



# SFI2 - SLICING FUTURE INTERNET INFRASTRUCTURES

## MULTIINSTITUTIONAL COLLABORATIVE RESEARCH PROJECT

### Projeto SFI2 e Experimentação

Tereza Cristina M. B. Carvalho – terezacarvalho@usp.br



<https://sites.google.com/view/sfi2/home>



# Agenda

- Objetivos do Projeto
- Instituições Participantes
- Contextualização
- Eficiência Energética
- Orquestração e Fatiamento de Redes
- Considerações Finais



# Projeto SFI2

- Objetivo:

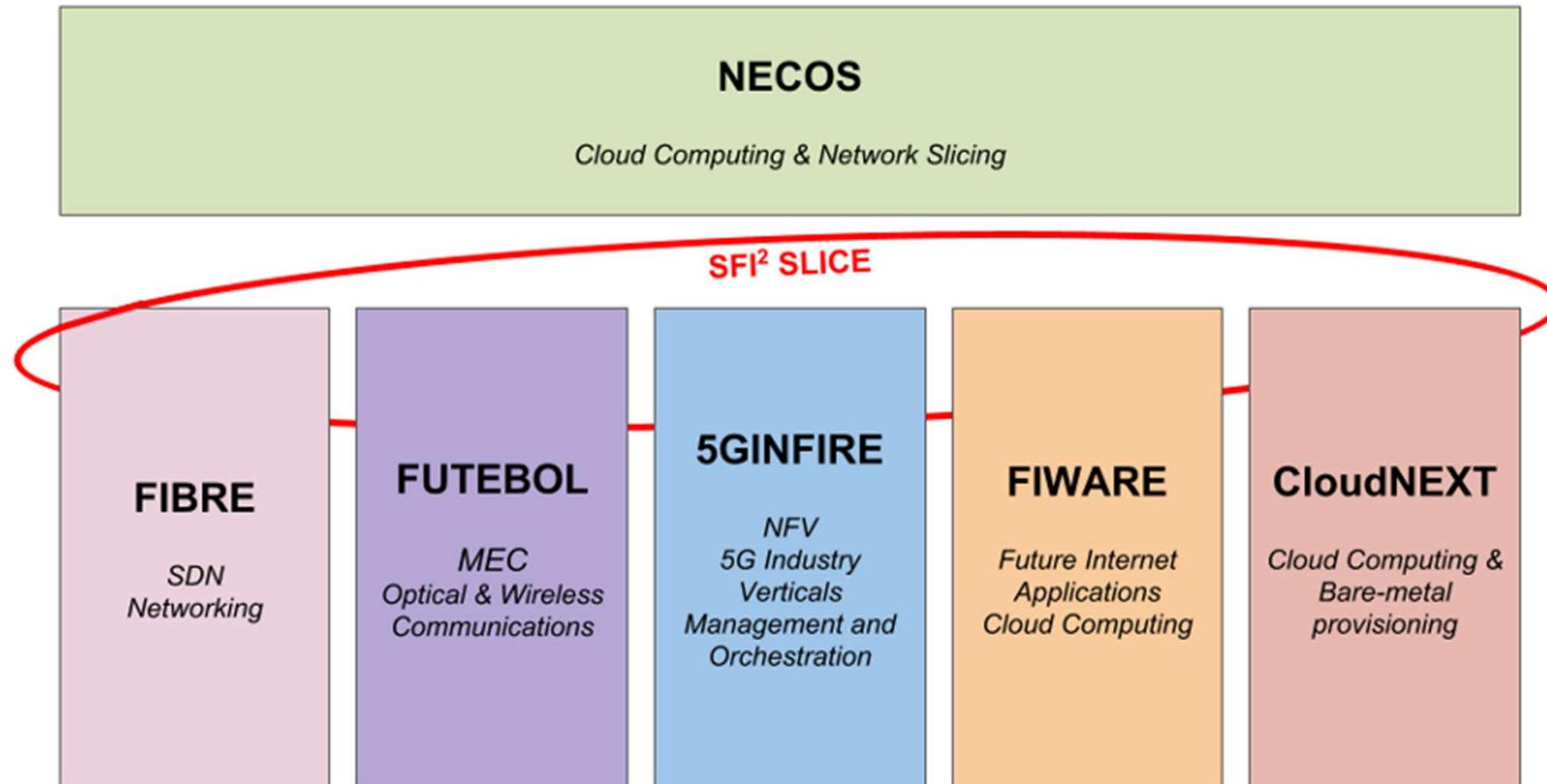
- O SFI2 visa desenvolver uma **solução de fatiamento de rede** (*slicing*) para infraestruturas de **rede de experimentação** em **múltiplos domínios**.
- O SFI2 faz uso de **técnicas de aprendizado de máquina** no fatiamento de infraestruturas de rede experimentais em múltiplos domínios para permitir a orquestração e a alocação de recursos de forma mais eficiente e automática.



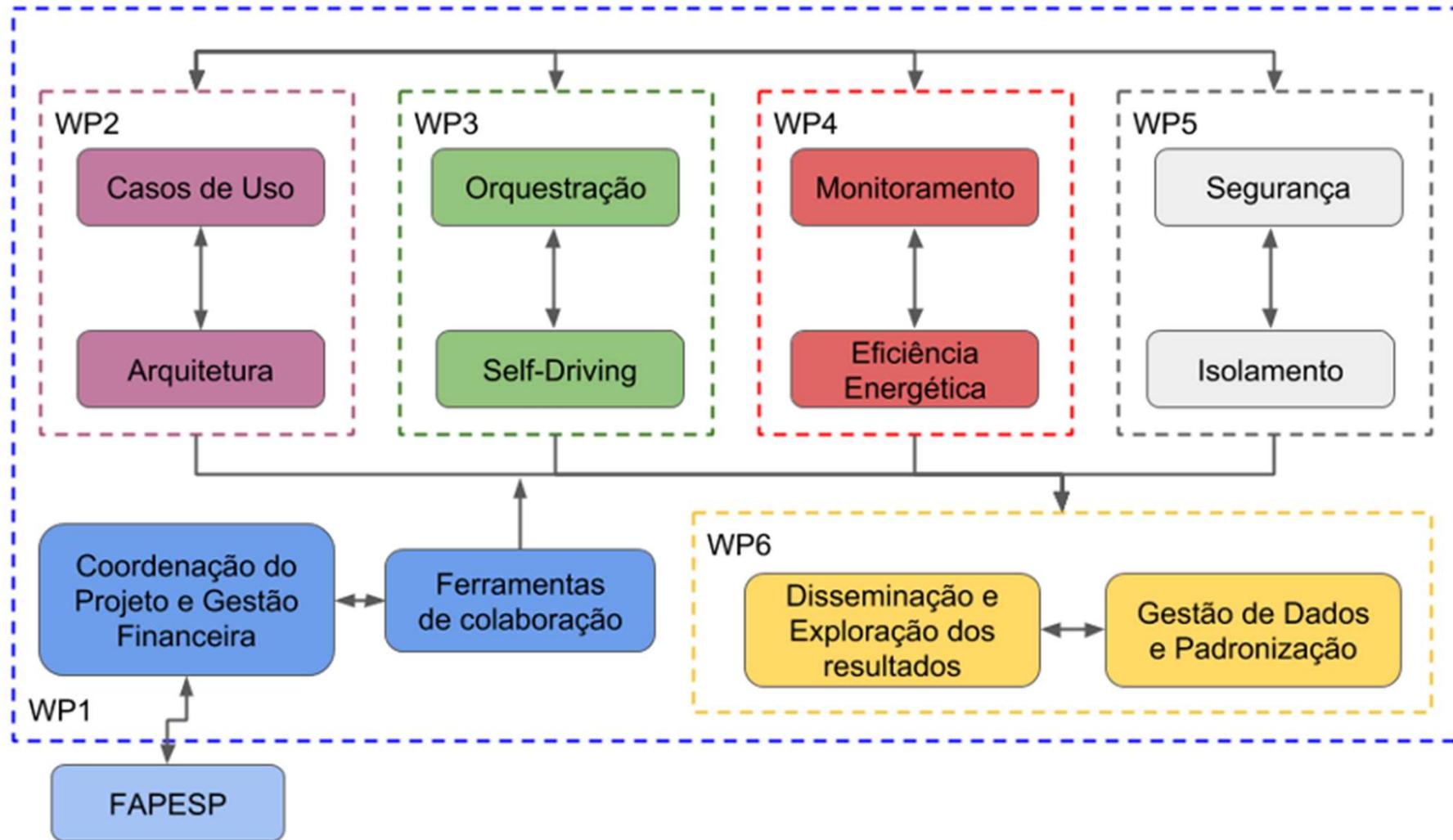
# Projeto SFI2 - Participantes

- USP - Universidade de São Paulo
- UFU - Universidade Federal de Uberlândia
- UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro
- UNIFACS - Universidade Salvador
- UFPA - Universidade Federal do Pará
- UNISINOS - Universidade do Vale do Rio dos Sinos
- UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais
- UFPE - Universidade Federal de Pernambuco
- UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- UFG - Universidade Federal de Goiás
- UFBA - Universidade Federal da Bahia
- UFF - Universidade Federal Fluminense
- UFES - Universidade Federal do Espírito Santo
- UFV - Universidade Federal de Viçosa
- PUCRS - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
- UFC - Universidade Federal do Ceará
- RNP - Rede Nacional de Ensino e Pesquisa

