

# Integração do 5G com Tecnologias Habilitadoras nas Telecomunicações

---



Prof. Dr. Paulo Ditarso Maciel Jr.

30 de agosto de 2024

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE)

Aula Inaugural do PPGEE – Turma 2024.2

```
$ git clone https://github.com/pdmjr/PPGEE_20242.git
```

# Atenção<sup>1</sup>

- Esta apresentação não pretende aprofundar nenhum tópico!
- E qual é o objetivo desta apresentação?



# Agenda

1. Introdução às Redes 5G
2. Tecnologias Habilitadoras do 5G
  - Redes Definidas por Software (SDN)
  - Virtualização das Funções de Rede (NFV)
  - *Network Slicing* (NS)
3. Casos de Uso
  - *Closed-Loop Control* no 5G
  - Indústria 4.0 e 5G
4. Exemplos de Pesquisas
5. Tópicos Quentes de Pesquisa
6. Conclusão

# Introdução às Redes 5G

---

# O que é o 5G?

- Quinta geração de redes móveis.
- Promete velocidades ultrarrápidas, latência ultrabaixa e conectividade massiva.
- Suporte a novas aplicações, como IoT, realidade aumentada/virtual, veículos autônomos.

# 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.

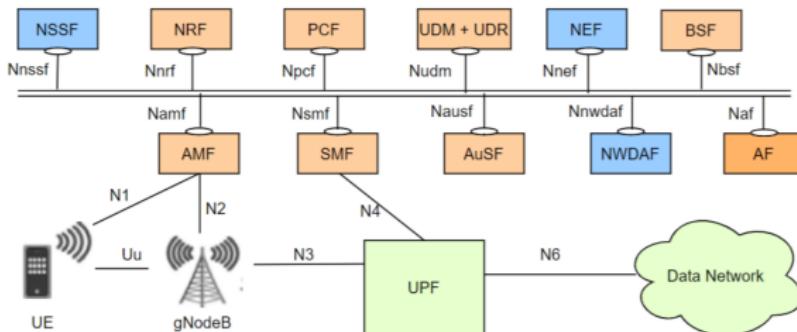


Figura 1: Arquitetura Geral do 5G<sup>2</sup>

# Características Técnicas do 5G

- **Velocidade:** Até 20 Gbps.
- **Latência:** Menos de 1 ms.
- **Conectividade Massiva:** Suporte para até 1 milhão de dispositivos por km<sup>2</sup>.
- **Eficiência Espectral:** Utilização otimizada do espectro.

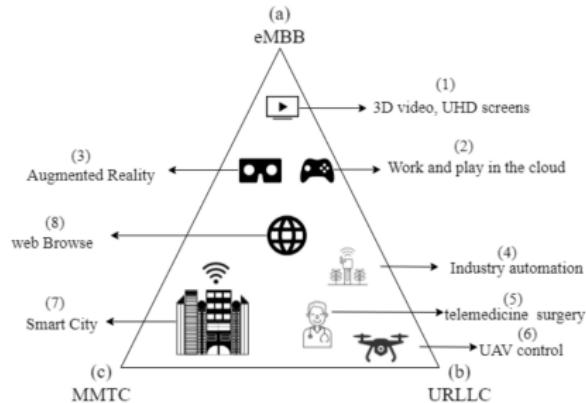


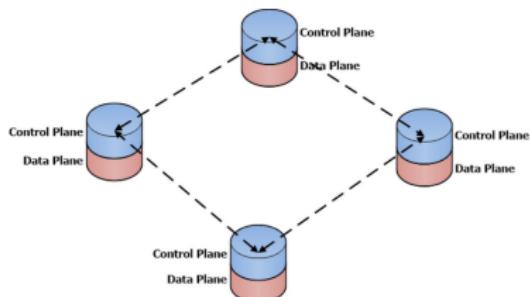
Figura 2: Requisitos para diferentes tipos de aplicações<sup>3</sup>

## Tecnologias Habilitadoras do 5G

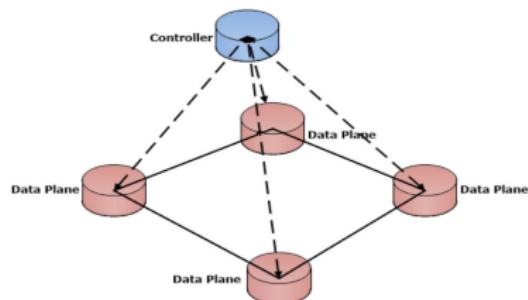
---

# Introdução ao 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.



(a) Tradicional



(b) SDN

Figura 3: Redes tradicionais vs SDN<sup>4</sup>

# Componentes SDN

- **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).

