

Brasil 6G

Projeto Brasil 6G

Atividade 2.2 - Definição dos componentes de hardware da plataforma



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO



Histórico de Atualizações:

Versão	Data	Autor(es)	Notas
1	19/07/2022	Diego Gabriel Soares Pivoto Juliano Silveira Ferreira Roberto Michio Marques Kagami Tibério Tavares Rezende Luciano Leonel Mendes	Elaboração de conteúdo
2	24/08/2022	Luciano Leonel Mendes	Revisão de texto

Lista de Figuras

1	Transceptor 6G: diagrama da plataforma de <i>hardware</i> proposta.	7
2	Dispositivos necessários para criar uma interface de RoF para operação <i>Multiple-Input Multiple-Output</i> (MIMO) 2x2 do Transceptor 6G.	16
3	Imagem do rack de servidores com FIBRE EDGE 1 e 2 destacados em vermelho.	20
4	Imagem da bancada com os servidores FIBRE EDGE 3 e 4.	21
5	Arquitetura Non-3GPP Access - Wifi proposta.	22

Lista de Tabelas

1	Especificação final do Servidor para o Projeto Brasil 6G.	3
2	Especificação final do Nobreak para o Servidor do Projeto Brasil 6G.	4
3	Especificações técnicas do computador para suporte à inteligência artificial.	6
4	Especificações técnicas do computador do transceptor Brasil 6G de alta capacidade.	9
5	Especificações técnicas dos front-ends de RF do transceptor de alto desempenho.	10
6	Especificações técnicas do amplificador de RF.	10
7	Especificações técnicas do pré-amplificador de RF.	11
8	Especificações técnicas do LNA.	11
9	Especificações técnicas do acoplador direcional.	11
10	Especificações técnicas dos isoladores.	12
11	Especificações técnicas do duplexer.	12
12	Especificações técnicas da antena.	13
13	Especificações técnicas do front-end de RF candidato para o transceptor de complexidade reduzida: LimeSDR.	14
14	Especificações técnicas do front-end de RF candidato para o transceptor de complexidade reduzida: LimeSDR.	15
15	Especificações técnicas do módulo RF <i>over Fiber</i> (RoF) candidato para aquisição.	17
16	Especificações de <i>hardware</i> FIBRE EDGE 1.	19
17	Especificações de <i>hardware</i> FIBRE EDGE 2.	20
18	Especificações de <i>hardware</i> FIBRE EDGE 3.	21
19	Especificações de <i>hardware</i> FIBRE EDGE 4.	21

Acrônimos

AD *Analog-to-Digital*

AVX *Advanced Vector Extensions*

C-RAN *Cloud-Radio Access Network*

C-RAN *centralized-radio access network*

DA *Digital-to-Analog*

FIBRE *Future Internet Brazilian Environment for Experimentation*

FP *Fator de Potência*

GPS *Global Positioning System*

GPSDO *GPS Disciplined Oscillator*

GPU *General-Purpose Processors*

IA *inteligência artificial*

IDU *Indoor Device Unit*

LaMCAD *Laboratório Multiusuário de Computação de Alto Desempenho*

LNA *Low Noise Amplifiers*

MIMO *Multiple-Input Multiple-Output*

ODU *Outdoor Device Unit*

PA *Power Amplifier*

RAU *remote antenna unit*

RoF *RF over Fiber*

RRU *remote radio unit*

SDR *Software Defined Radio*

SINDISAT *Sindicato Nacional das Empresas de Telecomunicações por Satélite*

TVWS *TV White Space*

UHF *Ultra High Frequency*

WDM *wavelength division multiplexing*

Sumário

1	Introdução	1
2	Especificação do Servidor para o núcleo da rede Brasil 6G	2
3	Especificação dos computadores para suporte à inteligência artificial	5
4	Especificação dos componentes de <i>hardware</i> do transceptor Brasil 6G	7
4.1	Transceptor Brasil 6G de alta capacidade: especificação da IDU	8
4.1.1	Computador (PC)	9
4.1.2	Interface PC- <i>Front-End</i>	9
4.1.3	<i>Front-End</i> de RF	9
4.2	Transceptor Brasil 6G de alta capacidade: especificação da ODU	10
4.2.1	Amplificador de RF	10
4.2.2	LNA	11
4.2.3	Acoplador direcional	11
4.2.4	Isolador	12
4.2.5	Duplexer	12
4.2.6	Antena	12
4.3	Transceptor Brasil 6G de complexidade reduzida: especificação da IDU	13
4.3.1	Computador (PC)	13
4.3.2	Interface PC- <i>Front-End</i>	13
4.3.3	<i>Front-End</i> de RF	14
4.4	Transceptor Brasil 6G de complexidade reduzida: composições da ODU	15
4.5	Dispositivos de RoF	15
5	Especificação do componentes das redes complementares	18
5.1	Especificação dos equipamentos para Enlace Satelital (SINDISAT)	18
5.2	Especificação dos componentes do Ambiente de Cloud Computing (UFG)	18
5.3	Especificação dos componentes da plataforma FIBRE	19
5.4	Especificação dos componentes do acesso Non-3GPP - Wi-fi (UFG)	22
6	Conclusão	23

