

Da Evolução das Redes Móveis ao Open RAN



Prof. Dr. Paulo Ditarso Maciel Jr. (paulo.maciel@ifpb.edu.br)

25 de agosto de 2025

Desagregação, Virtualização e Novos Paradigmas em Telecom

Aula modelo para a

Especialização em Open RAN: Redes Abertas e Tecnologias Emergentes.

```
$ git clone https://github.com/pdmjr/network\_openran.git
```

Disclaimer¹

- Esta apresentação tem caráter introdutório e não busca esgotar os temas aqui abordados.
- Para um estudo mais aprofundado, é imprescindível a leitura dos livros e materiais indicados.



Objetivos da Aula

- Compreender a evolução das redes móveis até o 5G
- Discutir desagregação e virtualização de funções de rede
- Introduzir o conceito de Open RAN e seus impactos
- Analisar oportunidades e desafios

Agenda

1. Introdução à Evolução
2. Desagregação e Virtualização
3. O Conceito de Open RAN
4. Novos Paradigmas e Futuro
5. Conclusão

Introdução à Evolução

Linha do Tempo das Redes Móveis

- 1G: Voz analógica
- 2G: Digital, SMS
- 3G: Dados móveis iniciais
- 4G: LTE, banda larga IP
- 5G: eMBB, mMTC, URLLC

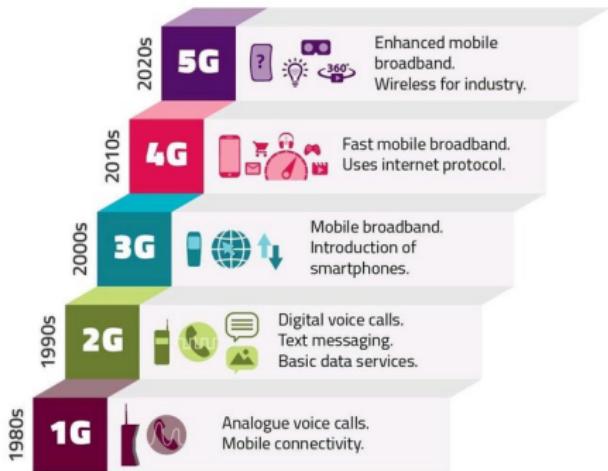


Figura 1: Telefonia móvel^a

^a <https://galooli.com/glossary/what-is-a-network-generation/>

Tendências Tecnológicas

- Mais banda e menor latência
 - **Largura de banda ampliada:** suporte a taxas de dezenas de Gbps com novas faixas de espectro, incluindo ondas milimétricas.
 - **Redução da latência:** níveis próximos de 1 ms, viabilizando aplicações em tempo real.
 - **Impacto prático:** telemedicina (cirurgias remotas), realidade virtual imersiva, controle de sistemas industriais críticos.
- Maior densidade de dispositivos
 - **Crescimento exponencial:** milhões de dispositivos conectados
 - **Soluções tecnológicas:** massive MIMO, beamforming e uso de small cells.
 - **Cenários típicos:** centros urbanos, estádios, fábricas inteligentes e ambientes de alta concentração populacional.
 - **Desafio:** garantir eficiência energética e escalabilidade sem perda de qualidade de serviço.

Casos de uso emergentes

- **IoT (Internet das Coisas)**: suporte a bilhões de sensores e atuadores, baixo consumo de energia, comunicações massivas e esporádicas.
- **Realidade Aumentada (RA)**: necessidade de sincronização imediata entre mundo físico e digital, alta taxa de transmissão e baixíssima latência.
- **Veículos conectados (V2X)**: comunicações ultraconfiáveis para navegação segura, prevenção de acidentes e coordenação entre veículos autônomos.
- **Visão futura**: redes adaptáveis e programáveis que suportem simultaneamente diferentes requisitos de QoS.

