - SECY), Número de detecções de ataque - QoSSegurança (QoSSeg)
	Integridade	Capacidade de impedir acesso ou alteração não-autorizada (<i>Integrity</i> - INTE), QoSIntegridade (QoSIntegrity)
Manutenibilidade	Reutilização	<i>Functional Commonality</i> (FC), <i>Non-functional Commonality</i> (NFC), <i>Coverage of Variability</i> (CV), Legibilidade do Serviço (<i>Understandability of Service</i> (UoS)), Compreensibilidade do Serviço (<i>Comprehensibility of Service</i> (CoS)), Média comum de cada recurso funcional ou não funcional definida em um serviço web de destino (<i>Commonality Feature</i> - CF)
Portabilidade	Adaptabilidade	Cobertura de Variabilidade (<i>Coverage of Variability</i> (CoV)), <i>Completeness of Variant Set</i> (CoA)

	Elasticidade	Capacidade dos Serviços da Nuvem de Fornecer Recursos sob Demanda Durante um Intervalo de Tempo (<i>Elasticity</i> - ELAS)
	Escalabilidade	<i>Coverage of Scalability</i> (CoS)

Fonte – Elaborada pelo autor.

Na Tabela 14, são respresentadas todas as fórmulas de cálculo das medidas presentes no catálogo (Tabela 13).

Tabela 14 – Fórmulas de cálculo das medidas.

Acrônimo	Nome da Medida	Fórmula de Cálculo
SU	Adequação (<i>Suitability</i>)	1 - (Número de funções em falta / Número de funções de requerimento)
AC	Precisão (<i>Accuracy</i>)	1 - (Número de expectativas excedentes / Número de tentativas de processamento de dados)
SA	Precisão do Serviço (<i>Service Accuracy</i> (SA))	Número de respostas corretas / Quantidade de recursos pré-definidos
AoS	Precisão dos serviços (<i>Accuracy of services</i>)	Número de Consumidores com Descoberta de Serviços / Número total de potenciais consumidores
RU	Utilização de Recursos (<i>Resource Utilization</i>)	Quantidade de recursos alocados / quantidade de recursos pré-definidos ou Número de alarmes ou erros no serviço de execução / número ou solicitações de serviço
TB	Comportamento no tempo (<i>Time Behaviour</i>)	Tempo de execução / Tempo total de invocação do serviço ou Número de respostas em expectativa média de tempo / Número de respostas no tempo de medição
RT	Tempo de resposta	Tempo de execução + Tempo de espera
RC	Capacidade de Resposta	$1 - \frac{\sum_{i=1}^n (ti)}{t_{max}}$, em que ti indica o tempo entre a submissão e a conclusão do ith requisitado, tmax é um parâmetro que especifica o tempo máximo aceitável para completar uma solicitação (tmax > = ti), n é o número de pedidos emitidos em um período operacional e f é uma função que mede a tendência central de um conjunto de dados, como a média e a mediana
TP	<i>Througput</i>	Numero de requisições / Período de tempo
IO	Capacidade de interagir com sistemas específicos (<i>Interoperability</i>)	1 - (número de falhas quando troca de dados / número de trocas de dados totais)
QoSInter	QoSInteroperabilidade	Número total de serviços <i>web</i> em execução / Número total dos que podem ser usados
IoS	Interoperabilidade de Serviço	1 - Número de serviços dependentes com interação aceitável / Número total de serviços dependentes nas BPs participantes
OP	Operabilidade (<i>Operability</i>)	Número de funções abaixo da expectativa / Número total de funções de serviço
QoSAccess	QoSAcessibilidade	Número de sucesso em requisições do usuário / Solicitações totais feitas pelo usuário

