



Fog Computing Architectures and Platforms

Celestino Barros and Hugo Paredes

EasyChair preprints are intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair.

November 7, 2020

Arquiteturas e Plataformas para *Fog Computing*

Celestino Barros e Hugo Paredes

Universidade de Cabo Verde, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

celestino.barros@docente.unicv.edu.cv, hparedes@utad.pt

Resumo

Internet of Things (IoT), propõe a existência de conjunto de objetos físicos que possuem atuadores e sensores, e que se encontram ligados através redes sem fio e comunicam utilizando a Internet. Soluções *Cloud*, tem sido predominantemente utilizada em *IoT*. No entanto, aplicações sensíveis à latência como: aplicações de segurança crítica, militares, médico-emergenciais, entre outras, torna-se inviável a utilização da *Cloud*, dado que, para a realização de cálculos e execuções de ações seria necessário o envio de informações entre dispositivos e a *Cloud*. *Fog Computing* estende serviços *Cloud* para extremidade da rede, aproveita desta, para suportar características como mobilidade, reconhecimento de localização e baixa latência. Possui como principal objetivo evitar acesso constante a *Cloud* e aproveitar características de armazenamento e processamento dos dispositivos terminais.

Neste artigo, estudamos os conceitos e as características da *Fog Computing*, ilustramos a sua arquitetura de referência e refletimos sobre componentes da sua plataforma.

Palavras-chave: *Cloud Computing*; *Fog Computing*; *Arquitetura e plataforma Fog*.

1. Introdução

Estima-se que bilhões de objetos com capacidade de recolher, partilhar informações e interagir inteligentemente surjam nos próximos anos. Segundo Gubbi *et al.* (2013), as integrações desses diferentes dispositivos por forma a beneficiar diversos setores requerem grandes desafios e colaboram para afirmação e evolução da *IoT*.

Conforme Sehgal *et al.* (2012), a principal característica do ambiente *IoT* é ser composto por dispositivos de diferentes tipos e heterogêneos, conectados, organizados localmente ou distribuídos com capacidades de processamento, comunicação e armazenamentos limitados. Segundo Nitti *et al.* (2015), esses agentes, podem ser interligados com outros recursos físicos ou virtuais a fim de permitirem: controlo; computação e análise de dados (Gubbi *et al.*, 2013).

Por forma a possibilitar a computação ubíqua que se baseiam em dispositivos inteligentes, autoconfiguráveis e que utiliza infraestrutura de rede genérica e dinâmica, diferentes propostas sobre a *IoT* agregam diferentes tecnologias. Nessa linha, a *Cloud*, como sendo uma tecnologia confiável e madura, oferece capacidades ilimitadas de processamento e armazenamento o que possibilita resolver alguns problemas dos dispositivos *IoT*.

Diferentes soluções centradas na *Cloud* para *IoT* que visam agregar vantagem da *Cloud* para suportar os dados produzidos pelos dispositivos *IoT* como: *Cloud IoT* ou *Cloud of Things* foram propostas.

No entanto, a transição para *IoT* não pode ser uma simples aplicação da *Cloud*, envolve questões e desafios que exigem esforços aos investigadores. Para Duan *et al.* (2015), será necessário otimizar e instalar o conceito *Cloud* para disponibilizar conteúdos através de plataforma *IoT* compacta e geograficamente distribuída e que suportam o modelo *Everything-as-a-Service (XaaS)*, que possibilita ao utilizador aceder as informações a partir de qualquer dispositivo, em qualquer lugar e a qualquer momento.

Fog Computing é uma extensão da *Cloud* e visa responder requisitos não consideradas pela *Cloud* (Bonomi *et al.*, 2012). Aspirando apoiar as soluções *IoT*, ampliando os recursos da *Cloud* para a extremidade da rede.

A sua arquitetura permite suportar a análise de dados em *real time*, permitindo a partilha do processamento através dos recursos na *Fog* (Bonomi *et al.*, 2014). Esta abordagem permite reduzir a tramitação de informações para a *Cloud*, visto que, os processamentos de dados são feitos nos dispositivos na extremidade da rede.