Arquitetura do 5G

- **Rede de Acesso por Rádio (RAN):** Nova radiofrequência e técnicas avançadas de transmissão.
- **Rede Central (Core):** Baseada em software, mais flexível e ágil.
- **Suporte Multisserviço:** *Network slicing* para diferentes tipos de serviços.

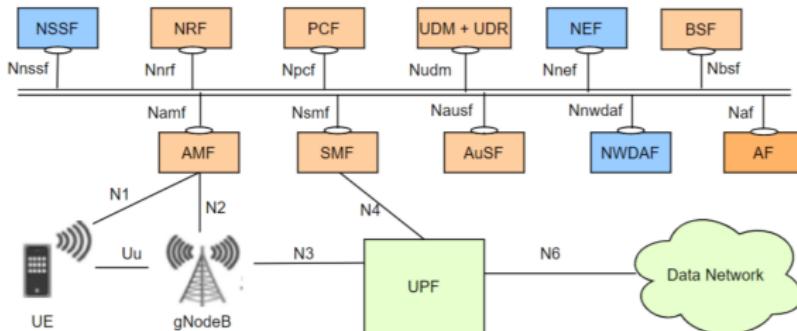


Figura 2: Arquitetura Geral do 5G²

Características Técnicas do 5G

- **Velocidade:** Até 20 Gbps.
- **Latência:** Menos de 1 ms.
- **Conectividade Massiva:** Suporte para até 1 milhão de dispositivos por km².
- **Eficiência Espectral:** Utilização otimizada do espectro.

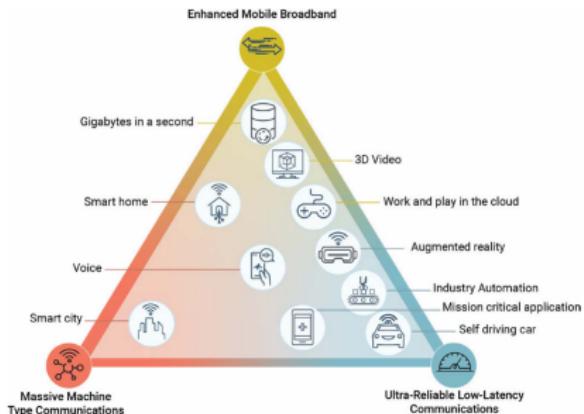


Figura 3: Requisitos para diferentes tipos de aplicações³

Desagregação e Virtualização

Redes Tradicionais vs Virtualizadas

- **Antes:** nas redes legadas, o hardware (roteadores, switches, firewalls) era projetado de forma proprietária, com software integrado e fechado.
- **Agora:** as funções de rede foram desacopladas e podem rodar em servidores COTS (*Commercial Off-The-Shelf*), equipamentos comuns de TI, o que reduz custos e aumenta a flexibilidade.
- **Exemplo ilustrativo:** antes era como comprar um aparelho “tudo em um”; agora é possível usar peças modulares conectadas, escolhendo cada componente de acordo com a necessidade.

- **NFV (*Network Functions Virtualization*):** permite que funções como firewall, load balancer ou EPC (núcleo de rede 4G/5G) sejam executadas em máquinas virtuais ou containers.
- **SDN (*Software Defined Networking*):** separa o plano de controle (decisões sobre como rotear pacotes) do plano de dados (encaminhamento físico).
- **Benefícios combinados:** mais automação, facilidade de escalar serviços e redução de CAPEX/OPEX.
- **Analogia:** NFV é como instalar diferentes aplicativos em um mesmo computador, e SDN é como ter um “sistema operacional central” que coordena todos eles.

Virtualização das Funções de Rede (NFV)

- **Definição:** Abstração das funções de rede do hardware proprietário, executando-as em ambiente virtualizado.
- **Componentes Principais:** VNF (Funções de Rede Virtualizadas), NFVI (Infraestrutura de Virtualização).
- **Vantagens:** Redução de custos, flexibilidade, rapidez na introdução de serviços.