CFT	Cobertura de tolerância a falhas (<i>Coverage of Fault Tolerance</i>)	Número de erros sem se tornarem falhas / Número total de erros ocorridas
CFR	Cobertura de Recuperação de Falhas (<i>Coverage of Failure Recovery</i>)	Número de falhas ocorridas / Número total de falhas
QoSConf	QoSConfiabilidade	$1 - n / N * t$, onde t indica o tempo total em que um serviço é monitorado para registrar o número de falhas, n é o número de falhas encontradas durante esse período e N é o número total de eventos (número de eventos bem sucedidos mais número de falhas)
RoS	Robustez do Serviço (<i>Robustness of Service</i>)	Tempo disponível para invocar o SaaS / Tempo total para operação SaaS
DISP	Porcentagem de tempo de atividade de serviços na nuvem durante um intervalo de tempo (Disponibilidade)	t / t_s , onde t e t_s denotam o tempo de atividade e o tempo total de um período operacional, respectivamente
QoSDisp	QoSDisponibilidade	Tempo de atividade / Tempo total
FOS	Flexibilidade do serviço (<i>Flexibility of Service</i>)	$1 - (\text{Tempo indisponível para invocar o serviço web} / \text{tempo total para operar os serviços da web})$.
CoM	Compleitude do conjunto de variantes	$\frac{\sum_{i=1}^n \text{Número de variantes suportadas no ponto variação}}{\text{Número total de variantes potenciais em cada ponto de variação}}$
REL	Garantia de que os serviços da nuvem estão livres de falhas de hardware, falhas de software e outros defeitos (<i>Reliability</i>)	$1 - n/ns$, onde 1 é a confiabilidade; n e ns indicam o número de operações falhadas e total que ocorreram em um intervalo de tempo, respectivamente
FT	Proporção de suportar a ocorrência de uma falha	$1 - (\text{Número de erros que causam falhas} / \text{Número total de erros que ocorreram})$
FR	Recuperação de Falhas	$1 - (\text{Número de falhas não corrigidas} / \text{Número total de falhas})$
SECY	Garantia de que os serviços estão livres de vírus, intrusões, <i>spyware</i> , ataques e outras vulnerabilidades de segurança (<i>Security</i>)	$\theta = 1 - F_\tau(t)$, em que $F_\tau(t)$ denota uma função de distribuição cumulativa de uma variável aleatória τ indicando o tempo até a primeira violação de segurança, medida na unidade de tempo.
QoSSeg	Número de detecções de ataque - QoSSegurança (QoSSeg)	Número total de ataques detectados / Número total de simulações de ataque
INTE	Capacidade de impedir acesso ou alteração não-autorizada (<i>Integrity</i>)	Número de funções fornecidas / Número de funções necessárias
QoSIntegri	QoSIntegridade	Número de transações de sucesso / Número total de transações
FC	<i>Functional Commonality</i>	$\frac{\sum_{i=1}^n \text{Número de requisitos que se aplicam com funcionalidade}}{\text{Número total de requisitos analisados no domínio}}$
NFC	<i>Non-functional Commonality</i>	$\frac{\sum_{i=1}^m \text{Núm. de req. não funcionais que se aplicam com funcionalidade}}{\text{Número total de requisitos analisados no domínio}}$
CV	<i>Coverage of Variability</i>	Número de pontos de variação realizados no SaaS / Número de pontos de variação no domínio
UoS	Legibilidade do Serviço (<i>Understandability of Service</i>)	$1 - (\text{Número de campos com legibilidade inaceitável} / \text{Total de número de campos})$
CoS	Compreensibilidade do Serviço (<i>Comprehensibility of Service</i>)	Número de campos com a legibilidade aceitável / Total de número de campos

CF	Média comum de cada recurso funcional ou não funcional definida em um serviço web de destino (<i>Commonality Feature</i>)	$\frac{\sum_{i=1}^n \text{Número de requerimentos aplicando } i\text{th feature}}{\text{Número total de requerimentos analisados no domínio}}$ n
CoV	Cobertura de Variabilidade (<i>Coverage of Variability</i>)	Número de ponto de Variação suportado / Número total de pontos de variação potencial
CoA	<i>Completeness of Variant Set</i>	$\frac{\sum_{i=1}^n \text{Número de variantes do ponto suportado em VP}_i}{\text{Número total de variantes potenciais em VP}_{in}}$ n
ELAS	Capacidade dos Serviços da Nuvem de Fornecer Recursos sob Demanda Durante um Intervalo de Tempo (<i>Elasticity</i>)	$\varepsilon = \frac{\sum_{i_1=1}^n r_{i_1}}{\sum_{i_2=1}^n r_{i_2}}$, em que onde $0 \leq \varepsilon \leq 1$ representa elasticidade, r_{i_1} e r_{i_2} indicam a quantidade de recursos alocados e solicitados no pedido, respectivamente, e n é o número de pedidos emitidos em um período operacional. Quanto mais perto o valor de ε é para 1, maior a elasticidade.
CoS	<i>Coverage of Scalability</i>	$\frac{\sum_{i=1}^n \text{Quantidade de recursos alocados de pedidos } i\text{st}}{\text{Quantidade total de recursos solicitados de pedidos } i\text{st}}$ n

Fonte – Elaborada pelo autor.

6 APLICAÇÃO PRÁTICA DO CATÁLOGO

A aplicação prática do catálogo foi feita sobre a base de dados de experimentos realizados em um ambiente de nuvem híbrida. Esses experimentos foram realizados por Coutinho (2014), para avaliação experimental do FOLE: um Framework Conceitual para Avaliação de desempenho da Elasticidade de Ambientes de Computação em Nuvem.