Para Coutinho *et al.* (2016), o seu estudo está no centro de vários domínios de aplicação da *IoT* onde investigações procuram identificar requisitos, experimentar algoritmos e avaliar arquiteturas que permitam resolver problemas relacionadas com a sua implementação.

Segundo Yi *et al.* (2015), devido a sua heterogeneidade e variedade de conexões envolvidas, prestar serviços em grande escala no cenário da *IoT* não é fácil (Luan *et al.*, 2016). Problemas relacionados com a conectividade, confiabilidade e latência podem influenciar a disponibilidade e qualidade dos serviços (Coutinho *et al.*, 2016 *apud* Yi *et al.*, 2015).

Nesta, debruçamos sobre apresentação de conceitos, características, arquitetura de referencia e componentes das plataformas *Fog*.

2. Fog Computing

Segundo Bonomi *et al.* (2012), é uma ampliação da *Cloud Computing*. Em Vaquero and Merino (2014), é definida de forma vasta, com destaque em algumas características como a preponderância de acesso sem fio, heterogeneidade, disposição geográfica, entre outros.

Segundo Bonomi *et al.* (2012), desde sua adoção em finais de 2012 pela *Cisco*, a *Fog Computing* tem crescido muito. As seções seguintes abordam esse paradigma, que desabrocha como uma solução integrada para estender os recursos da *Cloud* para a extremidade da rede e permitir dar respostas as inconveniências do modelo centralizado clássico.

3. Caracterização da Fog Computing

Segundo Bonomi *et al.* (2012), *Fog* é uma plataforma virtualizada que permite execução, armazenamento e comunicação entre dispositivos finais e *Cloud*. Localiza-se normalmente, na extremidade da rede. Esta definição acarreta características que torna a *Fog* um prolongamento da *Cloud* conforme descritas por Bonomi *et al.* (2012):

- **Reconhecimento da localização e reduzida latência** - a *Fog* teve a sua origem nas propostas que envolvem acesso com suporte a serviços sofisticados na extremidade da rede, incluem aplicações com exigências de reduzidas latências.
- **Distribuição geográfica** – contrastando com a computação mais centralizada da *Cloud*, os serviços e aplicações *Fog* utilizam instalações muito distribuídas.
- **Suporte a rede de sensor em grande escala** – A monitorização do ambiente através das redes de sensores, muito utilizado no controlo de tráfego, e as redes de energia inteligentes.
- **Grande número de nós** – constitui uma consequência da distribuição geográfica evidenciadas geralmente pelas tecnologias de redes de sensores, e pela aplicação em redes de energia inteligentes em particular. Onde a execução dos serviços são feitas pelos nós da *Fog* como parte integrante da aplicação em *Cloud*.
- **Suporte a computação móvel** - Em várias aplicações *Fog* é muito importante uma comunicação direta com dispositivos associados a fim de suportar diferentes técnicas que podem ser utilizadas na computação móvel.
- **Interações em real time** - aplicações *Fog* demandam interações em tempo real.
- **Predominância do acesso sem fio** – dispositivos *IoT*, utilizam protocolos de comunicação sem fio em muitos casos como única forma possível de conectarem em rede. Os nós *Fog* devem disponibilizar serviços que só podem ser necessários em contexto *IoT*.
- **Heterogeneidade** - *Cloud* são usualmente ambientes fechados, os hardwares pertencem ao mesmo fornecedor, ambientes e linguagens de programação são proprietárias. Contrariamente aos dispositivos *Fog* que podem ser disponibilizados por deferentes fabricantes, utilizar vários ambientes e participar diversos desenvolvedores e protocolos.
- **Interoperabilidade e federação** - O apoio contínuo precisam da colaboração de diversos fornecedores.
- **Análise de dados em real time** - interagindo com a *Cloud* e perto das origens de dados, a *Fog* está bem localizada para desempenhar um papel significativo no consumo e processamento de dados com ressalvas temporais em *Big Data*.