# Slice Multi-domínio



# Organização do SFI2



# Network Slicing with Machine Learning – FIBRE-NG



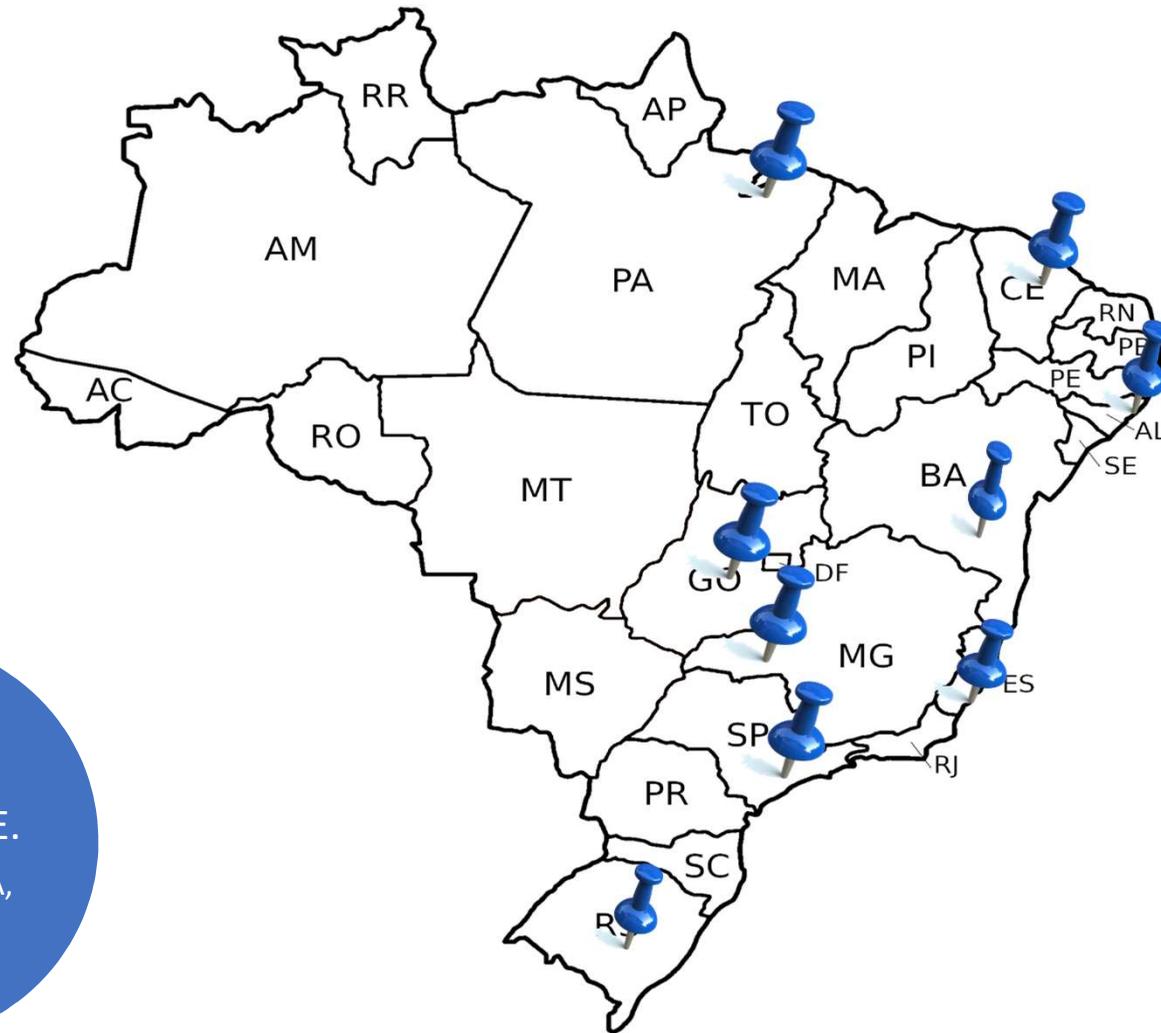
Infraestrutura  
de Slicing



Backbone  
Fibre

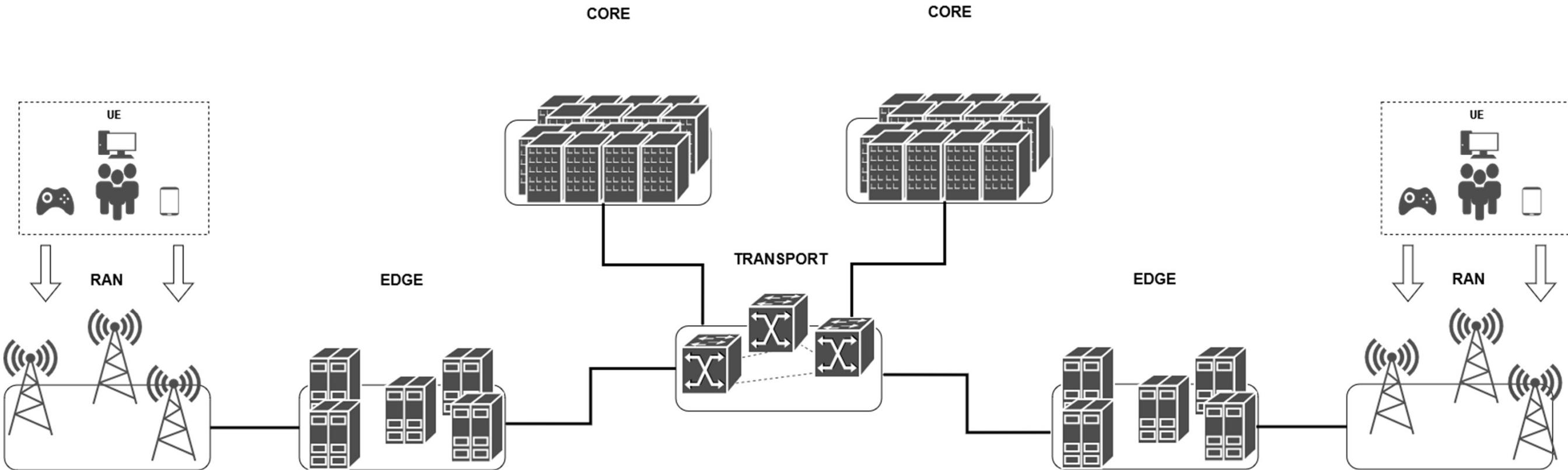


Pseudo  
Domínios –  
Ilhas do FIBRE.  
• UFU, UFG, UFPA,  
USP , UFPE,  
Unisinos...