- Virtualização do EPC (*Evolved Packet Core*): Gestão centralizada e flexível do core da rede.
- vRAN (*Virtualized Radio Access Network*): Otimização da rede de acesso rádio.
- *Edge Computing*: Suporte a aplicações de baixa latência e alta demanda.

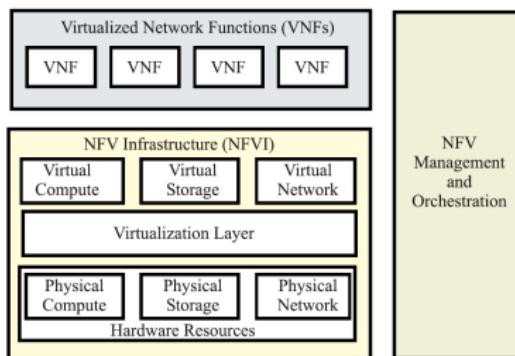


Figura 4: Arquitetura geral NFV⁴

Redes Definidas por Software (SDN)

- **Definição:** Arquitetura de rede que separa o plano de controle do plano de dados.
- **Componentes Principais:** Aplicações de rede, controlador SDN, switches programáveis, interfaces.
- **Vantagens:** Flexibilidade, centralização do controle, automação.

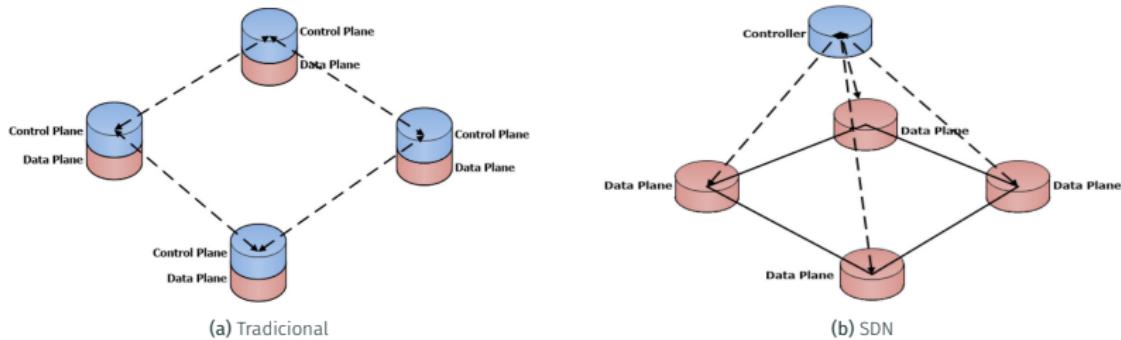


Figura 5: Redes tradicionais vs SDN⁵

5. Nisar et al., «A survey on the architecture, application, and security of software defined networking: Challenges and open issues».

- **Plano de Aplicação:** Controle dos recursos via programação.
- **Plano de Controle:** Gerência centralizada dos recursos de rede.
- **Plano de Dados:** Dispositivos de comutação físicos ou virtuais.
- **Interfaces:** Comunicação entre os planos, ao norte (REST), sul (OpenFlow, P4), leste, oeste (API dos controladores).

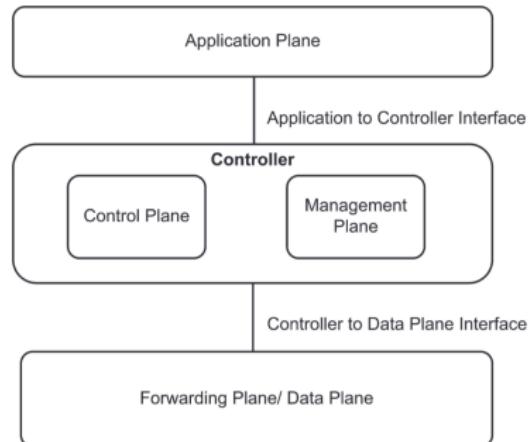


Figura 6: Arquitetura SDN^a

a. IEEE Std 1930.1-2022, «IEEE Recommended Practice for Software-Defined Networking (SDN) Based Middleware for Control and Management of Wireless Networks».