Segundo Coutinho *et al.* (2016), elementos como *gateways* inteligentes, *routers* e dispositivos *Fog* dedicados fornecem recursos de computação e armazenamento para permitir a extensão dos serviços *Cloud* à extremidade da rede.

Dastjerdi *et al.* (2016), propôs a arquitetura referência para a *Fog Computing*, ilustrada na figura 1, na parte inferior, encontram redes inteligentes contendo sensores e atuadores, assim como, dispositivos de extremidade da rede e os *gateways*. Esta camada contém aplicações que podem ser instaladas nos dispositivos finais com o objetivo de aumentarem a sua funcionalidade. Utilizam a camada seguinte para a comunicarem com outros dispositivos ou com a *Cloud*.

Camada de Rede, permite conexão utilizando tecnologias com e sem fio com outros elementos, que não sejam sensores e/ou atuadores, ligados em rede. Além disso, esta camada disponibiliza acesso a recursos de rede virtualizados como instâncias de *Fog* através de elementos inteligentes, capazes de processar e armazenar temporariamente dados recolhidos pelos *gateways* sobre dispositivos *IoT* da camada inferior. São responsáveis para em certos intervalos de tempo filtrar e enviar informações para *Cloud*.

Na camada de Rede, são executados serviços que possibilitam suporte no processamento de tarefas *IoT* para aplicações que necessitam de apoio de recursos virtualmente sem limites na *Cloud*. Os softwares de gestão de recursos estão no topo da camada de *Cloud* e coordena toda a infraestrutura e oferece qualidade de serviço as aplicações *Fog*. Finalmente, na camada superior estão as aplicações que utilizam infraestrutura *Fog* para oferecerem soluções inovadoras e inteligentes aos utilizadores finais.

A camada gestão de Recurso Definido por Software implementa diferentes serviços *middleware* a fim de otimizar a utilização dos recursos *Cloud* e *Fog*. Tem como objetivos reduzir utilização da *Cloud* e conseqüentemente permitir melhorar o desempenho das aplicações, através da execução das tarefas nos nós *Fog* e oferecer níveis baixos de latência. Os serviços: localização de fluxo e tarefas, gestão de segurança, gestor de perfis, provisionamento de recursos e monitoração permitem alcançar esses objetivos.

Os elementos, serviços descritos são apenas referências. As camadas protocolares e aplicações *Fog* podem ser criadas sem a necessidade de utilização de todos esses elementos, podem também integrar componentes, serviços não apresentados na figura 1.