6.1 Descrição do Ambiente de Nuvem Híbrida

O ambiente de nuvem híbrida definido por Coutinho (2014) e utilizado para as aplicações práticas deste trabalho é formado por dois ambientes diferentes de nuvens computacionais: uma nuvem privada e uma nuvem pública. Para a nuvem privada, o OpenNebula 3.8 foi utilizado, com todas as máquinas físicas com 5 e 7 núcleos, 24 GB de memória RAM, sistema operacional Ubuntu Server 12.04 64 bits e hipervisor KVM. Cada máquina virtual foi criada com 1 VCPU, 1 GB de memória RAM e sistema operacional Ubuntu Server 12.04 64 bits. Para a nuvem pública, foi utilizada a plataforma da Microsoft Azure, com as instâncias criadas do tipo A1 padrão (1 núcleo e 1.75 GB de memória RAM) e sistema operacional Ubuntu Server 14.04 64 bits. Foi utilizado como servidor web o Apache Tomcat, balanceador de carga o NGINX, e gerador de cargas de trabalho o HTTPERF.

As cargas de trabalho geradas para a realização dos experimentos se deu por: requisições encaminhadas diretamente na máquina virtual do balanceador de carga, geradas pelo HTTPERF (com carga de uma multiplicação de matrizes) e por navegadores *Web*, distribuídas entre as demais máquinas virtuais alocadas; e requisições executadas diretamente nas máquinas virtuais utilizadas pela infraestrutura. Assim, a concorrência pelos recursos em um ambiente de Computação em Nuvem pode ser emulada (COUTINHO, 2014).

Cada experimento realizado no trabalho de Coutinho (2014) utilizou, no máximo, quatro (4) máquinas virtuais, porém a quantidade de instâncias utilizadas na nuvem pública e privada variou conforme o experimento. Para a aplicação do catálogo proposto neste trabalho, utilizou-se a base de dados das experimentações descritas nas Subseções seguintes (6.1.1 e 6.1.2).

6.1.1 *Experimento 1 - Uma Máquina Virtual na Nuvem Privada e Uma Máquina Virtual na Nuvem Pública*

Para esse experimento foram utilizadas apenas duas máquinas virtuais: uma na nuvem privada e outra na nuvem pública. Dessa forma, foi possível verificar se a infraestrutura construída necessitaria de recursos das duas nuvens, constituindo uma nuvem híbrida, de acordo com a necessidade imposta pela carga de trabalho que estava sendo gerada. O experimento teve duração de 36min10s (COUTINHO, 2014).

6.1.2 *Experimento 2 - Três Máquinas Virtuais na Nuvem Privada e Uma Máquina Virtual na Nuvem Pública*

Para esse experimento foram utilizadas quatro máquinas virtuais: uma na nuvem privada e três na nuvem pública (COUTINHO, 2014). Dessa forma, foi possível verificar se haveria necessidade da utilização de recursos das duas nuvens: privada e pública. O experimento durou 11min14s.

6.2 Ferramenta de Apoio à Análise das Métricas

Para auxiliar na visualização e análise dos dados coletados, foi utilizada uma ferramenta que possibilita a geração de gráficos para as diversas métricas coletadas a partir dos recursos do ambiente (COUTINHO; GOMES; SOUZA, 2015). Essa aplicação foi desenvolvida com a linguagem de programação Java. Ela é baseada na leitura de arquivos texto *log*, que contém informações coletadas no ambiente, como utilização de CPU e memória, além de dados de aplicações, como tempo de resposta de requisições. Os arquivos de *log* possuem estrutura própria lidos pela aplicação. Exemplos de arquivos de *log* são: utilização de recursos e média de consumo de CPU. Esses arquivos estão ilustrados na Tabela 15.

Tabela 15 – Estrutura dos arquivos de log.

Arquivo	Estrutura
Utilização de Recursos	Data da coleta Mantém (m), Aumenta (a), ou Diminui (d) Quantidade de máquinas virtuais alocadas
Média de Consumo de CPU	Data da coleta Média do valor do percentual de CPU em todas as máquinas virtuais

Fonte – Adaptada de Coutinho (2014).

6.3 Aplicação das Métricas

Para realização dos experimentos foi implementada a métrica de utilização de recursos coletada no mapeamento sistemático. Além da métrica de utilização de recursos, foi utilizada a métrica Média de CPU, para auxiliar na avaliação da utilização de recursos.

6.3.0.1 Métrica de Utilização de Recursos

Para a métrica de utilização de recursos foi tomada por base a seguinte fórmula:

$$R_u = \frac{R_a}{R_p} \quad (6.1)$$

Em que R_u , R_a e R_p equivalem aos recursos utilizados (máquinas virtuais), recursos alocados e recursos pré-alocados, respectivamente. A implementação da métrica de utilização de recursos se deu, basicamente, pelo relacionamento dos dados de utilização de recursos com o tempo total de amostragem.