Fatiamento de Rede (*Network Slicing*)

- **Definição:** Técnica que permite a criação de múltiplas redes virtuais independentes sobre uma única infraestrutura física, otimizadas para atender diferentes requisitos de serviços e aplicações dentro de uma rede 5G.
- **Componentes Principais:** NFV e SDN.
- **Vantagens:** Garantir QoS, agilidade de implantação, personalizar e otimizar recursos de rede para diferentes serviços.

Integração com Operadores de Telecom

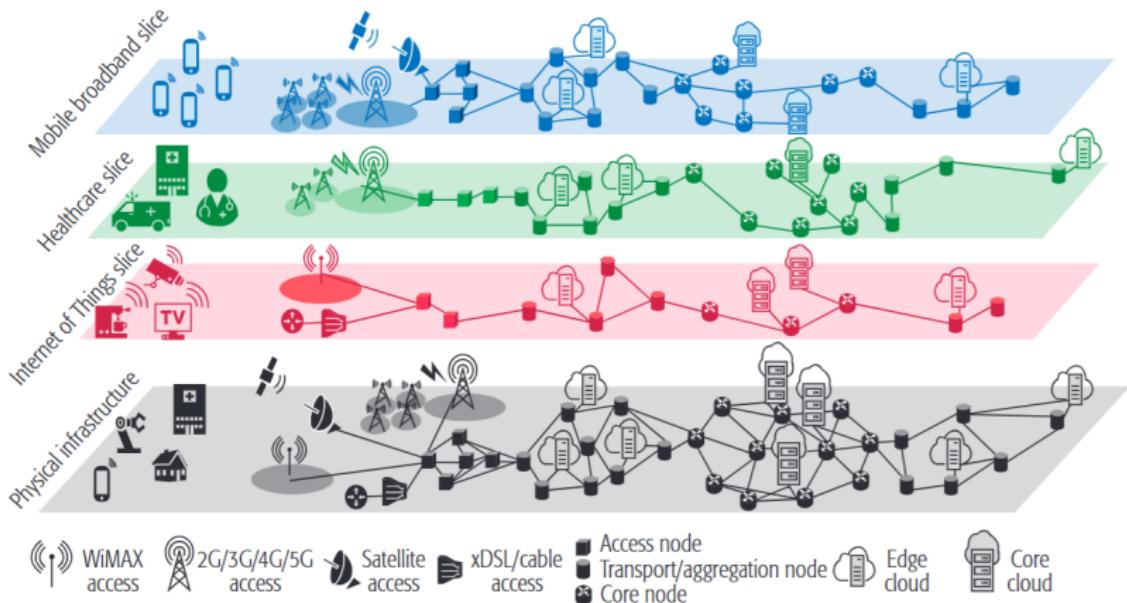


Figura 7: Fatiamento de redes⁶

6. Ordóñez-Lucena et al., «Network Slicing for 5G with SDN/NFV: Concepts, Architectures, and Challenges».

- **Separação de funções:** no 5G, a RAN (Rede de Acesso Rádio) é dividida em RU (unidade de rádio), DU (unidade distribuída) e CU (unidade centralizada).
- **Interfaces abertas:** definidas por padrões (ex.: eCPRI, F1, E2), permitem interoperabilidade entre equipamentos de diferentes fornecedores.
- **Impacto:** facilita a entrada de novos *players* e aumenta a competitividade no mercado.
- **Exemplo:** uma operadora pode usar a RU da Nokia, a DU da Intel e a CU da Ericsson, todos integrados por interfaces abertas.

