



**PROGRAMA OPENRAN@BRASIL:**

**SELEÇÃO INTEGRADA DE APLICAÇÕES 5G OPEN RAN E HOSPEDEIROS – ETAPA 2**

**ANEXO IV – CAPACIDADE DO TESTBED OPENRAN@BRASIL**

# 1. Pilhas 5G Abertas

O *testbed* OpenRAN@Brasil é uma ciberinfraestrutura que permite a execução ponta a ponta de experimentos em redes móveis com pilhas de software fechadas e *open source*. Entre as soluções exploradas destacam-se o **OAI RAN (OpenAirInterface RAN)** e o **srsRAN**, que possibilitam a implementação de elementos da RAN desagregada, bem como a sua integração com núcleos móveis (4G e 5G), em linha com as especificações do 3GPP e da O-RAN Alliance.

## 1.1. OAI RAN

O OpenAirInterface (OAI) é um projeto *open source* que visa disponibilizar implementações completas e compatíveis com os padrões 3GPP para redes móveis LTE e 5G. Dentro desse ecossistema, o OAI RAN foca na camada de acesso rádio, oferecendo implementações de eNB (LTE), gNB (5G NR) e suas divisões funcionais (DU/CU).

O OAI RAN tem como foco oferecer uma implementação completa e detalhada da pilha RAN, as principais características do OAI RAN incluem:

- Conformidade com releases relevantes do 3GPP (LTE e 5G NR).
- Suporte a diferentes splits funcionais da RAN (incluindo F1-C/U para integração entre CU e DU).
- Integração com núcleos móveis *open source* (ex.: Open5GS, Free5GC).
- Suporte a SDRs amplamente utilizados, como USRP da Ettus Research.
- Comunidade ativa e alinhamento com projetos de pesquisa acadêmicos e industriais.

## 1.2. srsRAN

O srsRAN é uma pilha *open source* modular que implementa redes LTE e 5G, com foco na flexibilidade e na experimentação. Essa pilha é composta por diferentes componentes que podem ser executados de forma independente, permitindo desde a emulação de um *User Equipment* (UE) até a execução de uma estação base (eNB/gNB).

O srsRAN pode ser utilizado tanto em prototipagem quanto em experimentação prática, sendo simples e estável em cenários LTE, enquanto as funcionalidades 5G continuam em expansão. As principais características do srsRAN incluem:

- Implementações de eNB/gNB, UE e EPC/5GC simplificado, possibilitando execução ponta a ponta em software.
- Suporte a 4G LTE estável e funcionalidades crescentes de 5G NR.
- Estrutura modular que facilita uso acadêmico, em pesquisa aplicada e em testes rápidos.
- Ênfase na flexibilidade e na facilidade de configuração, ainda que com menor abrangência funcional em comparação ao OAI.

### 1.3. Funcionalidades e Capacidades no OpenRAN@Brasil

#### OAI-RAN

- Suporte a TDD Estático;
- Suporte a múltiplos padrões de TDD (configuração de tempos de uplink e downlink);
- Suporte a FDD Estático;
- Suporte a espaçamento entre subportadoras (SCS):
  - 15 kHz e 30 kHz em FR1 (sub-6 GHz/banda n78);
- Larguras de banda suportadas:
  - 10, 20, 40, 60, 80 e 100 MHz;
- Possibilidade de ajustar frequências de *uplink* e *downlink* para integração com equipamentos intermediários;
- MIMO 4x4 (DL e UL)
  - Procedimentos para transmissão multi-camada em downlink e uplink;
- Suporte ao Controlador Inteligente de RAN FlexRIC, da OpenAirInterface, para desenvolvimento de xApps e soluções para a rede Open RAN;
- Suporte aos modelos de serviço E2SM-KPM (REPORT Service Style 4) e E2SM-RC (CONTROL Service Style 1 e REPORT Service Styles 1 e 4);
- Suporte a emulação de múltiplas UEs por meio do 5G-NR UE (RFsim) da OAI;
- Suporte a experimentação FWA por meio de 5G CPE GX-3000;
- Implantação cloud-native no Kubernetes via Helm Chart ou KPT packages.