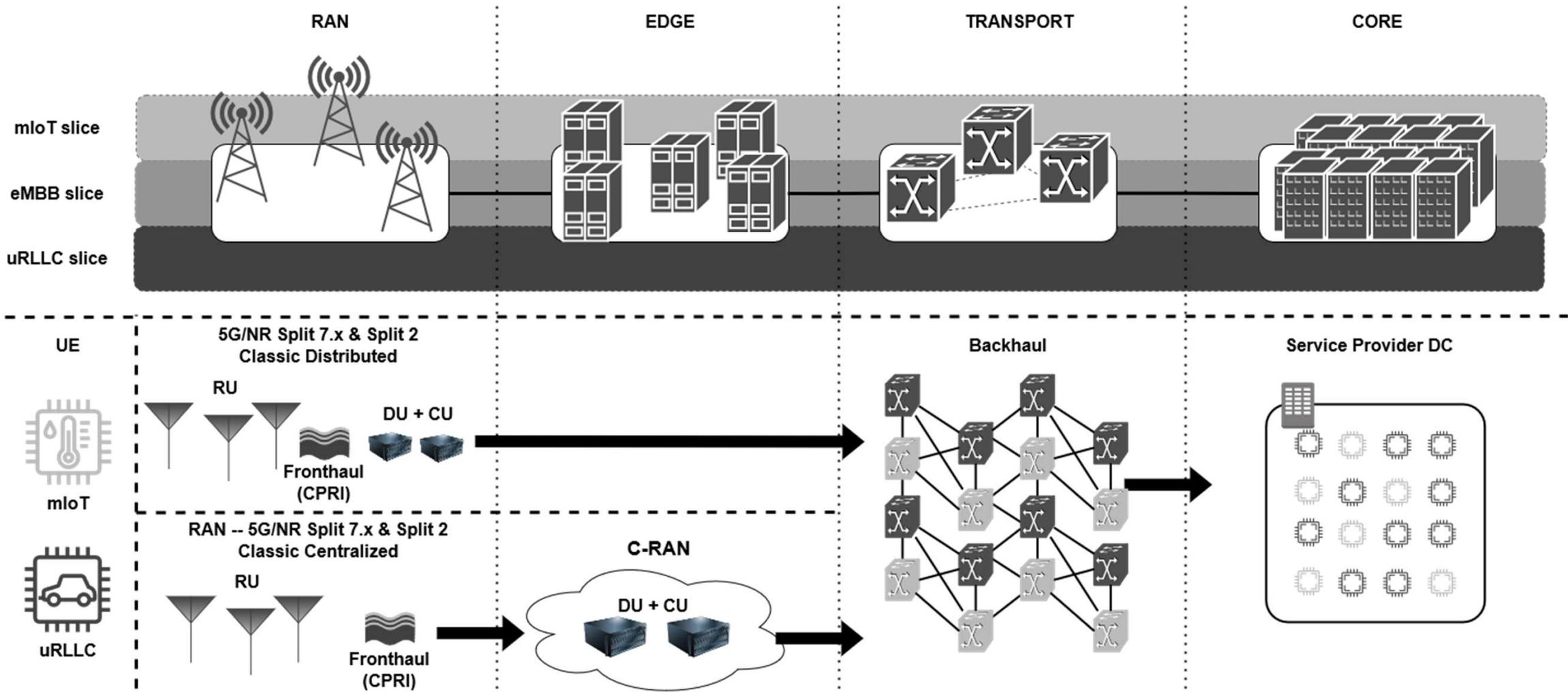


# Contextualização

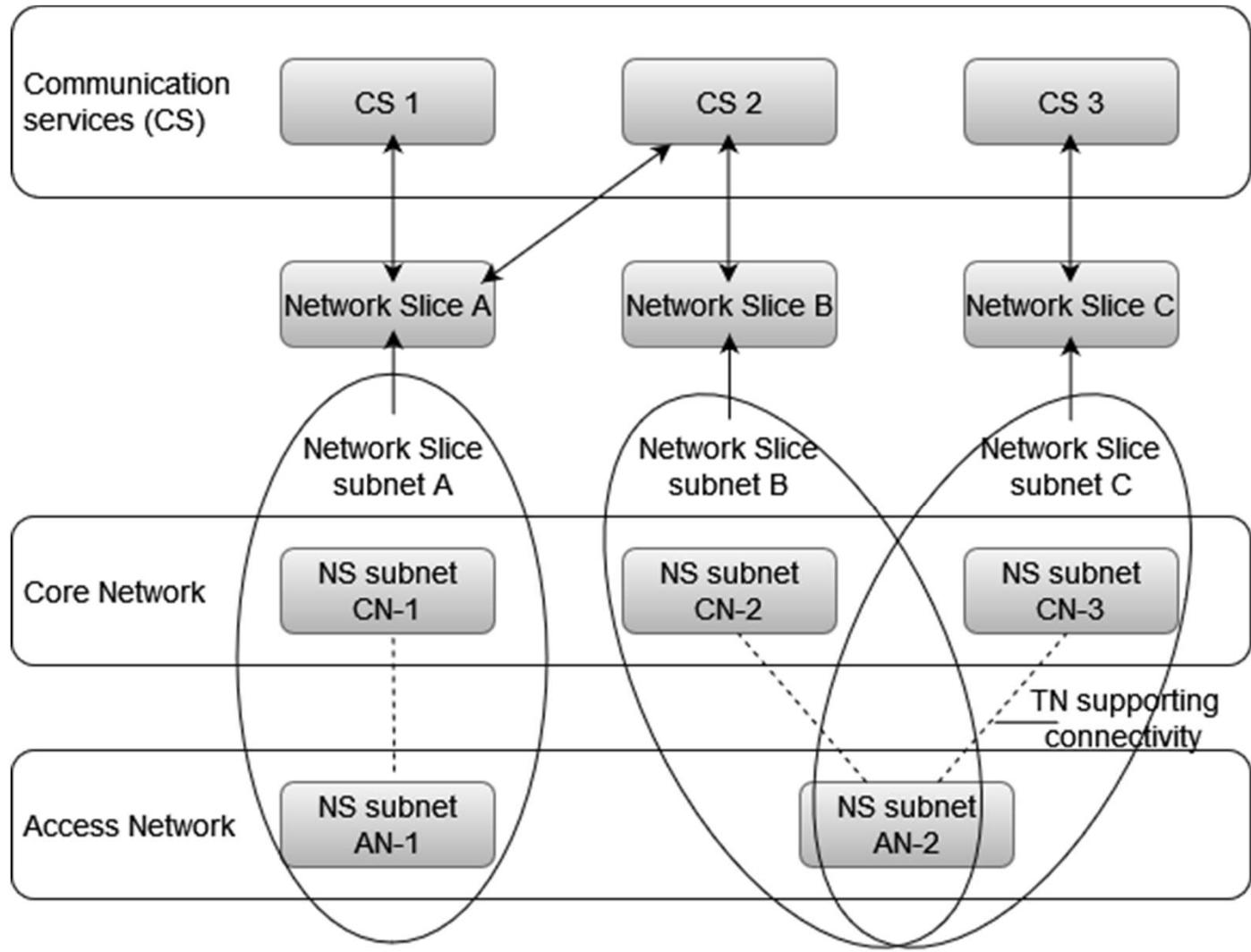
# Introdução e Contextualização



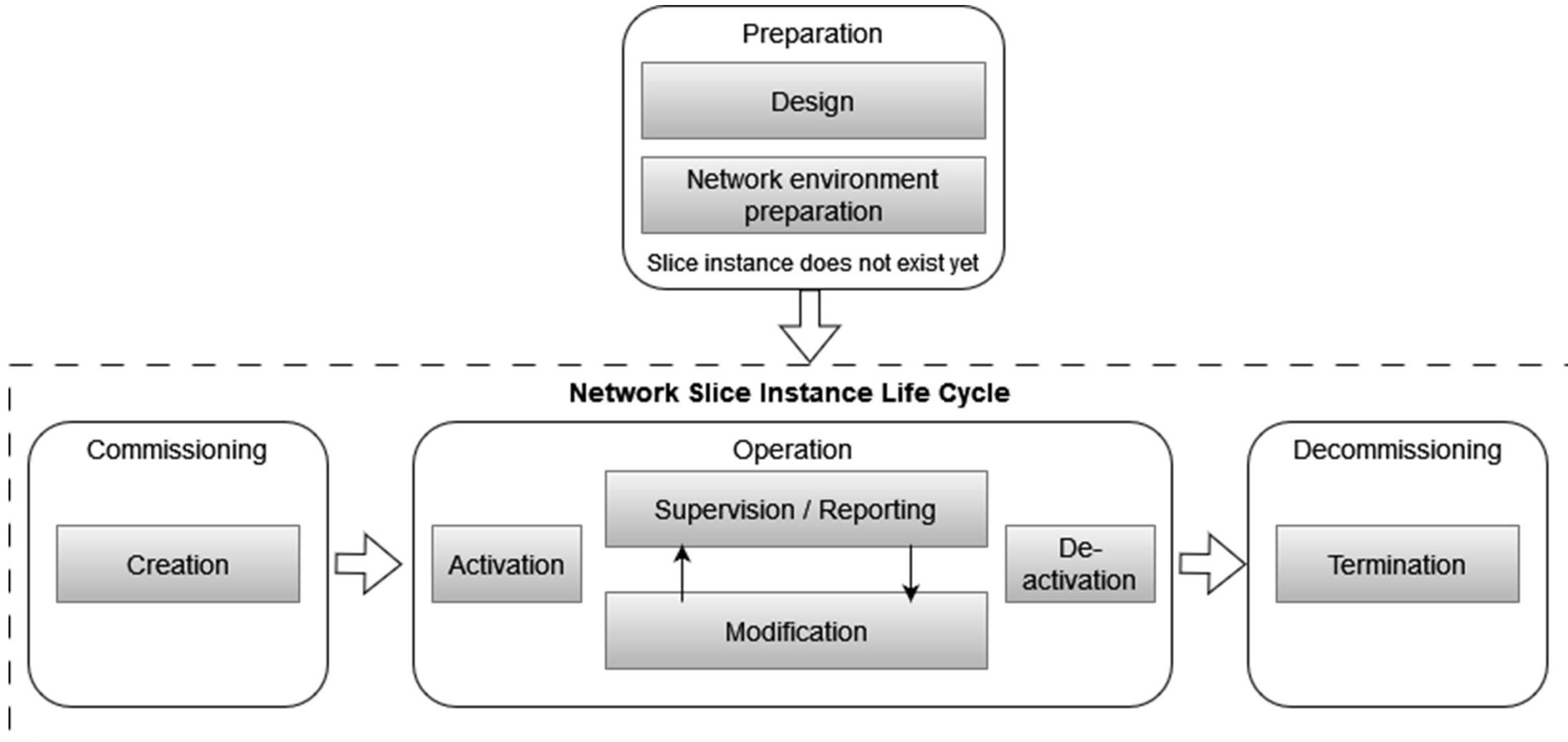
# Network Slicing e 5G



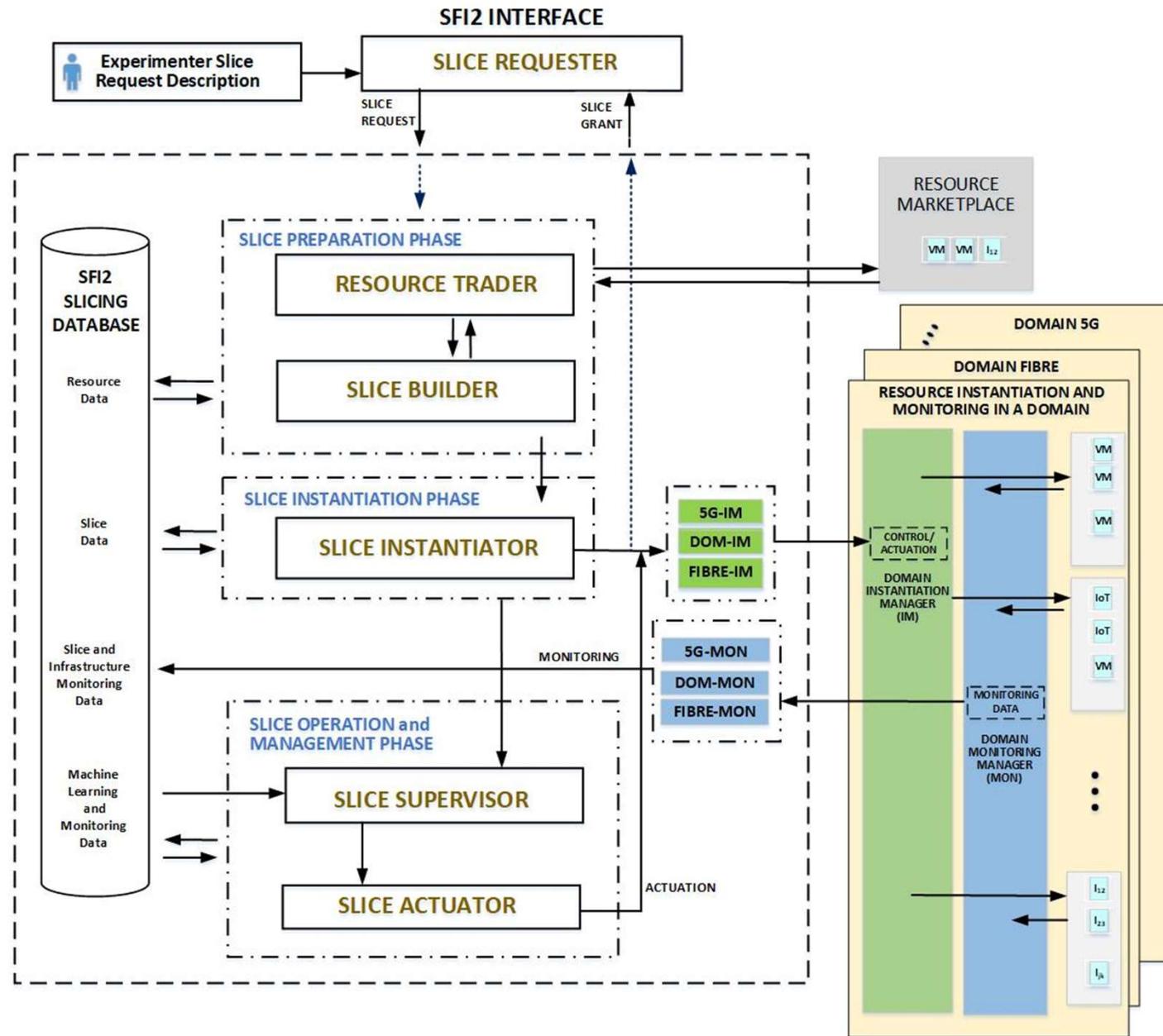
# Network Slicing e 5G



# Network Slicing e 5G



# SFI2 Slicing Architecture





# Eficiência Energética

## Network Slicing

# EE – Infraestruturas com Slices de Rede



- **Instâncias de Slices:**

- **Tipos de Slices:**

- **eMBB** (*Enhanced Mobile Broadband*) – Banda ultra-larga e baixa latência.

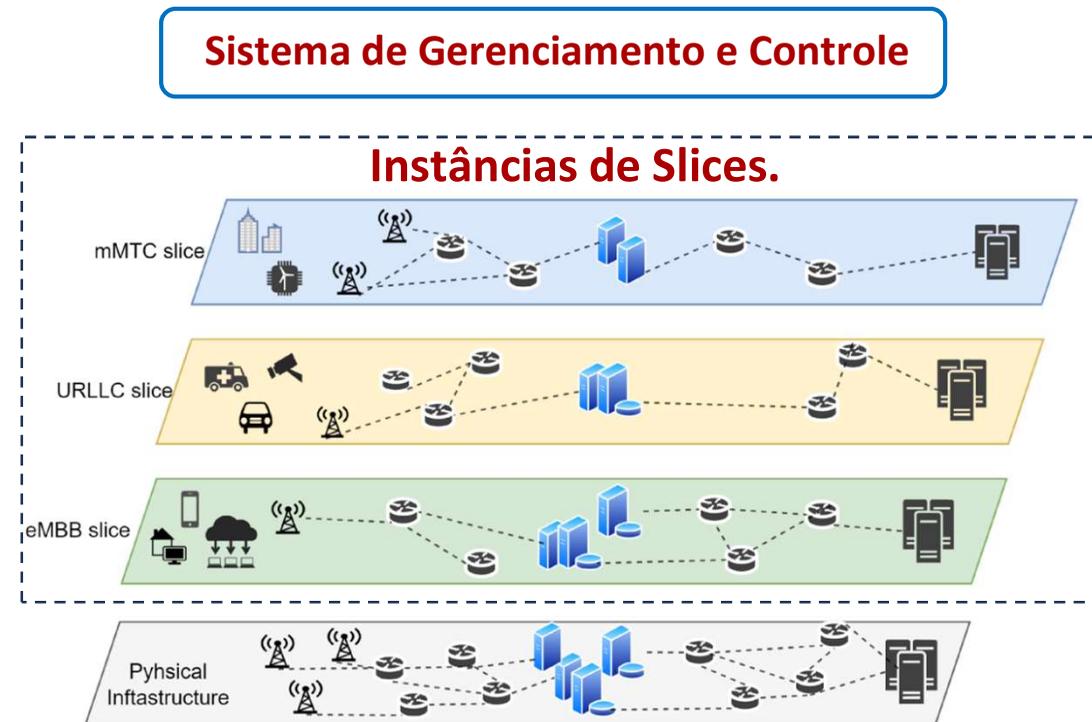
- **URLLC** (*Ultra-Reliable Low Latency Communication*) – Ultra alta confiabilidade e ultra baixa latência.