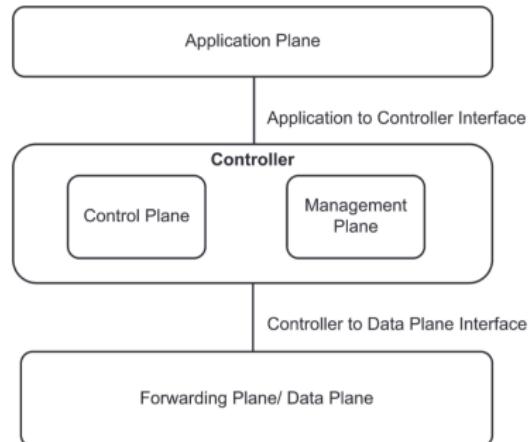


Figura 4: Arquitetura SDN<sup>a</sup>

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

- Automação de Redes: Gerência dinâmica do tráfego e recursos.
- Casos de Uso: Redes IoT, redes industriais, redes de campus.
- *Network Slicing*: Criação de fatias para diferentes serviços.

# Introdução ao NFV

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

# Integração NFV com 5G

- 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.

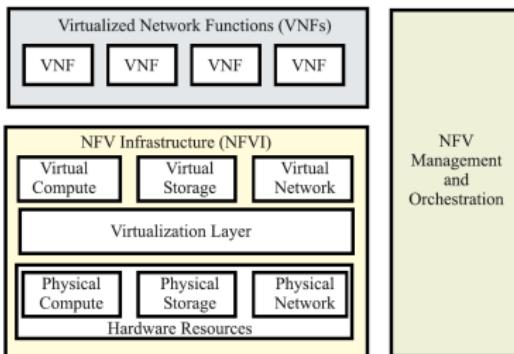


Figura 5: Arquitetura geral NFV<sup>5</sup>

# Introdução ao *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 NS com 5G

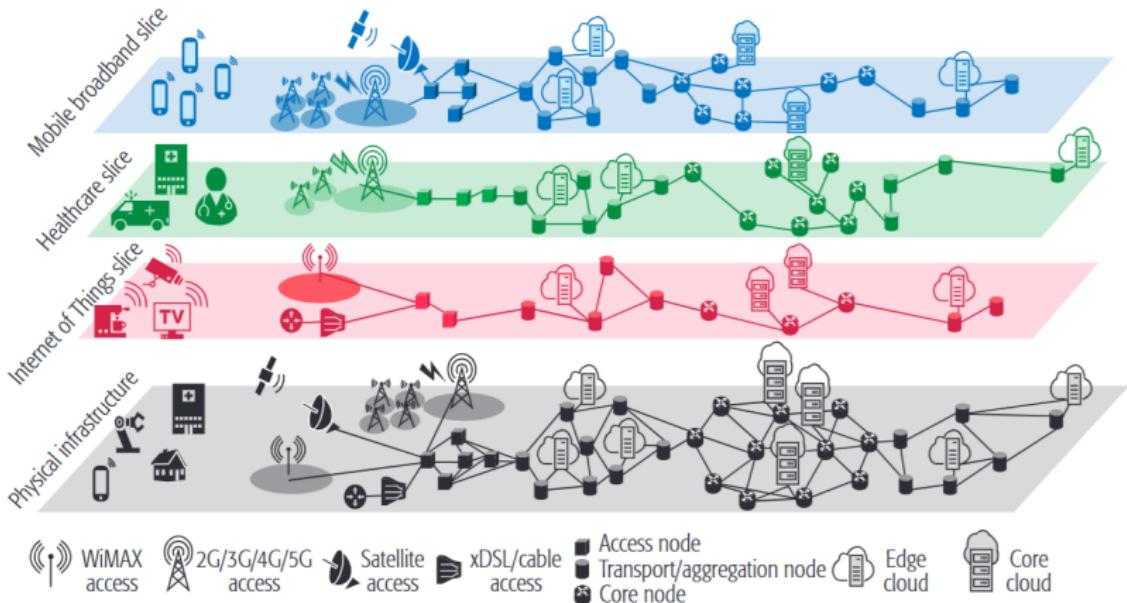


Figura 6: Fatiamento de redes<sup>6</sup>

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

## Casos de Uso

---

- **Definição:** Sistema de automação que ajusta parâmetros da rede em tempo real com base em feedback contínuo.
- **Componentes:** Monitoramento, análise, decisão e execução.
- **Benefícios:** Otimização contínua da rede, melhoria na Qualidade de Serviço (QoS), resposta rápida a falhas.