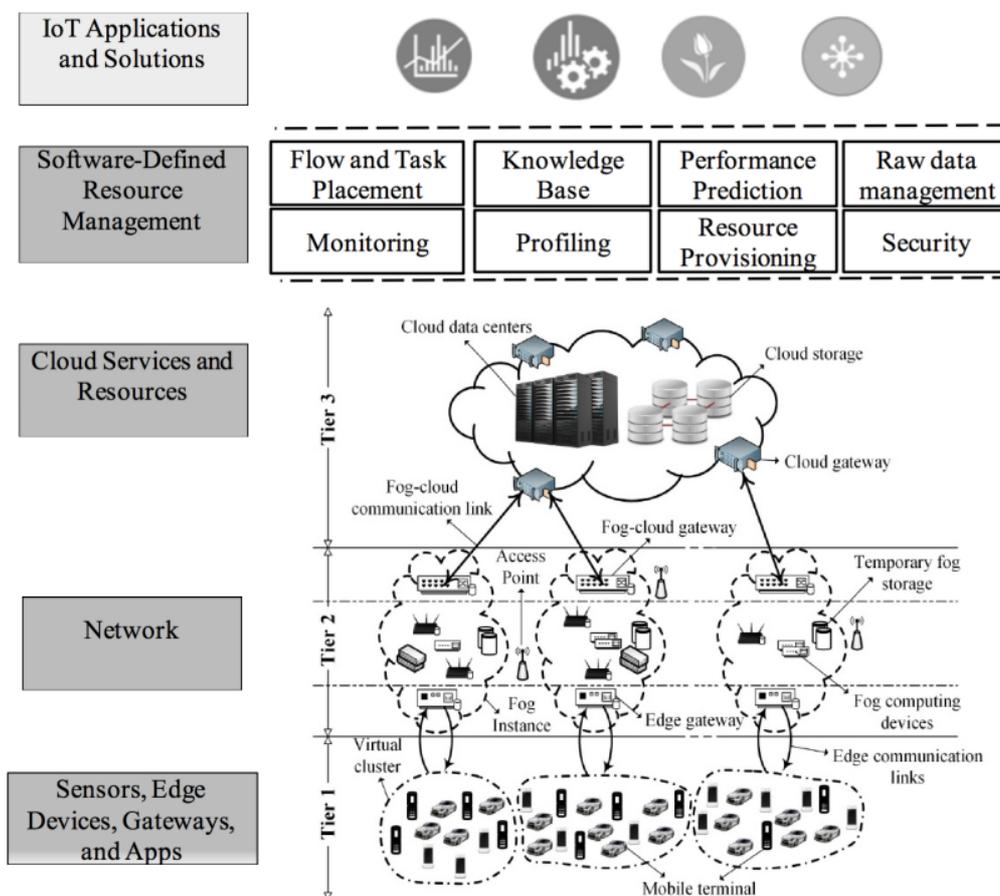


Figura 1: Arquitetura de referência *Fog*.

Fonte: (Dastjerdi *et al.*, 2016) e (Sarkar *et al.*, 2015)

Segundo Bonomi *et al.* (2012), as plataformas *Fog* aproveitam a proximidade às origens de dados para suportar características como mobilidade, reconhecimento da localização e baixa latência. As suas arquiteturas incluem requisitos das arquiteturas *Cloud* como adaptação, visualização, escalabilidade e multi-inquilino. Na seção seguinte, abordaremos os diferentes elementos integráveis na sua estrutura hierárquica para garantir a partilha de recursos e/ou serviços. Na próxima seção, analisaremos a arquitetura *Fog Computing*.

4. Arquiteturas *Fog Computing*

Segundo Yi *et al.* (2015), uma plataforma *Fog* é composto pelos componentes conforme a figura 2, alguns componentes são idênticos aos da arquitetura referência ilustrado na figura 1, e descrito na Seção 3. Neste ambiente, as funcionalidades gestão de rede podem possuir bilhões de dispositivos heterogêneos que executam diferentes serviços. Esses elementos distribuídos precisam ser configurados e coordenados, Vaquero and Rodero-Merino (2014), destacam algumas tecnologias que têm evoluído e ajudado na resolução da complexidade envolvida:

- **Técnicas de Rede Definida por Software (network softwarization)** – A *Fog* abrange infraestruturas, dispositivos que são geridas por diferentes organizações, é necessário que os serviços sejam feitos em conformidade ou automatizadas por software. Utilização de técnicas NFV pelas operadoras podem disponibilizar a implementação dinâmica de serviços sob demanda. A utilização de tecnologias baseadas em SDN possibilita que alguns serviços sejam estabelecidos apenas por software, como resultado teremos operações mais ágeis e baratas de que soluções tradicionais que baseiam em hardware.