- **mMTC** (*massive Machine Type Communications*) – número massivo de conexões para suportar IoT.

- **Plano de Controle:** Aloca recursos para os slices de rede

- **Plano de Dados:** Provê os identificadores dos *slices* de rede e encaminha os pacotes

- **Sistema de Gerenciamento e Controle:** gerencia o ciclo de vida do *slice* (criação, monitoração, operação e remoção).



Exemplo: Redes 5G

# EE – Infraestruturas com Slices de Rede



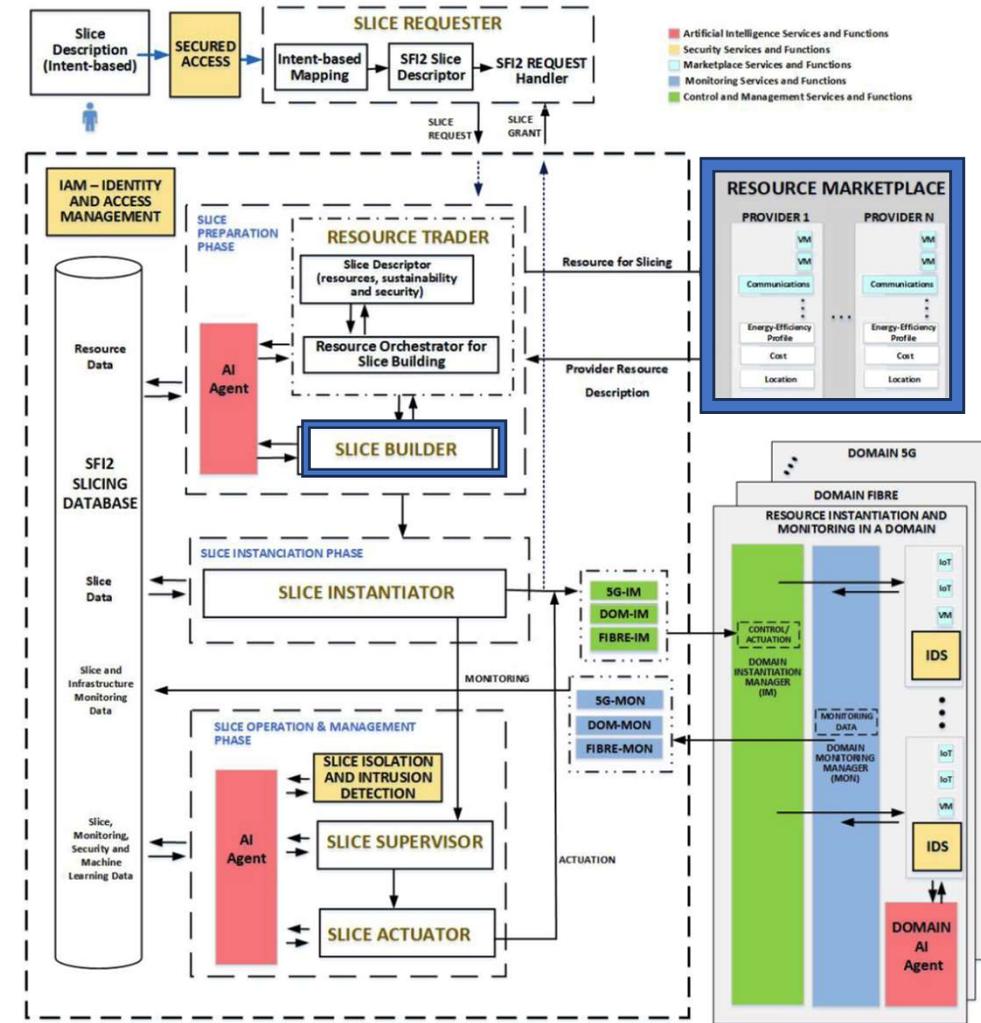
- *Network Slicing*

Eficiência energética direcionada para diferentes fases do ciclo de vida dos *slices*:

- Preparação.
- **Instalação/Implantação**
- **Operação dos slices**

Com necessidades energéticas diferentes.