Benefícios da Desagregação

- Separação hardware/software → menor dependência de fornecedores proprietários.
- Arquitetura modular (RU, DU, CU) → flexibilidade na evolução e no dimensionamento da rede.
- Interfaces abertas/padronizadas (3GPP, O-RAN, ETSI) → interoperabilidade real.
- Ambiente multifornecedor → redução de custos e aumento da concorrência.
- Escalabilidade seletiva → expande apenas o módulo necessário (otimiza CAPEX/OPEX).
- Automação e programabilidade (SDN, APIs) → gestão centralizada e operações mais inteligentes.
- Inovação acelerada → entrada de novos *players* e serviços lançados mais rapidamente.

O Conceito de Open RAN

Diferenças: Open RAN, O-RAN e OpenRAN

- **Open RAN (conceito genérico)**
 - Termo amplo que se refere à **abertura e desagregação** das redes de acesso de rádio (RAN).
 - Não está ligado a um grupo ou organização específica.
 - Objetivo: evitar o *vendor lock-in* e permitir múltiplos fornecedores.
- **O-RAN (O-RAN Alliance)**
 - Iniciativa formal liderada por operadoras globais (ex.: AT&T, China Mobile, NTT Docomo, etc.).
 - Define **especificações técnicas abertas**, interfaces e padrões de interoperabilidade.
 - Produz documentos, white papers e código aberto (ex.: *O-RAN Software Community*).
- **OpenRAN (Telecom Infra Project - TIP)**
 - Focado em **implementações práticas (use cases)** de RAN aberta.
 - Visa acelerar **testes, protótipos e implantações comerciais**.
 - Complementa as especificações da O-RAN Alliance com atividades de campo.

Conceito de Open RAN

- Arquitetura aberta para redes de acesso rádio (RAN)
- Desagregação de componentes: RU, DU e CU
- Interfaces abertas e padronizadas (ex.: O-RAN Alliance)
- Interoperabilidade entre múltiplos fornecedores
- Uso de virtualização e servidores COTS
- Maior flexibilidade, inovação e redução de custos

Why are service providers and enterprises looking at O-RAN?