6.3.0.2 Métricas de Média de CPU.

A métrica Média de CPU, realiza uma média de utilização de CPU do sistema híbrido por completo. Essa métrica já estava implementada na ferramenta, como dito anteriormente.

6.4 Resultados da Aplicação das Métricas

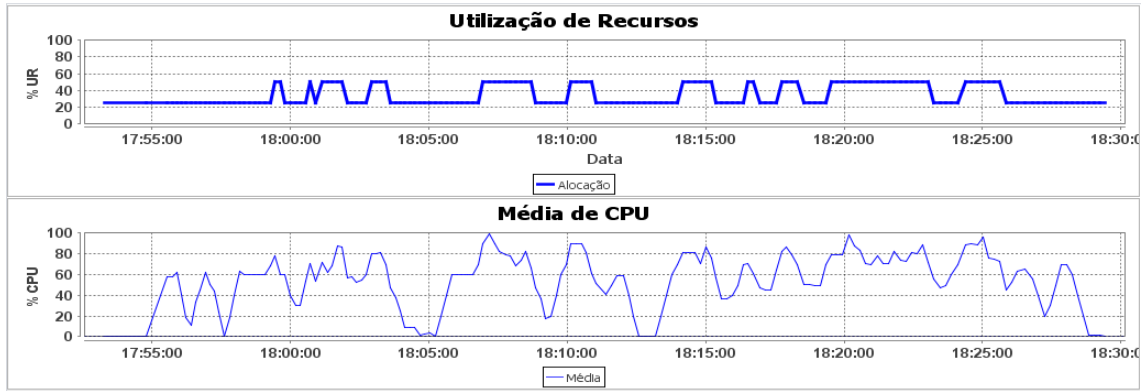
6.4.1 Resultados da Aplicação das Métricas sobre os dados coletados no Experimento 1

A Figura 10 apresenta os gráficos gerados a partir da aplicação das métricas Utilização de Recursos e Média de CPU.

A partir da análise do gráfico ilustrado pela Figura 10, pode-se perceber que a média de utilização de CPU variou entre praticamente todos os pontos do eixo das ordenadas (% CPU), chegando a pontos de utilização de 100%. A partir dessa informação, pode-se perceber que muitas requisições estavam ocorrendo e haviam poucas máquinas virtuais para atender a essas requisições. Relacionando o gráfico da Média de CPU com o gráfico da Utilização de Recursos, pode-se notar que, quando a CPU atinge uma utilização média de aproximadamente 80% o

balanceador de cargas passa a alocar mais recursos, no caso, aloca mais uma máquina na nuvem pública para auxiliar no processamento da carga em excesso.

Figura 10 – Experimento 1: uma máquina virtual na nuvem privada e uma máquina virtual na nuvem pública. Gráficos de Utilização de Recursos e Média de CPU.

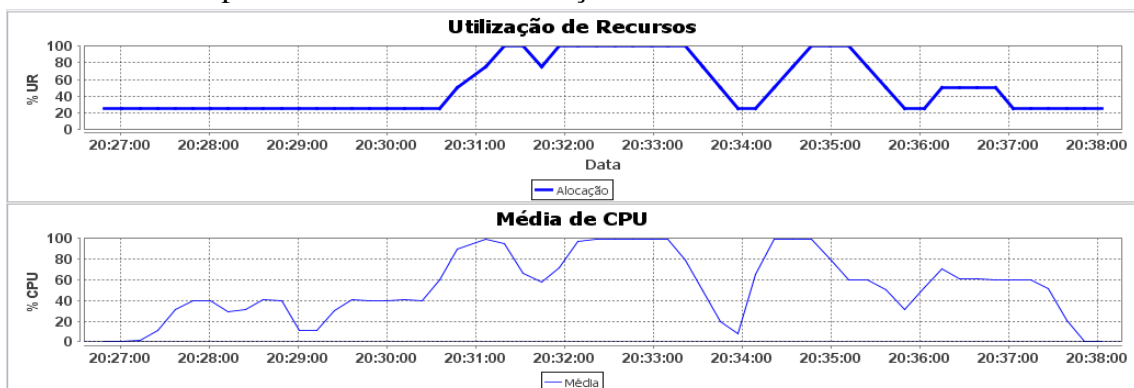


6.4.2 Resultados da Aplicação das Métricas sobre os dados coletados no Experimento 2

A Figura 11 apresenta os gráficos gerados a partir da aplicação das métricas Utilização de Recursos e Média de CPU.