#### srsRAN

- Alinhado com os padrões do 3GPP - Release 17;
- Suporte a FDD e TDD, cobrindo todas as bandas FR1 (sub-6 GHz);
- Larguras de banda completas: até 100 MHz em TDD e 50 MHz em FDD;
- Espaçamento de subportadora de 15 e 30 kHz;
- Codificação e decodificação LDPC e Polar altamente otimizadas, com aceleração para ARM Neon e x86 AVX2/AVX512;
- Suporte ao Split 7.2x para conexões com RUs e split 8 para conexão com USRPs;
- Suporte a modulação até QAM-256;
- Suporte a MIMO 4x4;
- Suporte a slicing, permitindo criar fatias de rede independentes para diferentes serviços e aplicações;
- Suporte ao CU-DU Split, separando as funções de unidade central e distribuída, alinhado ao Open RAN;
- Suporte aos Controladores Inteligentes de RAN OSC RIC, da O-RAN Software Community, e FlexRIC, da OpenAirInterface, para desenvolvimento de xApps e soluções para a rede Open RAN;
- Suporte aos modelos de serviço E2SM-KPM (Service Styles 1 à 5) e E2SM-RC (Control Service Style 2);
- Suporte a emulação de UE por meio do SRSUE;
- Suporte a experimentação FWA por meio de 5G CPE GX-3000;
- Implantação cloud-native no Kubernetes via Helm Chart ou KPT packages;
- Suporte a experimentação considerando cenários monolíticos e desagregados.

## **1.4. Necessidades de Desenvolvimento Adicional**

### **OAI-RAN**

- Suporte a melhor interoperabilidade com as RUs da Foxconn presentes no testbed;
- Melhorar a integração com o Controlador Inteligente de RAN (RIC) da O-RAN *Software Community* (OSC-RIC);
- Realizar integração e interoperabilidade com CUs e DUs de outros fornecedores, e.g. SRSRAN;
- Aumentar as métricas suportadas pelo E2SM-KPM;
- Implementar o suporte a outros estilos de serviços do E2SM-KPM;
- Implementar o suporte a outros estilos de serviços do E2SM-RC;
- Testar gerenciamento via interface O1/Netconf.

### **SRS-RAN**

- Realizar integração e interoperabilidade com CUs e DUs de outros fornecedores, e.g. OAI-RAN;
- Aumentar as métricas suportadas pelo E2SM-KPM;
- Implementar o suporte a outros estilos de serviços do E2SM-RC;
- Desenvolver e integrar gerenciamento via interface O1.

# Pilha 5G da Radisys: Capacidades e Arquitetura

## Visão Geral

A pilha 5G da Radisys oferece uma gama abrangente de capacidades para o desenvolvimento e implantação de redes 5G, suportando diversas arquiteturas e modos de operação, além de contar com otimizações de desempenho e compatibilidade com um vasto ecossistema de hardware e software.

## Principais Capacidades

### 1. Modos de Implantação e Arquiteturas:

- Suporte a Modos SA e NSA: Compatível com os modos Standalone (SA) e Non-Standalone (NSA) (Opções 3, 3a e 3x), permitindo que provedores de serviço expandem suas ofertas 5G aproveitando a infraestrutura 4G LTE existente.
- Arquitetura Escalável: Oferece uma arquitetura dividida com a gNB separada em Centralized Unit (CU) e Distributed Unit (DU) através da interface 3GPP F1, e a solução CU-CP e CU-UP utilizando a interface 3GPP E1.
- Modo "All-in-One" (AiO): Permite que o Core, CU, DU e L1 FlexRAN rodem no mesmo servidor, com integração das camadas do plano de usuário (PDCP, SDAP, eGTP-U) para um modelo de thread de trabalho escalável.
- Arquitetura Shared Memory (SHM): Otimizada para operar a gNB CU e gNB DU na mesma placa, utilizando conexão baseada em socket Ethernet para o uplink do plano de usuário.
- Solução Network-in-a-Box (NiB): Ideal para implementações móveis, como em veículos ou eventos, hospedando a gNB e o 5G Core em uma única solução.

### 2. Funcionalidades e Protocolos 5G (3GPP Release 16/17):

- Compatibilidade 3GPP: A pilha é compatível com os padrões Release 16 e 17, incluindo suporte para URLLC, Non-Terrestrial Networks (NTN), Integrated Access and Backhaul (IAB), Network Slicing e Massive MIMO (mMIMO).
- Suporte O-RAN: A solução gNB CU é projetada para a interface E2, e o Radisys OAM (Operations, Administration, and Maintenance) suporta YANG e NETCONF para a plataforma Intel FlexRAN.
- Interfaces Suportadas: Inclui N1, N2, N3, N6, Xn, X2, E1AP, F1AP e E2AP.
- Sincronização: Suporte para Precision Time Protocol (PTP) na DU, exigindo conexão a um Grandmaster.
- Otimizações de Desempenho: Utiliza Data Plane Development Kit (DPDK) para interfaces do plano de usuário e suporta MIMO 4x4, 2x2, MU-MIMO e gerenciamento de feixe (beamforming) para FR1 e FR2.
- Qualidade de Serviço (QoS): Suporta bearers baseados em QoS (GBR e não GBR) e 5QI de classe Delay Critical (DC).
- Mobilidade: Suporte para handover (HO) inter-gNB, intra-gNB, e inter-RAT (LTE), com resolução de conflitos de PCI.