Figura 8: O que stakeholders procuram?⁷

Evolução até Open RAN

What is Open RAN – Quick Recap

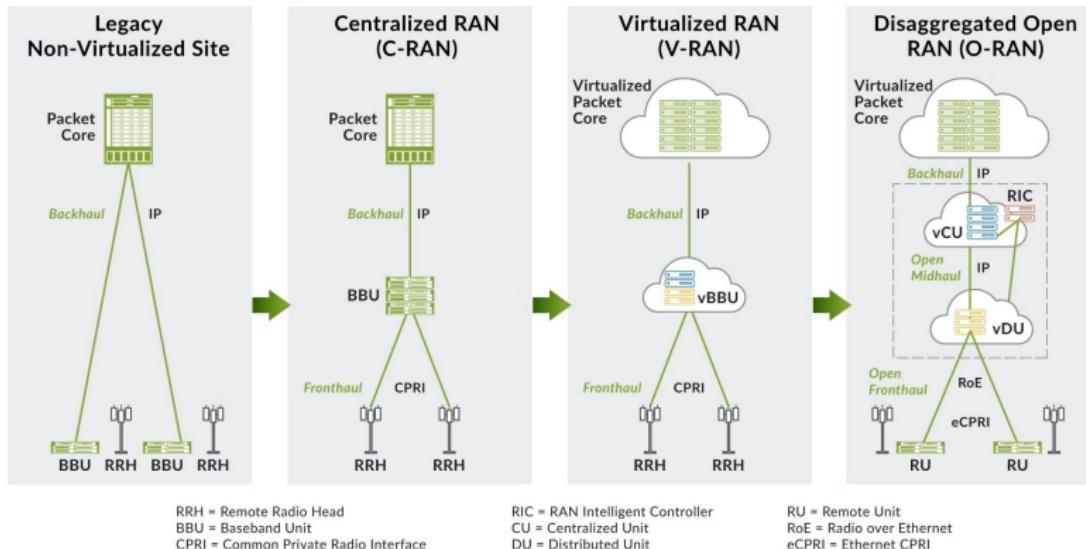


Figura 9: Recapitulando⁸

8. <https://www.juniper.net/us/en/research-topics/what-is-open-ran.html>

Arquitetura Open RAN⁹

- SMO: Gerenciamento e orquestração de toda a rede
- Non-RT RIC: Controle inteligente não em tempo real (políticas, ML/AI)
- Near-RT RIC: Controle quase em tempo real (10ms – 1s), otimizações dinâmicas
- O-CU (Central Unit)
 - O-CU-CP (Control Plane): sinalização e controle
 - O-CU-UP (User Plane): encaminhamento de dados do usuário
- O-DU (Distributed Unit): Processamento de tempo crítico (MAC, RLC, parte do PHY)
- O-RU (Radio Unit): Processamento de rádio e funções da camada física (RF, mod/demod)

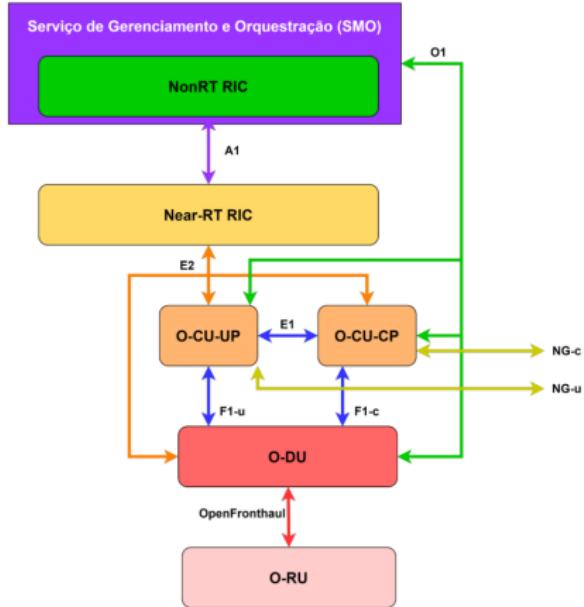


Figura 10: Arquitetura Open RAN⁴

9. Marques et al., «Desagregando e Softwarizando as Redes de Celulares e o Programa OpenRAN Brasil».

Benefícios do Open RAN

- **Redução de custos CAPEX/OPEX:** uso de COTS e interfaces abertas diminui dependência de fornecedores proprietários, isso reduz investimentos iniciais e custos operacionais.
- **Flexibilidade e inovação:** arquitetura desagregada permite atualização modular e rápida integração de novas funcionalidades, estimulando experimentação tecnológica.
- **Novos players no mercado:** abertura do ecossistema cria oportunidades para startups, universidades e empresas de software, ampliando a competitividade e acelerando a evolução da rede.
- **Ecossistema colaborativo:** estímulo à padronização e à cooperação entre diferentes organizações, com maior diversidade de soluções e modelos de negócios.

Desafios do Open RAN

- **Interoperabilidade real:** necessidade de compatibilidade entre equipamentos e softwares de múltiplos fornecedores, exigindo testes extensivos e certificações.
- **Performance em cenários críticos:** manter níveis de latência, throughput e confiabilidade equivalentes às soluções proprietárias em ambientes de alta demanda (ex.: redes 5G industriais).
- **Segurança e confiabilidade:** abertura das interfaces amplia a superfície de ataque, demandando mecanismos robustos de autenticação, criptografia e monitoramento contínuo.
- **Resistência dos fornecedores tradicionais:** barreiras comerciais e estratégicas impostas por fabricantes estabelecidos que ainda dominam grande parte do mercado.
- **Complexidade de integração:** coordenação de múltiplos componentes heterogêneos aumenta os desafios de gerenciamento, operação e manutenção da rede.