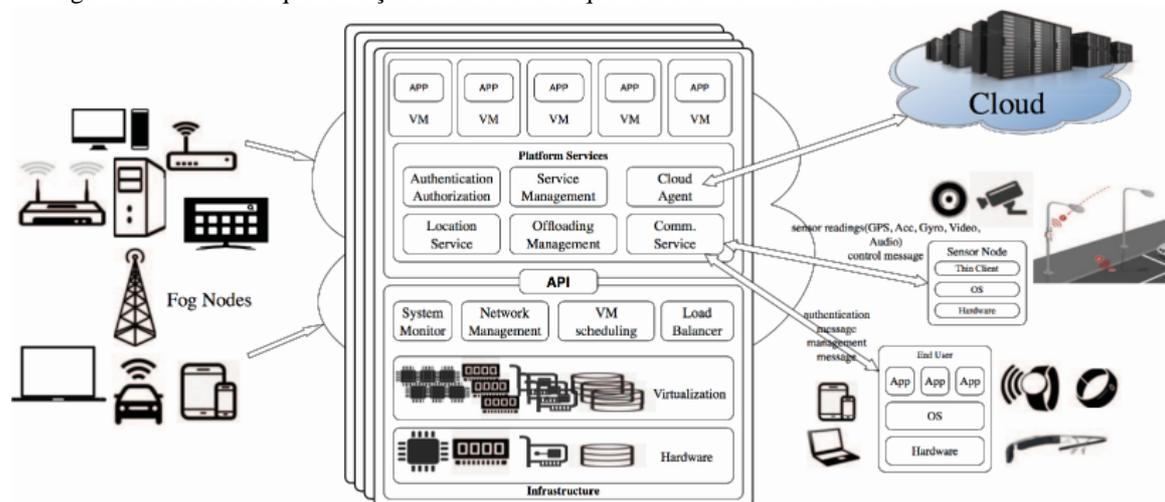


Figura 2: Componentes da Plataforma *Fog Computing*.
Fonte: (Yi et al. 2015)

- **Técnicas Declarativas e Assintóticas** – orientada a gestão em larga-escala, estas soluções permitem a especificação do estado desejado para o sistema de forma declarativa ao invés de serem utilizados comandos de configuração individuais. Entretanto, é assumido que o estado final atingido pode não ser alcançado. Dado que, o sistema pode ser modificado durante a sua configuração.
- **Nós da Fog** – são grupos de dispositivos e/ou dispositivos *Fog* que comportam como pequenas *Cloud*.
- **Abordagens baseadas em Redes Peer-to-Peer (P2P) e de Sensores** - permitem cooperação entre os nós e possibilitam maior escalabilidade, ainda que, com resultados semelhantes às técnicas de gestão que exigem um único provedor responsável pelo funcionamento da rede e dos serviços.

5. Plataforma *OpenFog*

Em novembro de 2015, foi criado o primeiro consórcio cujo o objetivo é desenvolver uma infraestrutura padrão para *Fog Computing* composto por grandes empresas como entre outros: *Microsoft, Cisco ARM e Intel* e a Universidade Americana de *Princeton*. O consórcio baseia-se na importante premissa de que uma arquitetura aberta é essencial para o sucesso do ecossistema *Fog Computing* ubíquo para plataformas e aplicações *IoT*.

A plataforma *OpenFog*, foi desenhada como uma extensão do modelo *Cloud* tradicional, onde implementações em sua arquitetura é constituído por múltiplas camadas da topologia de rede. Tem como objetivo a instalação de aplicações com exigências de entre outros: escalabilidade, interoperabilidade; desempenho; segurança; capacidade de programação, confiabilidade, disponibilidade e agilidade.

Sua arquitetura deve suportar diferentes clientes ou dispositivos da extremidade e poder funcionar em simultâneo com serviços *Cloud* para fazer armazenamento, computação, comunicação e tarefas de gestão otimizadas baseadas em requisitos de volume de trabalho. Neste sentido, facultar uma infraestrutura necessária para facilitar a criação de serviços *Fog-as-a-Service* (FaaS) que visa resolver desafios em negócios. A figura 3, ilustra, uma visão da infraestrutura *OpenFog*.



Figura 3: Visão da Infraestrutura *OpenFog*.
Fonte: (OpenFog, 2018)

Onde, *Cloud Services*, disponibilizam a infraestrutura na *Cloud* para tarefas que necessitam atuar em escopo mais amplo de informações ou sobre dados da extremidade pré-processados para definir políticas.

Infraestrutura OpenFog, é constituído por componentes que permitem a criação de infraestrutura homogênea onde os serviços úteis serão agregados ao ecossistema. A infraestrutura geralmente é criada utilizando hardware heterogêneo e plataformas de vários fornecedores.