A partir da análise do gráfico ilustrado pela Figura 11, pode-se perceber que a média de utilização de CPU, neste experimento, se manteve mais constante do que a do experimento anterior. Isso se deve ao fato de que haviam mais recursos, ou seja, mais máquinas virtuais para a distribuição de cargas. Relacionando o gráfico da Média de CPU com o gráfico da Utilização de Recursos, pode-se notar que, quando a CPU atinge uma utilização média de aproximadamente 80% o balanceador de cargas passa a alocar mais recursos. E, quando a Média de Utilização de CPU chega a 100%, todos os recursos estão alocados para auxiliar no processamento da carga em excesso, que inclui a alocação da máquina da nuvem pública.

Figura 11 – Experimento 2: três máquinas virtuais na nuvem privada e uma máquina virtual na nuvem pública. Gráficos de Utilização de Recursos e Média de CPU.



6.5 Análise dos Resultados da Aplicação das Métricas

Pode-se perceber que, para os dois experimentos, a métrica Utilização de Recursos apresentou resultados que condizem com o que era esperado da utilização de recursos do ambiente analisado. Com o auxílio da métrica Média de CPU, foi possível notar que, sempre que as nuvens estavam sobrecarregadas, iam sendo alocados mais recursos (máquinas virtuais) que estavam disponíveis na rede e iam sendo desalocados os recursos de acordo com a redução da carga.

Em um ambiente integrado de CC, SDN e NFV, é provável que haja a necessidade de alocação e desalocação de recursos. No entanto, a métrica Utilização de Recursos identificaria essa alocação, mas poderia ter comportamento diferente do que teve nos experimentos realizados sobre o ambiente de testes de Coutinho (2014).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foram apresentadas Computação em Nuvem, Redes Definidas por Software e Virtualização de Funções de Redes como tecnologias que vêm sendo integradas. A partir disso, foi identificada a necessidade de realizar uma avaliação de qualidade dessa integração, visto que a avaliação de qualidade de qualquer tecnologia tem adquirido grande importância a cada dia.

Definiu-se então o objetivo de criar um catálogo de métricas para avaliação de qualidade de ambientes integrados de CC, SDN e NFV, que foi construído a partir de um mapeamento sistemático da literatura. Questões de pesquisa desse mapeamento envolviam a identificação de características, atributos e suas respectivas métricas. Desse catálogo de métricas foi implementada e aplicada a um ambiente de nuvem híbrida a métrica Utilização de Recursos.

7.1 Discussão

Com o mapeamento sistemático realizado neste trabalho, foi possível identificar, nos modelos de avaliação de qualidade apresentados pelos trabalhos, oito características de qualidade para avaliação de ambientes de CC, NFV e SDN: Adequação Funcional, Eficiência de Desempenho, Compatibilidade, Usabilidade, Confiabilidade, Segurança, Manutenibilidade e Portabilidade. Foram também identificados dezesseis atributos de qualidade relacionados a essas características: Corretude Funcional, Utilização de Recursos, Comportamento no Tempo, Interoperabilidade, Operabilidade, Acessibilidade, Disponibilidade, Tolerância a Falhas, Recuperabilidade, Integridade, Confidencialidade, Autenticidade, Reutilização, Adaptabilidade, Elasticidade e Escalabilidade. Nos trabalhos identificados no mapeamento sistemático da literatura, a característica que se apresentou como a mais citada foi a Confiabilidade, relacionada ao atributo Disponibilidade.

As características e atributos coletados no mapeamento, não estavam especificamente atrelados às tecnologias de Redes Definidas por *Software* e Virtualização de Funções de Rede, porém estavam relacionadas a diversas dimensões da computação em nuvem, como serviços *Web*, serviços móveis da nuvem e modelo de serviços SaaS.

Com relação às métricas, foram identificadas trinta e nove. A característica com o maior número de métricas encontrada no mapeamento sistemático foi a de Confiabilidade, com um total de onze métricas distribuídas em seus atributos. Ainda foram identificadas quatro para

Adequação Funcional, cinco para Eficiência de Desempenho, três para Compatibilidade, duas para Usabilidade, quatro para Segurança, seis para Manutenibilidade e duas para Portabilidade. Além disso, foi identificada uma métrica para Elasticidade e uma para Escalabilidade, que eram atributos que não foram definidos pela ISO/IEC 25000, porém eram utilizados por alguns trabalhos.

Todas as métricas identificadas no mapeamento sistemático foram aplicadas a ambientes de computação em nuvem nos respectivos trabalhos que as apresentavam, porém não foram encontradas métricas para serem aplicadas a ambientes integrados de CC, SDN e NFV. Sendo assim, métricas para avaliação de qualidade desses ambientes é um campo a ser estudado. Neste caso, foram sugeridas algumas métricas para avaliação desses ambientes integrados relacionadas a Confiabilidade e Eficiência de Desempenho. As métricas sugeridas foram referentes a essas características (Confiabilidade e Eficiência de Desempenho) porque são desafios ou quesitos técnicos comuns entre as três tecnologias (CC, SDN e NFV), apresentados por trabalhos fora do escopo do mapeamento sistemático. A análise dessas métricas é uma das limitações do presente trabalho, que deve ser aprofundada com estudos e aplicação prática em um ambiente integrado.