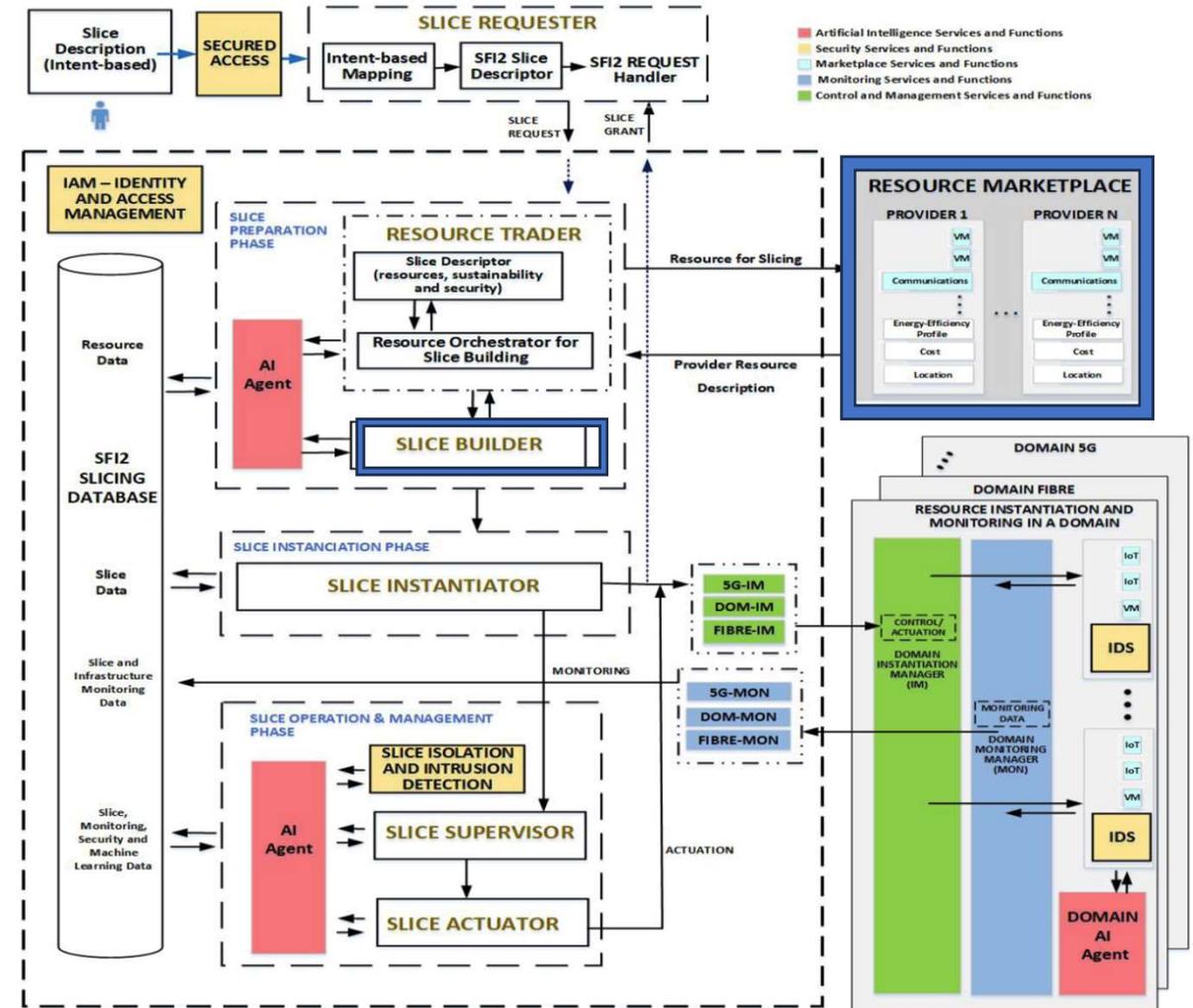
- Seleção de provedor de slices que use **fonte de energia renovável**.



# EE – Infraestruturas com Slices de Rede



- Network Slicing – Operação:
  - Estabelecimento de **rotas** de rede com o objetivo de **reduzir o custo** de comunicação;
  - **Alocação eficiente dos recursos computacionais**;
  - Aplicação de soluções locais para aumentar a **eficiência energética** (por exemplo, *switches* com tecnologia adequada, suporte ao modo “sleep”);
  - **Priorização** de recursos de fornecedores que utilizam **energia renovável**.



# Experimentação

## Eficiência Energética

# Agenda

- Background
- Objetivos
- Ambiente de Experimentação
- Cenários de Testes
- Resultados
- Direções Futuras

# Background

Existem inúmeras técnicas de eficiência energética que podem ser aplicadas em sistemas de network slicing.

De acordo com a taxonomia proposta no projeto, pode-se implementar tais técnicas por meio de:

- **Infra-estrutura e seus recursos físicos.**
- **Estabelecimento de rotas e circuitos.**
- **Operação dos slices.**

Dentre essas técnicas, destaca-se o **posicionamento das VNFs** (*VNF placement*). Pode ser aplicada nas **redes de acesso, edge e core.**

# Objetivos

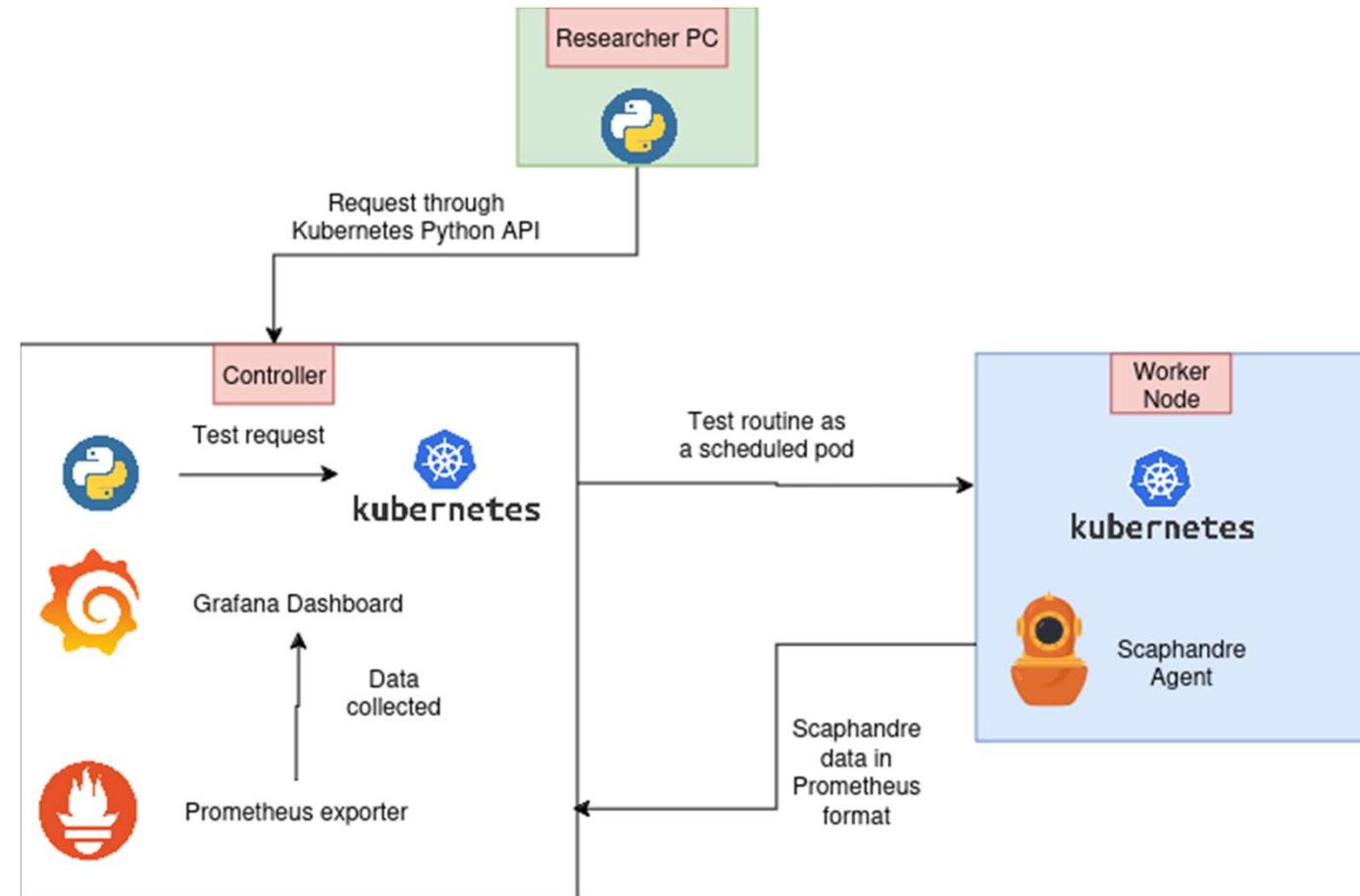
- **Modelar o consumo de energia de um processo em função da competição por recursos enfrentada pelo “posicionamento das VNFs” nos servidores da rede.**
- Sabe-se que o consumo de energia de um computador cresce de maneira linear em função ao uso de seu processador

$$P_u = (P_{max} - P_{idle})u + P_{idle}$$

- $P_u$  - Consumo de energia do servidor em função de  $u$ , que representa o uso da CPU
- $P_{idle}$  e  $P_{max}$  são constantes que representam, respectivamente, o consumo de energia médio quando o servidor está ocioso e em sua capacidade máxima
- No entanto, faltam modelagens que considerem o consumo de energia de processos em um **ambiente de competição** pela CPU
  - Esse tipo de modelagem pode ser usada tanto para a cálculos de precificação quanto para consolidação de VNFs ou VMs