Serviços OpenFog, são construídos sobre a infraestrutura *OpenFog* como uma arquitetura de micro-serviços *Fog*. Estes serviços incluem aceleração de rede, NFV, SDN, disponibilização de conteúdo, gestão de dispositivos e de topologia, processamento de eventos, tráfego de *offloading*, *cache* de dados, criptografia, plataforma e algoritmos de análise, entre outros.

Dispositivos/Aplicações, são sensores, atuadores e aplicativos com execução autônoma, numa infraestrutura *Fog* ou que envolve diferentes provedores.

Segurança, isola as funcionalidades dentro de cada camada da arquitetura com mecanismos de controlo de acesso para que a plataforma *Fog* funcionem num ambiente com segurança e que garanta a transferência de dados entre seus componentes.

DevOps - São ativados por um conjunto padronizado de procedimentos e plataformas. Disponibilizam agilidade na correção, atualização de software com base numa integração controlada e contínua.

Os principais pilares da plataforma da arquitetura *OpenFog* é ilustrado na figura 4. A utilização correta de cada um desses pilares como base para plataforma é a chave para uma implementação bem-sucedida.

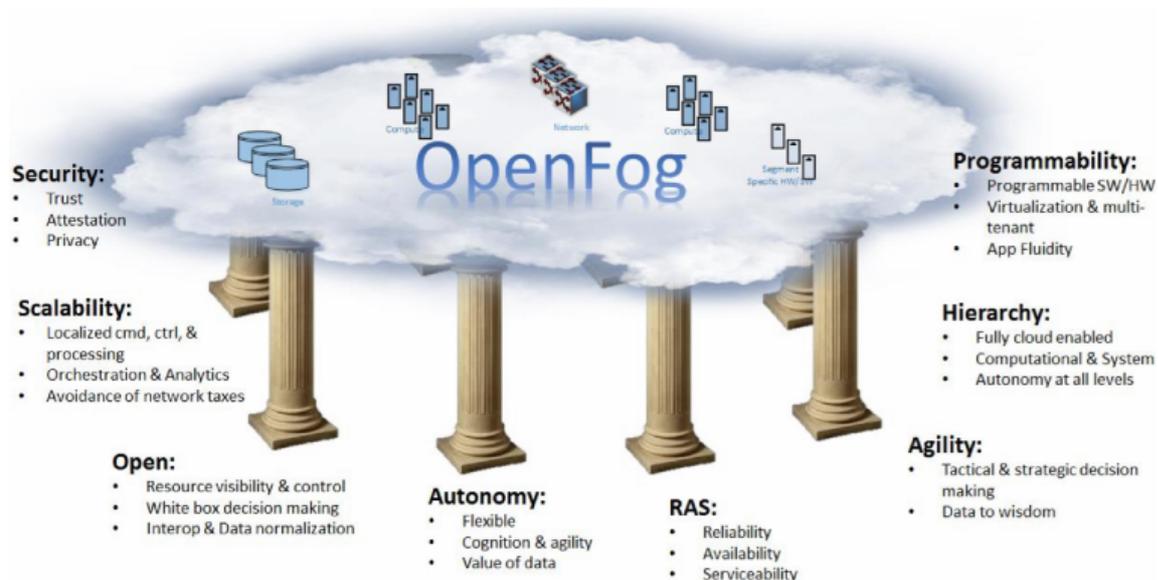


Figura 4: Pilares do *OpenFog*.
Fonte: (OpenFog 2018)

6. Considerações Finais

Infraestrutura *Fog* permitem às tecnologias *Cloud* formas para suportar dados criados pelos dispositivos *IoT*. O processamento próximo do lugar onde são produzidos constitui a melhor forma de resolver desafios relacionados com o aumento dos dados em volume, variedade e velocidade. As tecnologias *Fog* também podem acelerar a consciência e a resposta aos eventos, e elimina requisições e transferências custosas de dados da extremidade da rede para a *Cloud*. Também permite proteger informações extraídas da *IoT*, permitindo a suas análises em empresas e organizações. Como consequência, a *Fog* vai mudar muitas práticas atuais nas diferentes camadas da *Cloud*.