Novos Paradigmas e Futuro

Novos Paradigmas e Futuro

- **Redes privadas 5G/6G:** possibilitam aplicações industriais, smart cities e setores críticos (energia, saúde, logística), com maior controle sobre segurança, QoS e confiabilidade.
- **IA/ML para otimização da RAN:** uso de algoritmos inteligentes para ajuste dinâmico de parâmetros, predição de tráfego, alocação eficiente de recursos e manutenção preditiva.
- **Orquestração com NFV, SDN e Edge:** integração de funções virtualizadas, controle centralizado e computação na borda para oferecer baixa latência e maior flexibilidade no provisionamento de serviços.
- **Caminho para o 6G:** evolução em direção a redes autônomas, com autoconfiguração e auto-recuperação, além de suportar casos de uso avançados como comunicação holográfica, internet tátil e integração massiva de dispositivos inteligentes.

Conclusão

Conclusão

- A evolução móvel abriu espaço para virtualização e desagregação
- A transição de redes proprietárias para COTS trouxe flexibilidade, redução de custos e novas possibilidades de inovação
- Open RAN quebra o paradigma dos fornecedores únicos
- Interfaces abertas e padronizadas promove interoperabilidade e diversidade de fornecedores, impulsionando a competição e acelerando o desenvolvimento tecnológico
- Futuro: redes abertas, inteligentes e orientadas a software

Dúvidas?

Referências

-  IEEE Std 1930.1-2022. «IEEE Recommended Practice for Software-Defined Networking (SDN) Based Middleware for Control and Management of Wireless Networks». Em: *IEEE Std 1930.1-2022* (2022), pp. 1–119. DOI: [10.1109/IEEESTD.2022.9873864](https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2022.9873864).
-  Kaur, Karamjeet, Veenu Mangat e Krishan Kumar. «A review on Virtualized Infrastructure Managers with management and orchestration features in NFV architecture». Em: *Computer Networks* 217 (2022), p. 109281. ISSN: 1389-1286. DOI: [10.1016/j.comnet.2022.109281](https://doi.org/10.1016/j.comnet.2022.109281).
-  Kazmi, Syed Hasan Ahmed, Faizan Qamar, Rizwan Hassan et al. «Survey on Joint Paradigm of 5G and SDN Emerging Mobile Technologies: Architecture, Security, Challenges and Research Directions». Em: *Wireless Personal Communications* 130 (2023), pp. 2753–2800. DOI: [10.1007/s11277-023-10402-7](https://doi.org/10.1007/s11277-023-10402-7).

-  Marques, Daniel A. L. et al. «Desagregando e Softwarizando as Redes de Celulares e o Programa OpenRAN Brasil». Em: *Jornada de Atualização em Informática 2023*. Ed. por Alírio Santos de Sá e Weverton Luís da Costa Cordeiro. Sociedade Brasileira de Computação, 2023. DOI: [10.5753/sbc.12853.0.5](https://doi.org/10.5753/sbc.12853.0.5). URL: <https://doi.org/10.5753/sbc.12853.0.5>.
-  Nisar, Kashif et al. «A survey on the architecture, application, and security of software defined networking: Challenges and open issues». Em: *Internet of Things* 12 (2020), p. 100289. ISSN: 2542-6605. DOI: [10.1016/j.iot.2020.100289](https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100289).
-  Ordóñez-Lucena, Jose et al. «Network Slicing for 5G with SDN/NFV: Concepts, Architectures, and Challenges». Em: *IEEE Communications Magazine* 55.5 (2017), pp. 80–87. DOI: [10.1109/MCOM.2017.1600935](https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600935).
-  Vittal, Shwetha et al. «A Zero Touch Emulation Framework for Network Slicing Management in a 5G Core Testbed». Em: *2021 17th International Conference on Network and Service Management (CNSM)*. 2021, pp. 521–523. DOI: [10.23919/CNSM52442.2021.9615531](https://doi.org/10.23919/CNSM52442.2021.9615531).