O catálogo foi composto por todas as métricas encontradas no mapeamento, porém apenas a métrica de Utilização de Recursos foi implementada e aplicada à base de dados de experimentos realizados em um ambiente de nuvem híbrida. Com o auxílio da métrica Média de CPU, disponível na ferramenta de auxílio à aplicação do catálogo, pode-se perceber que os resultados apresentados pela métrica Utilização de Recursos, representaram o que era esperado do ambiente experimental, que seria a alocação e desalocação de recursos de acordo com a necessidade da rede.

7.2 Conclusões

Com este trabalho pode-se concluir que a literatura não apresenta avaliação de qualidade de ambientes integrados de CC, SDN e NFV. Nesse caso, foram sugeridas algumas métricas para avaliação desses ambientes integrados, em que suas características foram apresentadas por trabalhos fora do escopo do mapeamento sistemático como desafios ou quesitos técnicos, os quais foram identificados, neste trabalho, como características comuns entre as três tecnologias. Além disso, a métrica Utilização de Recursos implementada e aplicada a um ambiente de nuvem híbrida apresentou de forma satisfatória as variações na alocação e

desalocação de recursos na rede, permitindo, assim, concluir-se que ela pode ser utilizada para avaliação de ambientes integrados de CC, SDN e NFV, podendo ter comportamento diferente do que teve nos experimentos apenas de nuvem híbrida.

7.3 Limitações

As limitações para o desenvolvimento deste trabalho foram as seguintes: dificuldade em coletar os dados para compor o catálogo de métricas focadas na avaliação de qualidade das três tecnologias integradas (CC, SDN e NFV); dificuldade de encontrar um ambiente de CC, SDN e NFV integrado para aplicação da métrica de utilização de recursos implementada; e o tempo para desenvolvimento.

7.4 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros poderiam ser estudadas e implementadas métricas relacionadas a confiabilidade, que foi a característica mais citada pelos trabalhos coletados no mapeamento sistemático. Também pode ser desenvolvido um estudo aprofundado das demais métricas que compõem o catálogo, seguido da implementação das métricas mais apropriadas para avaliar a qualidade de um ambiente de CC, SDN e NFV e a construção desse ambiente para aplicação das métricas implementadas.

REFERÊNCIAS

- ADVISOR. Os benefícios e os desafios que acompanham o processo de virtualização de funções de redes. **Logicalis**, 2014.
- ALJAZZAF, Z. M. Modelling and measuring the quality of online services. **Kuwait Journal of Science**, v. 42, n. 3, 2015.
- AZODOLMOLKY, S.; WIEDER, P.; YAHYAPOUR, R. Sdn-based cloud computing networking. In: IEEE. **Transparent Optical Networks (ICTON), 2013 15th International Conference on**. [S.l.], 2013. p. 1–4.
- BARROS, B. M.; JR., M. A. S.; CARVALHO, T. C. M. B.; ROJAS, M. A. T.; REDÍGOLO, F. F.; ANDRADE, E. R.; MAGRI, D. R. C. Applying software-defined network to cloud computing. **Procedência do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos**, 2015.
- BATTULA, L. R. Network security function virtualization (nsfv) towards cloud computing with nfv over openflow infrastructure: Challenges and novel approaches. In: IEEE. **Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI, 2014 International Conference on**. [S.l.], 2014. p. 1622–1628.
- BENSON, T.; AKELLA, A.; MALTZ, D. A. Unraveling the complexity of network management. In: **NSDI**. [S.l.: s.n.], 2009. p. 335–348.
- CHOI, C.-R.; JEONG, H.-Y. Quality evaluation and best service choice for cloud computing based on user preference and weights of attributes using the analytic network process. **Electronic Commerce Research**, Springer, v. 14, n. 3, p. 245–270, 2014.
- COUTINHO, E.; GOMES, D. G.; SOUZA, J. D. A tool for resource monitoring in computational clouds. In: **8th Latin American Network Operations and Management Symposium (LANOMS 2015) - Application Session**. João Pessoa, Brasil: [s.n.], 2015.
- COUTINHO, E. F. **FOLE: Um Framework Conceitual para Avaliação de Desempenho da Elasticidade em Ambientes de Computação em Nuvem**. Tese (Doutorado) — Mestrado e Doutorado em Ciência da Computação (MDCC), Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, 2014.
- COUTINHO, E. F.; SOUSA, F. R. de C.; REGO, P. A. L.; GOMES, D. G.; SOUZA, J. N. de. Elasticity in cloud computing: a survey. **annals of telecommunications-Annales des télécommunications**, Springer, v. 70, n. 7-8, p. 289–309, 2015.
- ETSI, G. Network functions virtualisation (nfv); terminology for main concepts in nfv. **ETSI Gs NFV**, p. V1.2.1, 2014.
- GOMES, N. d. S. **Qualidade de Software—uma necessidade. Especialista em Sistemas de Informação, com Pós-Graduação em Gestão Estratégica da Informação e Consultora da UCP/PNAFM/MF.**, Internet. Disponível em: <http://www.fazenda.gov.br/ucp/pnafe/cst/arquivos/Qualidade_de_Soft.pdf>. Acesso em: **11 set. 2017**, v. 5, 2008.