### 3. Desempenho e KPIs

- Altas Taxas de Transferência: Demonstra mais de 1.2 Gbps em downlink (DL) e mais de 100 Mbps em uplink (UL) em configurações de desenvolvimento.
- Desempenho Agregado: Atinge 6.8 Gbps em DL e 800 Mbps em UL em testes de laboratório com Intel FlexRAN para quatro células 4x4T4R.
- Capacidade de Usuários: Suporta até 128 UEs por célula.

### 4. Ecossistema de Hardware e Software

- Plataformas Suportadas: Validada em plataformas x86 (Intel Xeon Gold, Sapphire Rapids) e ARM (Ampere Altra, Grace Hopper).
- Aceleradores de Hardware: Utiliza Intel QuickAssist, Intel ACC100, GPUs NVIDIA A100 e BlueField DPUs.
- Compatibilidade de Rádio (RUs): Funciona com RUs de fornecedores como Foxconn, Benetel, VVDN, entre outros.
- Requisitos de Sistema: Requer Ubuntu Server 22.04.4 com kernel RT Linux para a DU FlexRAN.
- Equipamentos de Usuário (UE): Validada com uma ampla gama de chipsets, incluindo Samsung, Qualcomm, MediaTek, e dispositivos como iPhones e módulos Quectel.

### Limitações conhecidas

A pilha OpenRAN da Radisys, embora funcional, apresenta algumas limitações em áreas de desempenho, estabilidade, complexidade de configuração e arquitetura de rede. Os principais pontos identificados pela equipe do CPQD foram:

- **Limitação de Desempenho (*Throughput*):** Em configurações que utilizam duas camadas físicas (2 L1s), como em cenários de *Carrier Aggregation*, foi observada uma queda inexplicada no *throughput*. A taxa de dados recebida pela DU fica abaixo de 900Mbps, mesmo quando a CU envia mais de 1Gbps, um gargalo que não ocorre quando se usa uma única L1.
- **Bugs de Estabilidade em Cenários Multi-Core (MORAN):**
  - A pilha pode travar se um dos múltiplos cores falhar e um dispositivo (UE) tentar se reconectar após a recuperação do core, devido a um problema de gerenciamento de contexto antigo.
  - Existe um bug de "condição de corrida" (*race condition*) durante a inicialização, onde a RAN pode subir sem se conectar a todos os núcleos (*cores*) disponíveis se um deles demorar a responder, exigindo uma reinicialização para funcionar corretamente.
- **Alto Consumo de Recursos de CPU:** A Unidade Centralizada (CU) exige uma quantidade elevada e crescente de processamento. A carga na CPU escala significativamente com o aumento do número de usuários e células, exigindo um planejamento robusto de hardware (estimativa de 15 a 20 cores físicos para um cenário de 9 células).
- **Complexidade na Configuração de Funcionalidades Avançadas:**
  - ***Carrier Aggregation (CA)*:** A ativação do CA, especialmente com 2 L1s, é um processo complexo e manual. Exige alocação cuidadosa de CPUs, criação de

scripts para virtualização de aceleradores de hardware (SR-IOV), e alterações detalhadas em múltiplos arquivos de configuração (CU, DU e L1s).

- **Compatibilidade de Dispositivos:** Foi identificado um problema de compatibilidade com modems Quectel que exigiu uma alteração manual em um parâmetro de configuração da célula (*periodicity*) para garantir a estabilidade da conexão.
- **Limitações de Rede e Arquitetura:**
  - **Distância no *Fronthaul*:** A configuração padrão suporta links de *fronthaul* de até 10 km. Para distâncias maiores (ex: 15 km), é necessário medir manualmente a latência do link e ajustar parâmetros específicos nos arquivos de configuração da L1.
  - **Roteamento L3 no Plano de Usuário:** As interfaces de plano de usuário (baseadas em DPDK) não suportam roteamento L3 nativamente, pois dependem de resolução ARP (L2). Isso impede a comunicação com um núcleo de rede que esteja em uma sub-rede diferente, exigindo modificações no código-fonte da pilha para habilitar o roteamento.

## Conclusão

A pilha 5G da Radisys se apresenta como uma solução extremamente robusta e flexível, alinhada com os mais recentes padrões 3GPP e suportada por um vasto ecossistema de hardware. Sua capacidade de operar em múltiplos modos e arquiteturas a torna uma candidata versátil para diversas aplicações de rede.

A experiência prática mostrou que a solução ainda requer atenção em alguns cenários bem específicos. Como o alto consumo de recursos de CPU, a complexidade na configuração de funcionalidades avançadas como *Carrier Aggregation*, e a existência dos bugs apontados, exigem um planejamento cuidadoso e expertise técnica para serem mitigados. Lembrando que sempre atualizamos para versões mais recentes e que possivelmente estes bugs pontuais, que foram reportados para Radisys, podem já ter sido sanados no momento desta leitura.

---