# Aplicações de CLC no 5G

- **Self-Organizing Networks (SON)**: Redes que se auto-configuram, otimizam e recuperam.
- **Gerenciamento de Tráfego**: Ajustes automáticos para otimizar o fluxo de dados.
- **Manutenção Preditiva**: Prevenção de falhas com base em análise contínua de dados.

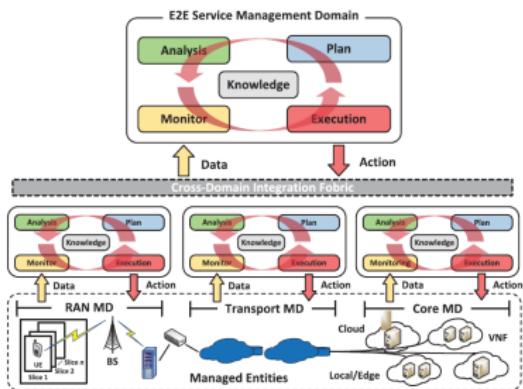


Figura 7: Estrutura proposta pelo ETSI ZSM<sup>7</sup>

<sup>7</sup>J. Zhang et al., «Intent-driven closed-loop control and management framework for 6G open RAN».

- **Definição:** Fusão de tecnologias digitais, físicas e biológicas, impulsionada pela conectividade e automação.
- **Componentes:** IoT, robótica avançada, *big data*, IA, e computação em nuvem.
- **Objetivo:** Produção mais inteligente, eficiente e flexível.

# O Papel do 5G na Indústria 4.0

- **Conectividade Onipresente:** Conexão confiável para um grande número de dispositivos e sensores.
- **Baixa Latência:** Comunicação quase em tempo real, essencial para automação.
- **Customização e Flexibilidade:** Produção adaptável às demandas do mercado.

# Casos de Uso do 5G na Indústria 4.0

- Automação e Robótica: Robôs conectados em tempo real.
- Manutenção Preditiva: Monitoramento contínuo de equipamentos para prever falhas.
- *Supply Chain Inteligente*: Integração e otimização em tempo real de toda a cadeia de suprimentos.

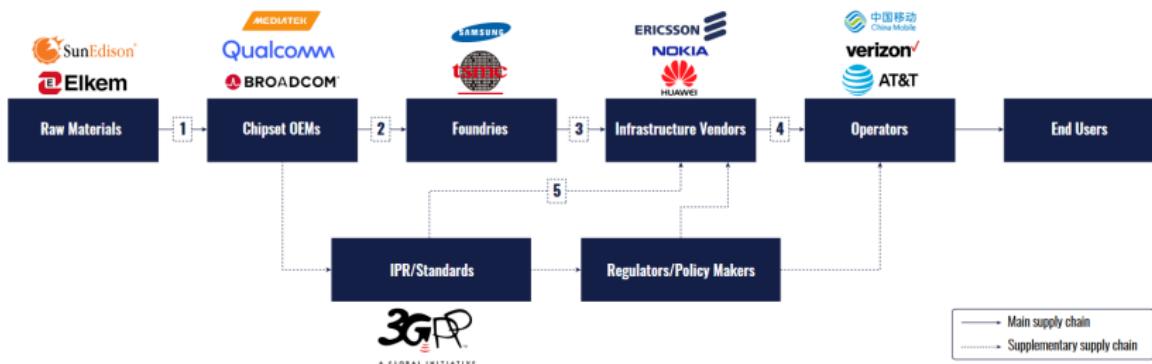


Figura 8: Cadeia de suprimentos - exemplos de empresas-chave<sup>8</sup>

<sup>8</sup>ABI Research, *The Vital Role of the Global Supply Chain for 5G*.