As principais conclusões alcançadas são que:

- Um número crescente de dispositivos, tecnologias e plataformas, levaram a *IoT* ser uma tecnologia global e estendida a muitas áreas.
- O modelo *Cloud IoT*, possuem muitas vantagens. No entanto, em alguns cenários a sua aplicação não são favoráveis porque a *Cloud* tradicional é centralizada e a computação é executada em grandes *Data Center* espalhados pelo mundo.
- Em aplicativos com necessidade de latência reduzidas e em lugares com limitações de acesso a *Cloud*, torna-se impraticável utilização desses aplicativos. Por isso, novos paradigmas despontam.
- Entre os novos paradigmas destaca-se a *Fog Computing* cujo o propósito é proporcionar a computação na extremidade da rede permitindo entre outros, redução de latência.
- Arquitetura referência para a *Fog*, foi proposto em Dastjerdi *et al.* (2016), e é composta por redes inteligentes que possuem sensores e atuadores, assim como, dispositivos de extremidade da rede e os *gateways*
- A plataforma *OpenFog*, foi desenhada como uma extensão do modelo *Cloud*, e as implementações em sua arquitetura é constituído por numerosas camadas da topologia de rede.

7. Referências

- Bonomi, F., Milito, R., Natarajan, P., and Zhu, J. (2014). Fog Computing: A Platform for Internet of Things and Analytics. In *Big Data and Internet of Things: A Roadmap for Smart Environments*, pages 169–186. Springer.
- Bonomi, F., Milito, R., Zhu, J., and Addepalli, S. (2012). Fog Computing and Its Role in the Internet of Things. In *Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing*, pages 13–16. ACM.
- Coutinho, António Augusto & Carneiro, Elisângela & Greve, Fabíola. (2016). Computação em Névoa: Conceitos, Aplicações e Desafios. 266-315.
- Dastjerdi, A. V., Gupta, H., Calheiros, R. N., Ghosh, S. K., and Buyya, R. (2016). Fog Computing: Principals, Architectures, and Applications. *arXiv preprint arXiv:1601.02752*.
- Duan, Y., Fu, G., Zhou, N., Sun, X., Narendra, N. C., and Hu, B. (2015). Everything as a Service (XaaS) on the Cloud: Origins, Current and Future Trends. In *Cloud Computing (CLOUD), 2015 IEEE 8th International Conference on*, pages 621–628. IEEE.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., and Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7): 1645–1660.
- Luan, T. H., Gao, L., Li, Z., Xiang, Y., We, G., and Sun, L. (2016). A View of Fog Computing from Networking Perspective. *arXiv preprint arXiv:1602.01509*.
- Nitti, M., Pilloni, V., Colistra, G., and Atzori, L. (2015). The Virtual Object as a Major Element of the Internet of Things: a Survey. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 99:1–12.
- OpenFog (2018). Open Fog Architecture Overview. Disponível em: <http://www.openfogconsortium.org/wp-content/uploads/OpenFog-Architecture-Overview-WP-2-2016.pdf>. Acedido em: 11 mai. 2018.
- Sarkar, S., Chatterjee, S., and Misra, S. (2015). Assessment of the Suitability of Fog Computing in the Context of Internet of Things. *IEEE Transactions on Cloud Computing*, PP(99): 1–1
- Sehgal, A., Perelman, V., Kuryla, S., and Schönwälder, J. (2012). Management of Resource Constrained Devices in the Internet of Things. *Communications Magazine, IEEE*, 50(12): 144–149.
- Vaquero, L. M. and Rodero-Merino, L. (2014). Finding Your Way in the Fog: Towards a Comprehensive Definition of Fog Computing. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 44(5):27–32.
- Yi, S., Hao, Z., Qin, Z., and Li, Q. (2015a). Fog Computing: Platform and Applications. In *Hot Topics in Web Systems and Technologies (HotWeb), 2015 Third IEEE Workshop on*, pages 73–78. IEEE