# Ambiente de Experimentação

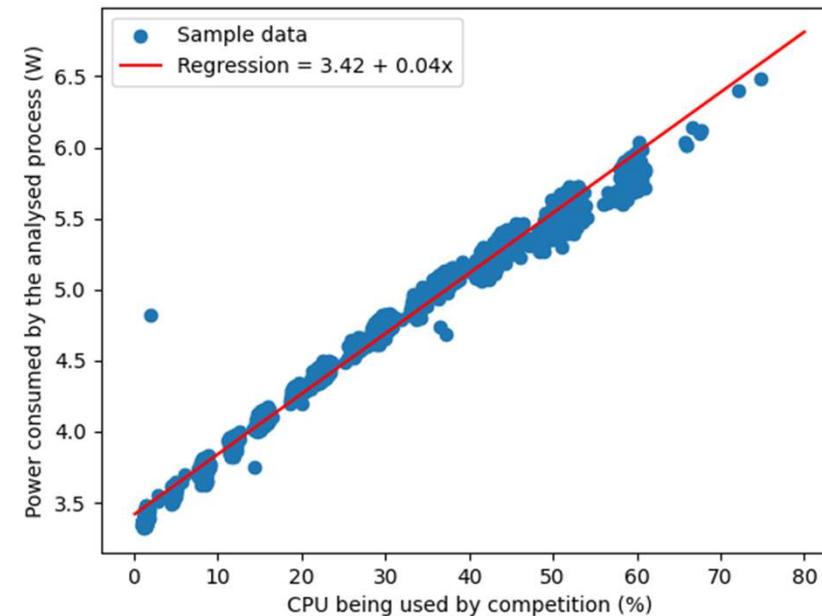
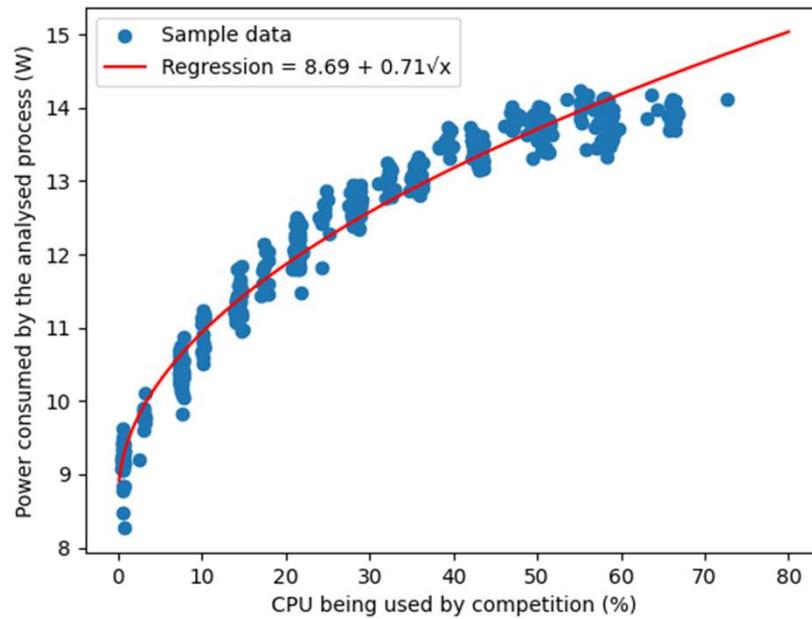
- Cluster Kubernetes
  - Controller + Workers
- Monitoramento:
  - Prometheus + Scaphandre (consumo de energia via Intel RAPL) + Grafana
- Scripts para deployment do cluster e dos experimentos.
- Escalabilidade para possibilitar futuros **experimentos de posicionamento e consolidação de VNFs** habilitando cadeias de funções (VNF Chain) para fatias de redes.



# Cenários de Testes

- Os cenários de testes são executados em formatos de *Jobs*, *Pods* e *Containers* no Kubernetes, possibilitando a coleta e análise dos dados via agentes do prometheus + scaphandre
- Para verificar o **consumo de energia de um processo** em função da competição pelo recurso, foram definidos os seguintes experimentos:
  - **Cenário de validação** - Aplica-se uma carga de trabalho constante ao processador → O consumo de energia esperado é constante
  - **Cenário de concorrência** - Aplica-se uma carga de trabalho constante e outra carga de trabalho com um formato conhecido (e.g., senoide) → Espera-se que a segunda carga de trabalho crie um *overhead* no consumo de energia da carga constante (cujo consumo de energia SEM concorrência é constante)
  - **Cenário de concorrência gradativa** - Aplica-se uma carga de trabalho constante que executa durante toda a duração do experimento. De maneira concorrente, aplicam-se novas cargas com o passar do tempo. Cada uma responsável pelo consumo de uma fatia do processador (e.g., 5%)

# Resultados



- Durante a execução dos experimentos, notou-se que a função que melhor descreve o crescimento no consumo de energia em função da competição pelo recurso enfrentada por um processo é uma **raiz**.
- No entanto, percebeu-se que o número de núcleos dos processadores das máquinas *Workers* impacta nessa função. Quando os *Pods* são instanciados em máquinas com até 6 núcleos, o perfil da função resultante é **linear**.
- Foram realizados experimentos ativando e desativando os núcleos dos *workers* validando esta hipótese

# Direções Futuras

- Usar as descobertas em experimentos de **posicionamento e consolidação de VNFs** (pensando em um cenário de encadeamento de funções para fatias de redes)
- Realizar **experimentos para correlacionar métricas da rede** (e.g., vazão, latência) com eventuais impactos no consumo de energia
  - Em especial para ambientes distribuídos



# Publicações

- MARTINS, JOBERTO S. B. ; CARVALHO, TEREZA C. ; MOREIRA, RODRIGO ; BOTH, CRISTIANO BONATO ; DONATTI, ADNEI ; CORRÊA, JOÃO H. ; SURUAGY, JOSÉ A. ; CORRÊA, SAND L. ; ABELEM, ANTONIO J. G. ; RIBEIRO, MOISÉS R. N. ; NOGUEIRA, JOSÉ-MARCOS S. ; MAGALHÃES, LUIZ C. S. ; WICKBOLDT, JULIANO ; FERRETO, TIAGO C. ; MELLO, RICARDO ; PASQUINI, RAFAEL ; SCHWARZ, MARCOS ; SAMPAIO, LEOBINO N. ; MACEDO, DANIEL F. ; DE REZENDE, JOSÉ F. **Enhancing Network Slicing Architectures With Machine Learning, Security, Sustainability and Experimental Networks Integration.** IEEE Access, v. 11, p. 69144-69163, 2023.
- DONATTI, ADNEI ; CORREA, SAND L. ; MARTINS, JOBERTO S. B. ; ABELEM, ANTONIO ; BOTH, CRISTIANO B. ; SILVA, FLAVIO ; SURUAGY, JOSÉ A. ; PASQUINI, RAFAEL ; MOREIRA, RODRIGO ; CARDOSO, KLEBER V. ; CARVALHO, TEREZA C. . **Survey on Machine Learning-Enabled Network Slicing: Covering the Entire Life Cycle.** IEEE Transactions on Network and Service Management, v. 20, p. 1-1, onic. Citações:2

# Experimentação

Soluções de Orquestração e Fatiamento de  
Redes

# Agenda

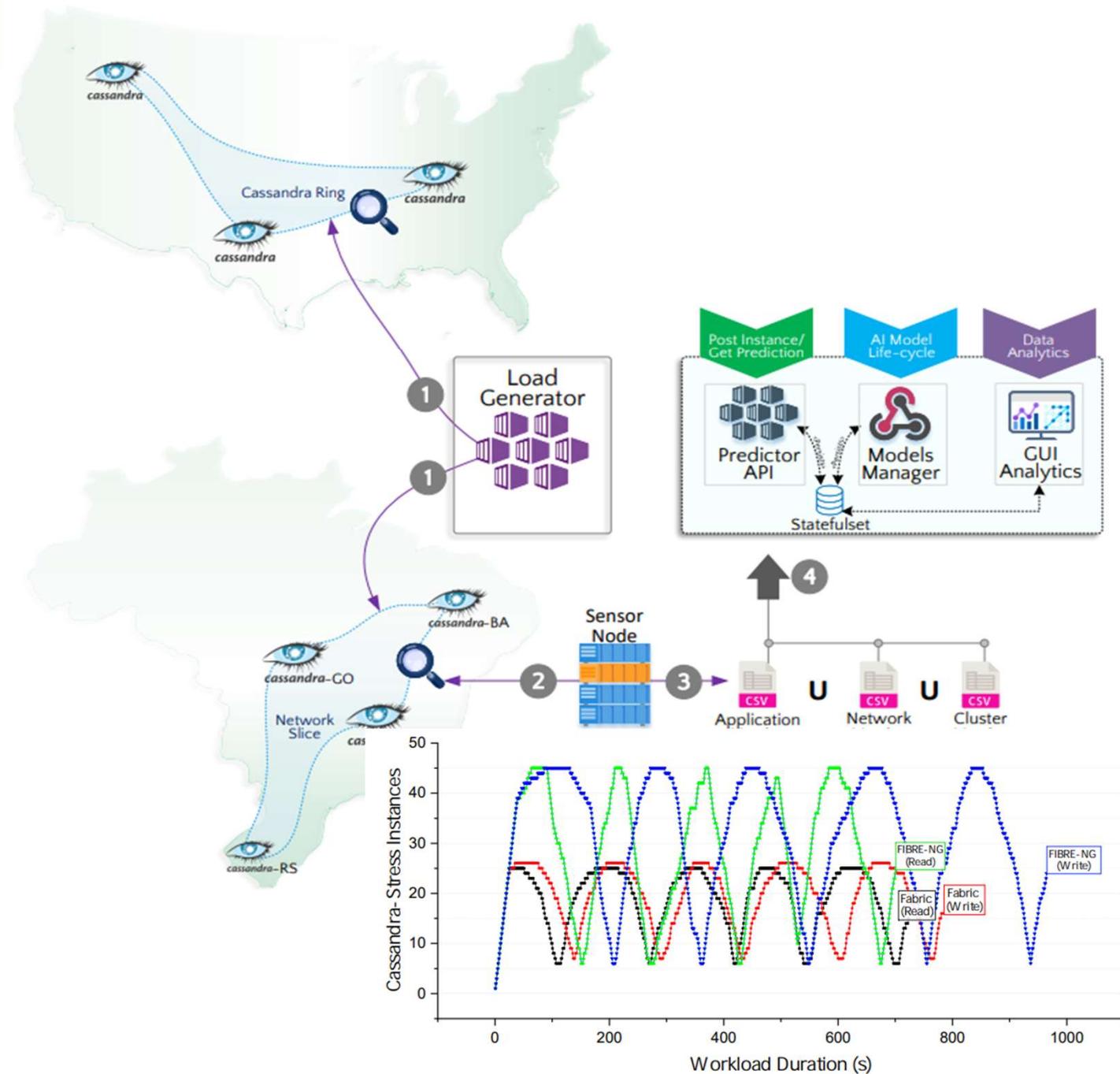
- **Experimentação 1:** Orquestração de Fatias de Rede com Aprendizado de Máquina.
- **Experimentação 2 :** Orquestração para fatias de rede com requisitos de baixa latência.
- **Experimentação 3:** Orquestração inteligente para aplicações que requerem banda larga.