## Exemplos de Pesquisas

---

# Disseminação de Eventos Críticos por VANETS<sup>9</sup>

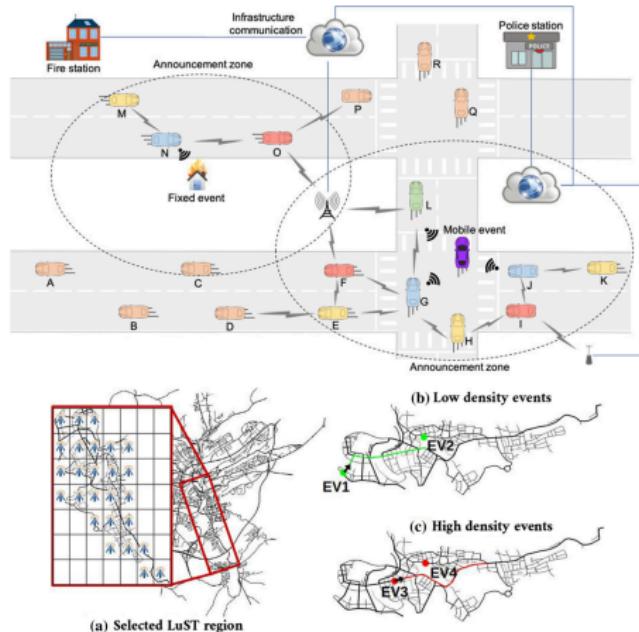


Figura 9: Topologia e cenário

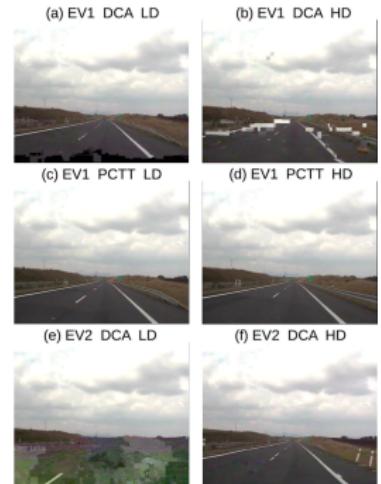


Figura 10: Resultados

# Orquestração e Gerência de Cloud-Network Slices<sup>10</sup>

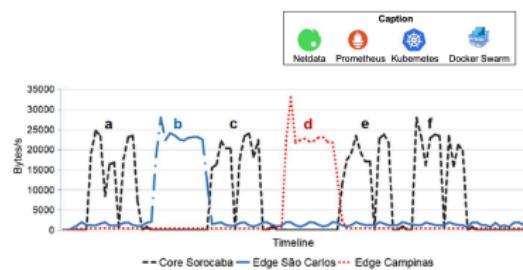
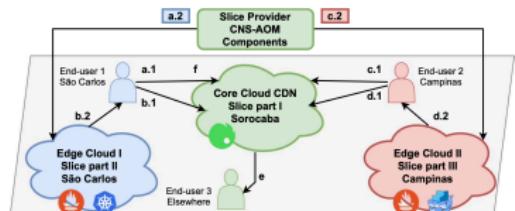