1 Introdução

Juliano Silveira Ferreira
silveira@inatel.br

A evolução da rede de comunicação móvel se dá através de inovações e melhorias adotadas ou incorporadas no sistema visando atender a novos requisitos e também prover suporte adequado às novas aplicações e casos de uso. A concepção de um complexo sistema como uma rede de comunicação móvel envolve a necessidade de um grande embasamento técnico conceitual e teórico de diferentes etapas e camadas que compõe o sistema. O desenvolvimento de uma aplicação ou demonstração prática, conforme prevê o projeto Brasil 6G, exige, além dos embasamentos mencionados, a identificação de requisitos, limitações e desafios inerentes à implementação prática. A complexidade de implementação de algoritmos, bem como sua demanda de processamento, a incidência de sinais interferentes, efeitos de propagação, distorções não linearidades, precisão da estimação e sincronização de sinais, por exemplo, são desafios a serem superados para que as redes 6G se tornem uma realidade. Além disso, deve-se levar em consideração as limitações, acessibilidade e custos dos dispositivos e soluções a serem utilizadas na implementação.

O projeto Brasil 6G prevê a especificação e desenvolvimento de uma plataforma que viabilize a realização de pesquisas, desenvolvimentos e testes práticos de novas funcionalidades, algoritmos, tecnologias e aplicações que possam vir a compôr a futura rede de comunicação móvel. Como exemplo de tecnologias potenciais previstas para compôr a rede 6G pode-se destacar o emprego de algoritmos de inteligência artificial, em diferentes níveis e camadas da rede, processamentos em nuvem, integração via dispositivos ópticos, MIMO, dentre outras.

O objetivo deste relatório é especificar os componentes de *hardware* que compõe a plataforma Brasil 6G. Visando alcançar seu objetivo, o relatório foi organizado da seguinte forma: o capítulo 2 apresenta a especificação técnica do servidor Brasil 6G; o capítulo 3 apresenta a especificação técnica dos computadores para o desenvolvimento treinamentos de algoritmos de *inteligência artificial* (IA); o capítulo 4 especifica tanto o transceptor Brasil 6G de alta capacidade quanto sua versão de baixa complexidade; o capítulo 5 descreve as redes complementares integradas à plataforma Brasil 6G e; o capítulo 6 conclui este relatório.

2 Especificação do Servidor para o núcleo da rede Brasil 6G

Diego Gabriel Soares Pivoto
diego.gabriel@inatel.br

O Servidor para o Projeto Brasil 6G tem como objetivo principal viabilizar a operação e prover capacidade de processamento para que o núcleo da rede futura 6G possa suportar as demandas previstas pelo projeto, bem como suas respectivas aplicações, incluindo a realização de testes de campo no cenário de áreas remotas e rurais, formando assim o conceito do núcleo distribuído na borda da rede.

Em relação à especificação, uma *Workstation* de alto nível em modelo de rack é o gabinete ideal para atender aos requisitos de um servidor que comporte as aplicações que envolvem a rede 6G, pois esta arquitetura permite a expansão de processamento e armazenamento requerido. Esta flexibilidade de expansão é importante para permitir que a infraestrutura do Projeto Brasil 6G possa evoluir para atender as futuras aplicações.

Analisando as aplicações já mapeadas e que serão implementadas nas Metas 5 e 6 do projeto, foi possível determinar as demandas por processamento, armazenamento, aceleração em hardware e comunicação, que serão fundamentais para atingir os objetivos almejados, e cujos detalhes serão descritos a seguir:

1. **Gabinete:** o gabinete especificado trata-se de uma *workstation* bi-processada do tipo rack 4U devido à sua arquitetura permitir a expansão de processamento e armazenamento requeridos para atender aplicações futuras ainda não previstas no projeto.
2. **Placa-Mãe:** a adoção da placa-mãe leva em consideração a compatibilidade com o gabinete, atendendo aos requisitos de possibilidade de expansão futura de armazenamento e processamento.
3. **Processador:** para atender aos requisitos primordiais do servidor, compostos pelo processamento de *core* e de *edge*, foram especificados 2 processadores escaláveis de 3^a Geração da Intel Xeon compatíveis com o gabinete e placa-mãe da *workstation* bi-processada.
4. **Placa de Vídeo:** duas placas de vídeo de 16 GB foram especificadas com o intuito de suportar aplicações de realidade mista e de inteligência artificial.
5. **Memória:** a memória RAM de 256GB foi considerada como uma capacidade suficiente para que diferentes aplicações possam ser executadas de forma simultânea no servidor, o que inclui as demandas provenientes para redes 6G.
6. **Armazenamento:** foi especificado um valor total de 8 TB de HD para armazenamento para suportar todas as aplicações e demandas previstas para a rede 6G.
7. **Comunicação:** Para comunicação, foi definida uma placa de rede com interface Ethernet (RJ-45) de 10GbE, considerando o suporte à diversas ERBs, além de uma placa com conectividade +SFP, dadas as aplicações futuras envolvendo fibra óptica.
8. **Fonte:** a fonte de energia para o servidor foi dimensionada para suportar a carga dos componentes descritos.