# Experimentos e Validações

- **Experimentação (1):** Orquestração de Fatias de Rede com Aprendizado de Máquina
- **Objetivos:** Validar a capacidade de generalização de **algoritmos inteligentes em cenários realísticos** (*testbeds* de larga escala).
- **Método:** Implantação de um banco de dados distribuído (Cassandra) e desenvolvimento de algoritmos para **estimativa de latência** em operações sobre a aplicação.

# Cenário de Testes

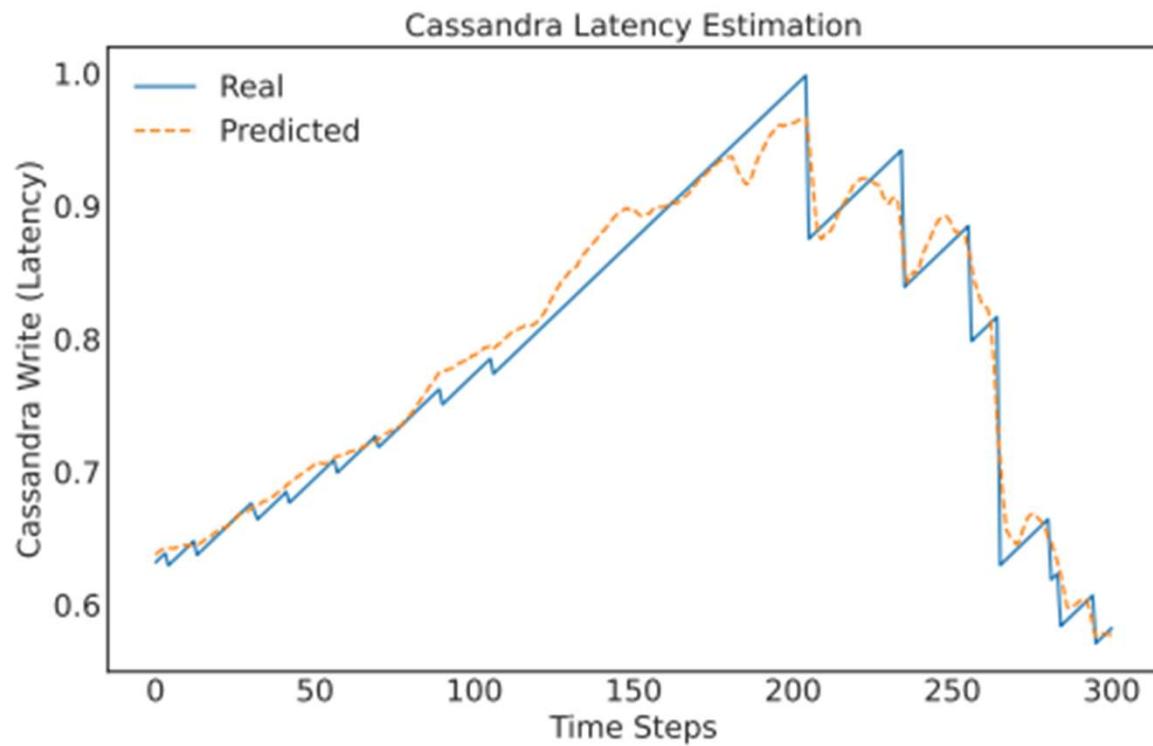
- Ambiente Kubernetes
- Agente Gerador de Cargas (senoidal)
- Nó Sensor para *baseline*
- Captura das latências
- Estimativa das latências entre os nós distribuídos por meio de ML



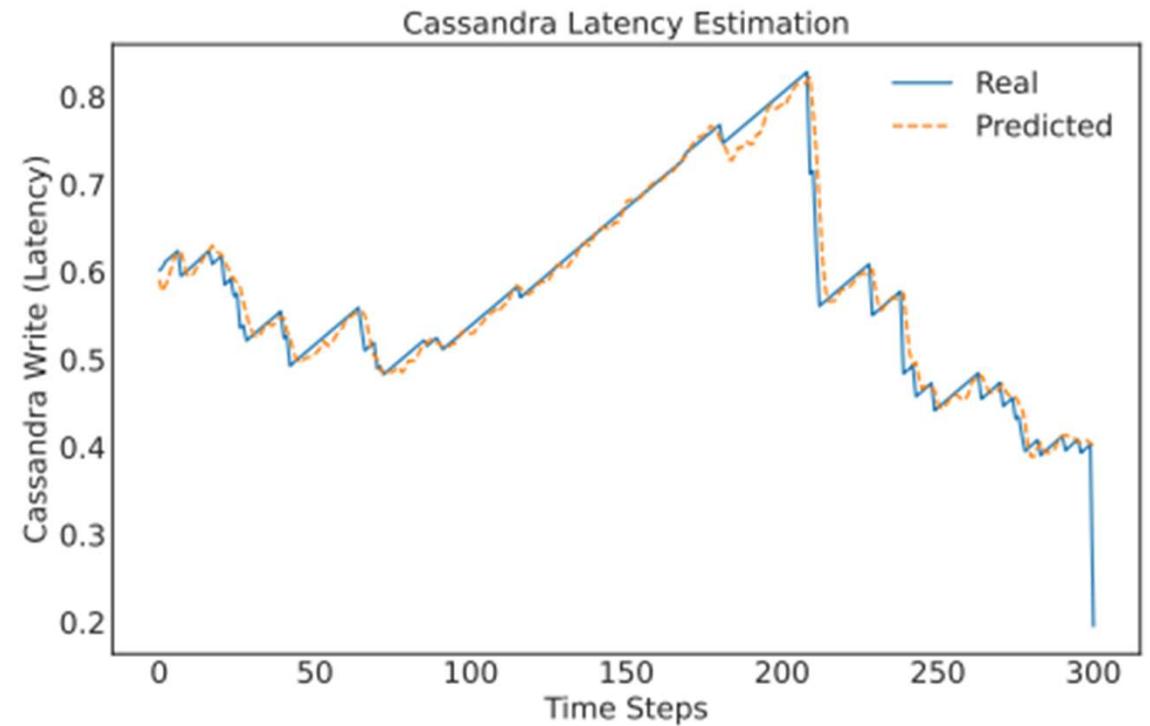
# Experimentação e Validações

- Resultados – Experimento #1
- Geração de um *dataset* com amostras reais de latência em operações de leitura e escrita em banco de dados distribuídos sobre dois *testbeds* (Fabric e FIBRE-NG)
- Validação da capacidade de generalização de algoritmos de ML para redes realistas (*testbeds*).

# Resultados – Experimento #1



(c) Fabric: Write Latency Forecasting by TCN.