Figura 11: PoC VoD

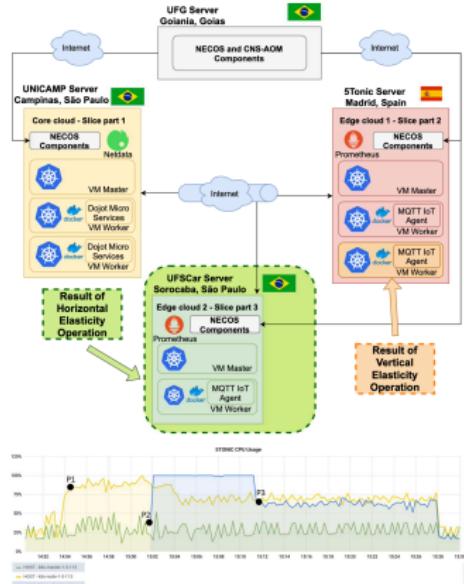
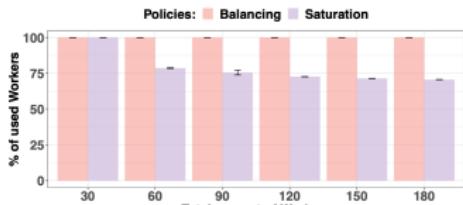
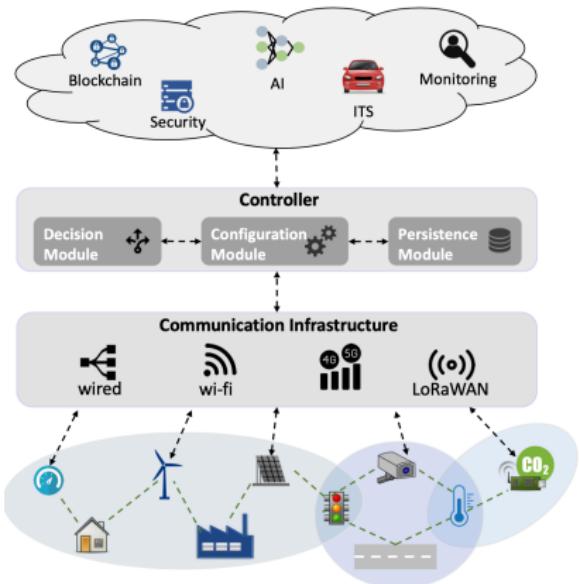


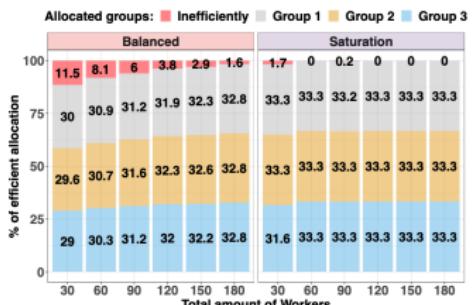
Figura 12: PoC IoT

<sup>10</sup> Rocha, Cesila, Maciel et al., «CNS-AOM: Design, Implementation and Integration of an Architecture for Orchestration and Management of Cloud-Network Slices».

# Alocação de Recursos em Redes IoT Multifuncionais<sup>11</sup>



(a) Percentage of used *Workers* (Eq. 1).



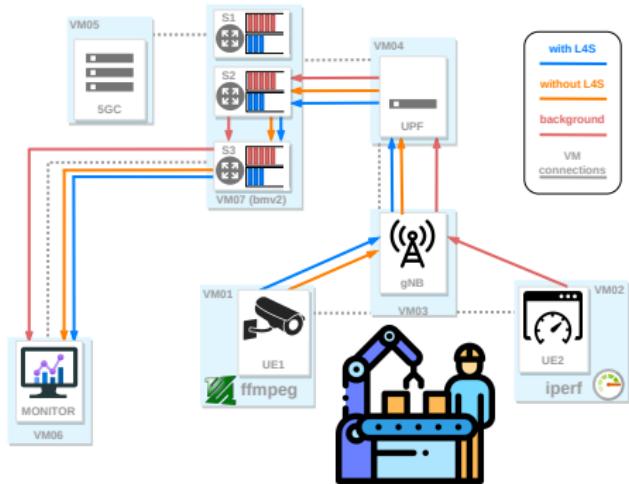
(b) Percentage of efficient allocation (Eq. 2).

Figura 13: Políticas de gerenciamento em redes IoT multifuncionais

<sup>11</sup>Silva et al., «**POSITRON: Efficient Allocation of Smart City Multifunctional IoT Devices Aware of Computing Resources**».

# Transmissão de Vídeo em Tempo Real via Rede 5G Privada

- Implementar ambiente de *testbed* que possibilite experimentação da aplicação de vídeo
- Investigar influência da rede de transporte no desempenho das aplicações
- Avaliar estratégias para aumento de desempenho na transmissão de vídeo em redes 5G privadas



**Figura 14:** Testbed de software com implementação *open source* da rede 5G (autoria própria)

## Tópicos Quentes de Pesquisa

---

# Tópicos Quentes de Pesquisa i

- **6G e Além:** Exploração de tecnologias para a próxima geração de redes móveis<sup>12</sup>
- **Inteligência Artificial Integrada:** Aplicação de AI/ML para otimização e automação de redes 5G<sup>13</sup>
- **Segurança e Privacidade:** Desafios na proteção de dados e na prevenção de ataques cibernéticos em ambientes 5G<sup>14</sup>
- **Edge Computing Avançado:** Expansão da capacidade de processamento na borda da rede para suportar aplicações em tempo real<sup>15</sup>

---

<sup>12</sup>Farid Salahdine, Tian Han e N. Zhang, «5G, 6G, and Beyond: Recent advances and future challenges».