GUÉROUT, T.; MEDJIAH, S.; COSTA, G. D.; MONTEIL, T. **Quality of service modeling for green scheduling in clouds**. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, Elsevier, v. 4, n. 4, p. 225–240, 2014.

HAN, B.; GOPALAKRISHNAN, V.; JI, L.; LEE, S. Network function virtualization: Challenges and opportunities for innovations. *IEEE Communications Magazine*, IEEE, v. 53, n. 2, p. 90–97, 2015.

HIROTSU, D. **NFV vs. VNF: What's the difference?** 2015. Acesso em: 16-09-2017. Disponível em: <<http://searchsdn.techtarget.com/answer/NFV-vs-VNF-Whats-the-difference>>.

ISO/IEC. **ISO/IEC 9126-1**: Software engineering—product quality: Quality model. [S.l.]: ISO/IEC, 2001. v. 1.

ISO/IEC. **Iso/iec 25010**: Systems and software engineering—systems and software quality requirements and evaluation (square)—system and software quality models. *International Organization for Standardization*, v. 34, 2011.

ISO/IEC. **ISO/IEC 25000**: Systems and software engineering – systems and software quality requirements and evaluation (square)— guide to square. 2014.

KITCHENHAM, B. A.; WALKER, J. G. A quantitative approach to monitoring software development. *Software Engineering Journal*, IET, v. 4, n. 1, p. 2–14, 1989.

KREUTZ, D.; RAMOS, F. M.; VERISSIMO, P. E.; ROTHENBERG, C. E.; AZODOLMOLKY, S.; UHLIG, S. Software-defined networking: A comprehensive survey. *Proceedings of the IEEE*, IEEE, v. 103, n. 1, p. 14–76, 2015.

LEE, J. Y.; LEE, J. W.; KIM, S. D. et al. A quality model for evaluating software-as-a-service in cloud computing. In: IEEE. **Software Engineering Research, Management and Applications, 2009. SERA'09. 7th ACIS International Conference on**. [S.l.], 2009. p. 261–266.

LEHRIG, S.; EIKERLING, H.; BECKER, S. Scalability, elasticity, and efficiency in cloud computing: A systematic literature review of definitions and metrics. In: IEEE. **Quality of Software Architectures (QoSA), 2015 11th International ACM SIGSOFT Conference on**. [S.l.], 2015. p. 83–92.

MARSTON, S.; LI, Z.; BANDYOPADHYAY, S.; ZHANG, J.; GHALSASI, A. Cloud computing—the business perspective. *Decision support systems*, Elsevier, v. 51, n. 1, p. 176–189, 2011.

MCKEOWN, N.; ANDERSON, T.; BALAKRISHNAN, H.; PARULKAR, G.; PETERSON, L.; REXFORD, J.; SHENKER, S.; TURNER, J. Openflow: enabling innovation in campus networks. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, ACM, v. 38, n. 2, p. 69–74, 2008.

MELL, P.; GRANCE, T. et al. **The NIST definition of cloud computing**. Computer Security Division, Information Technology Laboratory, National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, 2011.

MIJUMBI, R.; SERRAT, J.; GORRICO, J.-L.; BOUTEN, N.; TURCK, F. D.; BOUTABA, R. Network function virtualization: State-of-the-art and research challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, IEEE, v. 18, n. 1, p. 236–262, 2016.