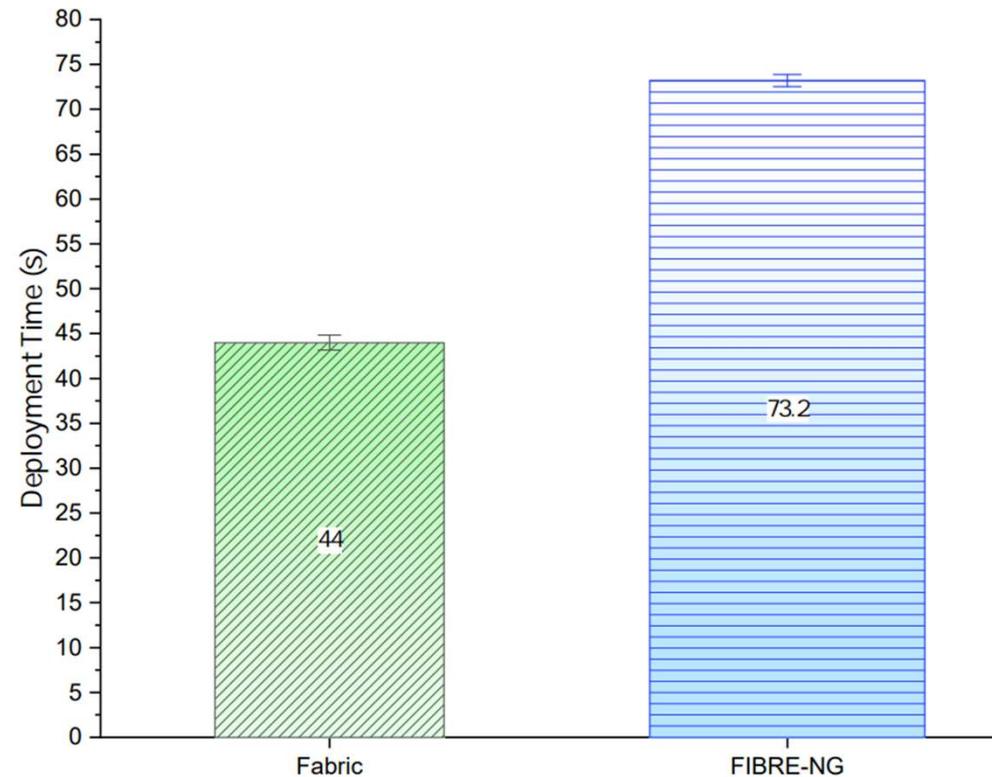
(a) FIBRE-NG: Write Latency Forecasting by ResNet.

# Experimentação e Validações

- **Experimentação (2)** : Orquestração para fatias de rede com **requisitos de baixa latência**.
- **Objetivos:** validar como *testbeds* podem ser utilizados para atender aplicações com esses requisitos.
- **Método:** benchmarking de tempo de implantação e serviço de fatias de rede em diferentes testbeds.
- **Tecnologias:** Kubernetes e monitoramento fino dos nós.

## Resultados – Experimento #2

Embora mais lento para *deployment*, o FIBRE-NG permitiu **menor latência** entre aplicações em nós distribuídos.



**Deployment Time Comparison: FIBRE-NG and Fabric testbeds.**

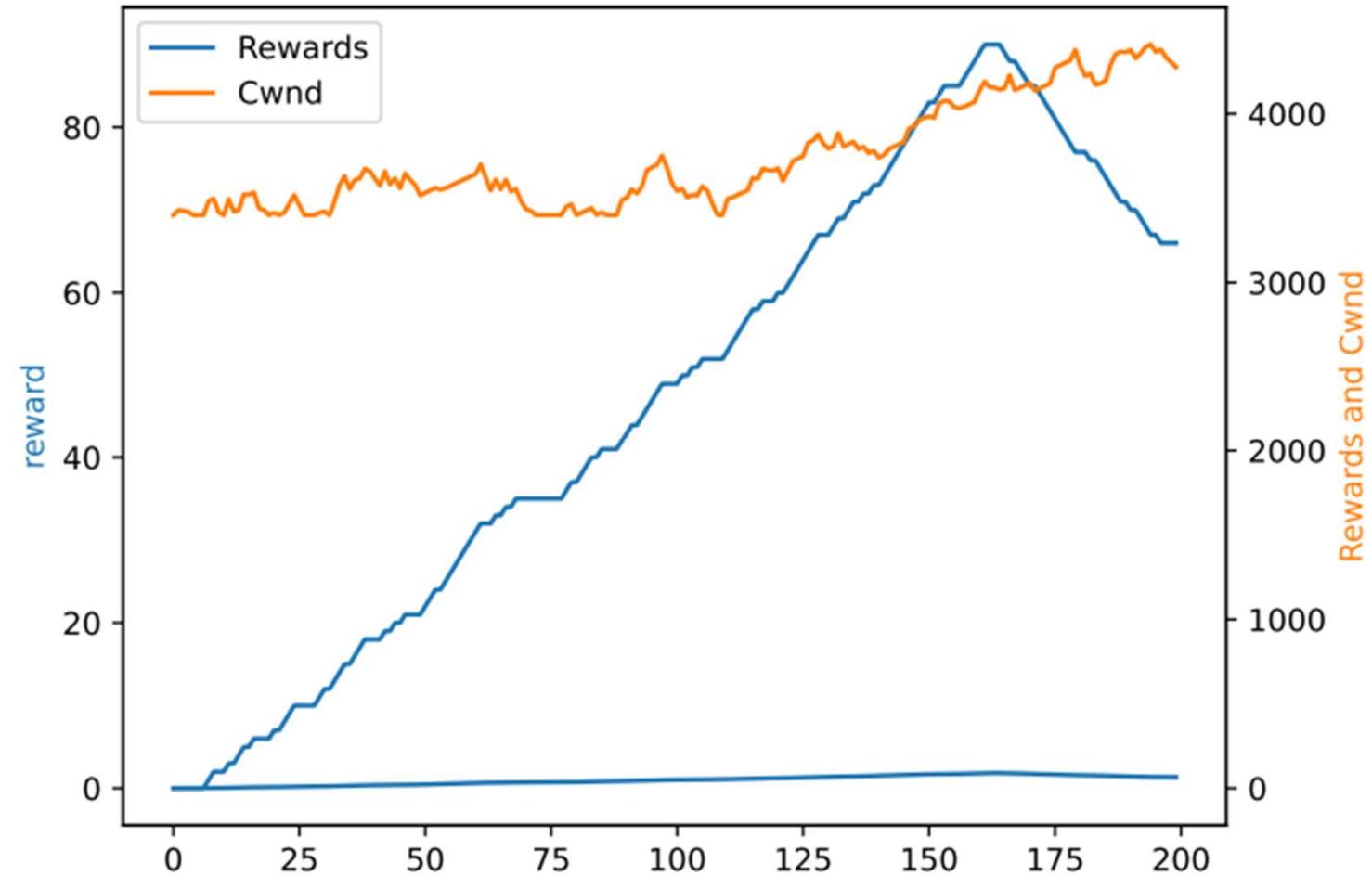
Measured on FIBRE-NG		Measured on Fabric	
Write Latency (ms)	Read Latency (ms)	Write Latency (ms)	Read Latency (ms)
156.9	100.3	719.2	616.5
93.5	99.1	913.3	830.8
186.6	101.3	404.4	385.8
93.0	98.2	265.4	275.8

# Experimentação e Validações

- **Experimentação (3):** Orquestração inteligente para aplicações que requerem **banda larga**.
- **Objetivos:** validar como algoritmos inteligentes atuam em redes reais (*testbeds*) para garantir comunicação com **banda larga**.
- **Método:** construção de algoritmos de aprendizado por reforço para aumentar a taxa de transmissão entre dois nós distribuídos.
- **Tecnologias:** Gym Reinforcement Learning, Fabric testbed.

## Resultados – Experimento #3

Notadamente, mesmo em um cenário real, **algoritmos inteligentes** foram capazes de **acumular recompensas** ao **aumentar a vazão da rede**.



# Publicações

- MOREIRA, RODRIGO; SILVA, F. O. ; CARVALHO, T. C. M. B. ; MARTINS, J. S. B. **Intelligent Data-Driven Architectural Features Orchestration for Network Slicing**. In: International Workshop on ADVANCES in ICT Infrastructures and Services, 2024, Hanoi. Proceedings of the International Workshop on ADVANCES in ICT Infrastructures and Services (ADVANCE), 2024.
- MOREIRA, RODRIGO; RODRIGUES, L. F. ; CARVALHO, T. C. M. B. ; SILVA, F. O. **Resource Allocation Influence on Application Performance in Sliced Testbeds**. In: XIV Workshop de Pesquisa Experimental da Internet do Futuro (WPEIF 2024), 2024, Niterói-RJ. Anais do XIV Workshop de Pesquisa Experimental da Internet do Futuro (WPEIF 2024), 2024.4.
- MONTEIRO, D. P. ; SAAR, L. N. F. B. ; RODRIGUES, L. F. ; MOREIRA, RODRIGO . **On Enhancing Network Throughput using Reinforcement Learning in Sliced Testbeds**. In: XIV Workshop de Pesquisa Experimental da Internet do Futuro (WPEIF 2024), 2024, Niterói-RJ. Anais do XIV Workshop de Pesquisa Experimental da Internet do Futuro (WPEIF 2024), 2024.
- MOREIRA, RODRIGO; CARVALHO, T. C. M. B. ; SILVA, F. O. **Designing and Evaluating a high-reliable and security-aware Identity and Access Management for Slicing Architectures**. In: XIV Workshop de Pesquisa Experimental da Internet do Futuro, 2023, Brasília. Anais do XIII Workshop de Pesquisa Experimental da Internet do Futuro, 2023.

# Próximos Passos – Orquestração

- Incorporar **mecanismos de aprendizado por reforço para alocação inteligente de recursos** em *testbeds* de larga escala.
- Mecanismo de fatiamento de recursos em *testbeds* federados de computação de **alto desempenho** (com processamento gráfico).

# Considerações Finais

- Maioria dos Ambientes de Testes originais foi desativada por falta de recursos para manutenção.
  - Ambientes de testes ativos: **FIBER-NG** e **Cloud NEXT**
- **Importância FIBER-NG** para realização de experimentação dos serviços: orquestração, Alocação de recursos com eficiência energética e Segurança/isolamento.
- Possibilidade de utilizar o **FABRIC** e **simulação concomitante**.
- Desafios de **integração dos experimentos** no contexto do arcabouço do SFI2.



# Muito Obrigada!

Tereza Cristina M. B. Carvalho – [terezacarvalho@usp.br](mailto:terezacarvalho@usp.br)  
Coordenadora Projeto SFI2



<https://sites.google.com/view/sfi2/home>