<sup>13</sup>C. Zhang et al., «Artificial intelligence for 5G and beyond 5G: Implementations, algorithms, and optimizations».

<sup>14</sup>Fatima Salahdine, Tao Han e N. Zhang, «Security in 5G and beyond recent advances and future challenges».

<sup>15</sup>Sarah, Nencioni e Khan, «Resource allocation in multi-access edge computing for 5G-and-beyond networks».

- **Network Slicing Dinâmico:** Desenvolvimento de métodos para alocação e gerenciamento dinâmico de fatias de rede<sup>16</sup>
- **Integração com IoT Massivo:** Soluções para lidar com a conectividade de bilhões de dispositivos IoT<sup>17</sup>
- **Ambientes Virtuais e Realidade Aumentada/Virtual:** Potencial do 5G para suportar experiências imersivas de alta qualidade<sup>18</sup>

---

<sup>16</sup> Abdellatif et al., «Dynamic network slicing and resource allocation for 5G-and-beyond networks».

<sup>17</sup> Guo et al., «Enabling massive IoT toward 6G: A comprehensive survey».

<sup>18</sup> Krogfoss et al., «Quantifying the value of 5G and edge cloud on QoE for AR/VR».

## Conclusão

---

# Conclusão

- A integração SDN/NVF/5G é a base da transformação digital
- Flexibilidade e agilidade
  - SDN: Controle centralizado e programável da rede.
  - NFV: Virtualização de funções de rede para rápida implantação e escalabilidade.
- Redução de Custos Operacionais
  - Menor dependência de hardware proprietário, redução de OPEX e CAPEX.
- Automação e Controle em Tempo Real
  - SDN: Automação e otimização do tráfego em tempo real.
  - NFV: Implantação rápida e ajuste de serviços conforme as condições de rede.
- Dicas valiosas a seguir...

# Dica 1/6

- Aprenda a desenvolver software

"We reject: kings, presidents, and voting.  
We believe in: rough consensus and  
running code." David Clark, 1992.



Figura 15: Vida de programador #169

## Dica 2/6

- Identificar tópicos quentes de pesquisa

CFPs, acompanhar grupos de pesquisa, trabalhos futuros de teses e dissertações etc.

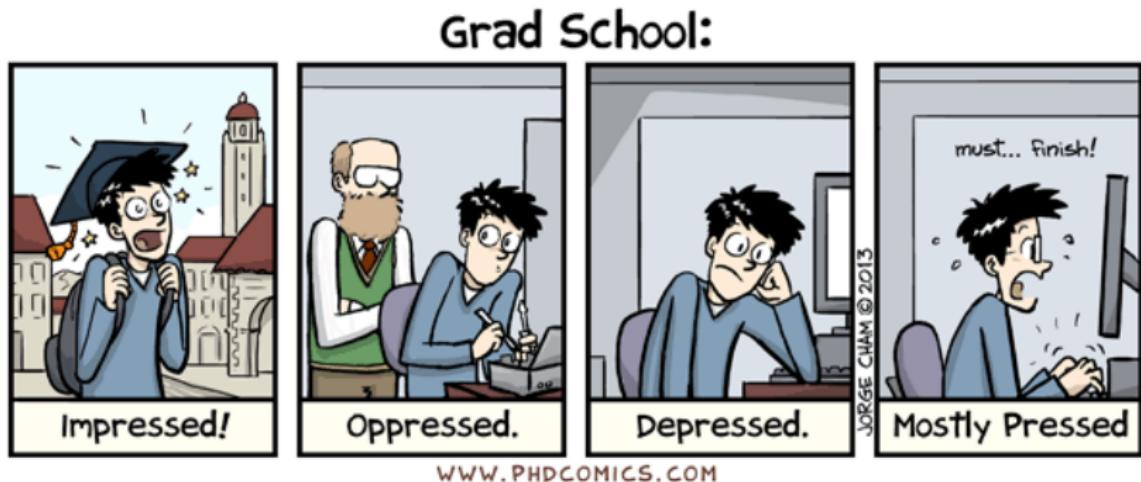


Figura 16: PhD Comics: “Professed?”