- NADANAM, P.; RAJMOHAN, R. Qos evaluation for web services in cloud computing. In: IEEE. **Computing Communication & Networking Technologies (ICCCNT), 2012 Third International Conference on.** [S.l.], 2012. p. 1–8.
- OH, S. H.; LA, H. J.; KIM, S. D. A reusability evaluation suite for cloud services. In: IEEE. **e-Business Engineering (ICEBE), 2011 IEEE 8th International Conference on.** [S.l.], 2011. p. 111–118.
- ORIOLO, M.; MARCO, J.; FRANCH, X. Quality models for web services: A systematic mapping. **Information and software technology**, Elsevier, v. 56, n. 10, p. 1167–1182, 2014.
- PADMAPRIYA, N.; RAJMOHAN, R. Reliability evaluation suite for cloud services. In: IEEE. **Computing Communication & Networking Technologies (ICCCNT), 2012 Third International Conference on.** [S.l.], 2012. p. 1–6.
- PETERSEN, K.; VAKKALANKA, S.; KUZNIARZ, L. Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update. **Information and Software Technology**, Elsevier, v. 64, p. 1–18, 2015.
- PRESSMAN, R. S. **Engenharia de software: uma abordagem profissional.** 7ª edição. Ed: McGraw Hill, 2011.
- REZENDE, P. H. A. et al. **Extensões na arquitetura sdn para o provisionamento de qos através do monitoramento e uso de múltiplos caminhos.** Universidade Federal de Ubelândia, 2016.
- ROSA, R.; SIQUEIRA, M.; BAREA, E.; MARCONDES, C.; ROTHENBERG, C. Network function virtualization: Perspectivas, realidades e desafios. **Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos**, 2014.
- SANTANA, H. Qualidade de serviço (qos) em redes ip princípios básicos, parâmetros e mecanismos. **Cursos de Telecom e Telemática, Universidade Santa Cecília-Unisanta, Brasil**, 2006.
- SHARKH, M. A.; JAMMAL, M.; SHAMI, A.; OUDA, A. Resource allocation in a network-based cloud computing environment: design challenges. **IEEE Communications Magazine**, IEEE, v. 51, n. 11, p. 46–52, 2013.
- SHIN, Y.-R.; HUH, E.-N. mcsqam: Service quality assessment model in mobile cloud services environment. **Mobile Information Systems**, Hindawi Publishing Corporation, v. 2016, 2016.
- SILVA, L. M. P. d. **Engenharia de Requisitos e Gerenciamento de Variabilidade na Engenharia de Domínio de Linha de Produto de Software Dinâmicas: Uma revisão sistemática da literatura.** 2015.
- SIMÕES, N. T. L. **SDN:: os novos desafios na gestão de redes de comunicação.** Tese (Doutorado), 2016.
- SINGH, B. A systematic review on cloud computing. **International Journal of Engineering**, v. 2, n. 2, 2013.

SOUSA, F. R.; MOREIRA, L. O.; MACÊDO, J. A. F. d.; MACHADO, J. C. **Gerenciamento de dados em nuvem: Conceitos, sistemas e desafios.** Tópicos em sistemas colaborativos, interativos, multimídia, web e bancos de dados, Sociedade Brasileira de Computação, [S.I:S.n], 2010, p. 101-130.

THOSS, Y.; POHL, C.; HOFFMANN, M.; SPILLNER, J.; SCHILL, A. User-friendly visualization of cloud quality. In: IEEE. **Cloud Computing (CLOUD), 2014 IEEE 7th International Conference on.** [S.l.], 2014. p. 890–897.

WAGLE, S. S.; GUZEK, M.; BOUVRY, P.; BILDORFF, R. An evaluation model for selecting cloud services from commercially available cloud providers. In: IEEE. **Cloud Computing Technology and Science (CloudCom), 2015 IEEE 7th International Conference on.** [S.l.], 2015. p. 107–114.

WAGNER, S.; LOCHMANN, K.; WINTER, S.; GOEB, A.; KLAES, M. Quality models in practice: A preliminary analysis. In: IEEE. **Empirical Software Engineering and Measurement, 2009. ESEM 2009. 3rd International Symposium on.** [S.l.], 2009. p. 464–467.

WANG, Z.; JIANG, N.; ZHOU, P. Quality model of maintenance service for cloud computing. In: IEEE. **High Performance Computing and Communications (HPCC), 2015 IEEE 7th International Symposium on Cyberspace Safety and Security (CSS), 2015 IEEE 12th International Conference on Embedded Software and Systems (ICCESS), 2015 IEEE 17th International Conference on.** [S.l.], 2015. p. 1460–1465.

WAZLAWICK, R. **Metodologia de pesquisa para ciência da computação.** [S.l.]: Elsevier Brasil, 2015. v. 2. 127-128 p.

ZHENG, X.; MARTIN, P.; BROHMAN, K.; XU, L. D. Cloudqual: a quality model for cloud services. **IEEE transactions on industrial informatics**, IEEE, v. 10, n. 2, p. 1527–1536, 2014.

ZHOU, P.; WANG, Z.; LI, W.; JIANG, N. Quality model of cloud service. In: IEEE. **High Performance Computing and Communications (HPCC), 2015 IEEE 7th International Symposium on Cyberspace Safety and Security (CSS), 2015 IEEE 12th International Conference on Embedded Software and Systems (ICCESS), 2015 IEEE 17th International Conference on.** [S.l.], 2015. p. 1418–1423.