## Dica 3/6

- Publicar é muito importante (*publish or perish!!*)



THE BEST THESIS DEFENSE IS A GOOD THESIS OFFENSE.

Figura 17: Explain xkcd

## Dica 4/6

- Não brigue com seu orientador  
(Apesar de não ser um Jedi, respeite a opnião dele e dos mais experientes)



Figura 18: Screen Rant

## Dica 5/6

- Registre tudo (escrita), não deixe pra depois  
(Principalmente os resultados e as revisões de trabalhos relacionados!!)
- Faça reuniões constantes



Figura 19: Deviant Art

## Dica 6/6

- A caminhada é muitas vezes mais rica do que o final da trilha
- O processo de formação do profissional é talvez mais importante do que o documento final



Figura 20: Thy Mind O Man

# Referências

---

-  Abdellatif, Alaa Awad et al. «Dynamic network slicing and resource allocation for 5G-and-beyond networks». Em: 2022 IEEE wireless communications and networking conference (WCNC). IEEE. 2022, pp. 262–267.
-  ABI Research. *The Vital Role of the Global Supply Chain for 5G*. Rel. téc. White Paper. Oyster Bay, New York: ABI Research, 2021.
-  Andrade, E., A. Santos, P. D. Maciel et al. «Analyzing cooperative monitoring and dissemination of critical mobile events by VANETs». Em: *Wireless Networks* 27.6 (2021), pp. 1981–1997. DOI: [10.1007/s11276-021-02551-z](https://doi.org/10.1007/s11276-021-02551-z).

-  Andrade, Everaldo et al. «Quality Assessment of VANETs-Supported Video Dissemination of Critical Urban Events». Em: *IEEE INFOCOM 2021 - IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS)*. 2021, pp. 1–6. DOI: [10.1109/INFOCOMWKSHPS51825.2021.9484551](https://doi.org/10.1109/INFOCOMWKSHPS51825.2021.9484551).
-  Guo, Fengxian et al. «Enabling massive IoT toward 6G: A comprehensive survey». Em: *IEEE Internet of Things Journal* 8.15 (2021), pp. 11891–11915.
-  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).
-  Krogfoss, Bill et al. «Quantifying the value of 5G and edge cloud on QoE for AR/VR». Em: *2020 Twelfth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX)*. IEEE. 2020, pp. 1–4.

-  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).
-  Rocha, A. L. B., C. H. Cesila, P. D. Maciel et al. «CNS-AOM: Design, Implementation and Integration of an Architecture for Orchestration and Management of Cloud-Network Slices». Em: *Journal of Network and Systems Management* 30.1 (2022), p. 34. DOI: [10.1007/s10922-022-09641-z](https://doi.org/10.1007/s10922-022-09641-z).

-  Salahdine, Farid, Tian Han e Ning Zhang. «**5G, 6G, and Beyond: Recent advances and future challenges**». Em: *Annals of Telecommunications* 78.5-6 (2023), pp. 525–549. DOI: [10.1007/s12243-022-00938-3](https://doi.org/10.1007/s12243-022-00938-3).
-  Salahdine, Fatima, Tao Han e Ning Zhang. «**Security in 5G and beyond recent advances and future challenges**». Em: *Security and Privacy* 6.1 (2023), e271.
-  Sarah, Annisa, Gianfranco Nencioni e Md Muhidul I Khan. «**Resource allocation in multi-access edge computing for 5G-and-beyond networks**». Em: *Computer Networks* 227 (2023), p. 109720.
-  Silva, Leandro H. B. da et al. «**POSITRON: Efficient Allocation of Smart City Multifunctional IoT Devices Aware of Computing Resources**». Em: *Journal of Internet Services and Applications* 15.1 (2024), pp. 112–124. DOI: [10.5753/jisa.2024.3833](https://doi.org/10.5753/jisa.2024.3833).

-  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).
-  Zhang, Chuan et al. «Artificial intelligence for 5G and beyond 5G: Implementations, algorithms, and optimizations». Em: *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems* 10.2 (2020), pp. 149–163.
-  Zhang, Jingwen et al. «Intent-driven closed-loop control and management framework for 6G open RAN». Em: *IEEE Internet of Things Journal* (2023).

**Sejam bem-vindos!!**