A Tabela 1 foi obtida com base nos requisitos técnicos e respeitando as limitações orçamentárias e destaca os principais componentes adotados para a especificação do Servidor do Projeto Brasil 6G.

Tabela 1: Especificação final do Servidor para o Projeto Brasil 6G.

Item	Qtd.	Descrição
Gabinete	1	Workstation Razor Blade HX750v3 (Rack 4U)
Placa-Mãe	1	Chipset Intel C621A - Dual
Processador	2	Intel Xeon Gold 6330 (28 Núcleos e 56 Threads, 2.00 GHz Turbo até 3.10 GHz, Cache de 42 MB)
Placa de Vídeo	2	Nvidia Quadro RTX A4000 16GB 6144 cuda cores
Memória RAM	8	32GB DDR4 2666MHz ECC REG (256GB totais)
Armazenamento	2	HD SSD 4TB 2.5"SATA III Data Center Class (8TB totais)
Comunicação	1	Intel X520-T2 (2 portas RJ-45, 10GbE)
	1	Intel X520-DA2 (2 Portas SFP+ 10GbE)
Fonte de Energia	1	1600W 80 Plus PFC Ativo Full Range (90 a 240V)

Para lidar com problemas relacionados a possíveis falhas de energia, também foi especificado um nobreak como um equipamento de proteção do Servidor para o Projeto Brasil 6G. Dentre as principais características para a especificação do mesmo, pode-se considerar o tipo do equipamento, a forma de onda, a potência, o *Fator de Potência* (FP) e o tempo de autonomia, cujos detalhes estão descritos abaixo:

1. **Tipo do equipamento:** o nobreak recomendado foi do tipo *online*, pois considera cargas mais sensíveis e possui um disparo mais imediato que os demais modelos, sendo essencial para atender à aplicações em cenários críticos.
2. **Tensão de Entrada/Saída:** o modelo especificado possui tensão nominal de 220VAC e tensão de saída de 220VAC, considerando maior eficiência em relação à perda de energia, e atendendo aos requisitos da estrutura física do ICT Lab, que é o local onde o mesmo será instalado.
3. **Forma de onda:** a forma de onda da tensão de saída é senoidal pura, com baixo conteúdo harmônico mesmo quando alimenta cargas não lineares, direcionado principalmente para cargas críticas de informática, o que engloba possíveis aplicações 6G.
4. **Potência (VA):** para a potência do nobreak, foi estipulado uma margem de segurança de modo a considerar futuras implementações e melhorias no servidor. Para tal, foi especificado uma potência de 3000VA, visto que a fonte de alimentação do Servidor para o Projeto Brasil 6G é de 1600W e, além da questão da margem de segurança previamente mencionada, é necessário verificar também o FP no equipamento, cujos detalhes estão descritos no próximo item.
5. **FP:** o FP determinado para o dispositivo é de 0,9. Assim sendo, considerando a potência de 3000VA, o nobreak suporta cargas com de até 2700W de potência RMS, atendendo à fonte de energia do servidor com uma margem de segurança adequada no caso de aumento de carga no futuro.

6. **Tempo de Autonomia:** o tempo de autonomia do nobreak especificado é de 10 minutos à meia carga, sendo suficiente para evitar a falha de energia até a atuação do gerador do Inatel. Além disso, este modelo permite a utilização de um módulo de bateria externo para expansão dessa autonomia, podendo chegar à aproximadamente 30 minutos em meia carga.

Tendo como referência as características detalhadas acima, e respeitando as limitações orçamentárias, a Tabela 2 descreve a especificação técnica do modelo de nobreak escolhido para o Servidor do Projeto Brasil 6G.

Tabela 2: Especificação final do Nobreak para o Servidor do Projeto Brasil 6G.

Característica	Descrição
Modelo	UPS Vertiv Liebert GXT RT+ (GXTRT-3000IRT2UXLB)
Tipo do Equipamento	<i>Online</i>
Tensão de Entrada/Saída	220V/220V
Forma de Onda	Senoidal pura
Potência	3000VA
FP	0,9
Tempo de Autonomia	Aproximadamente 10 minutos à meia carga

3 Especificação dos computadores para suporte à inteligência artificial

Juliano Silveira Ferreira
silveira@inatel.br

A plataforma Brasil 6G deve contemplar recursos computacionais que permitam o desenvolvimento e testes de algoritmos baseados em IA, uma vez que IA é considerada uma das principais tecnologias habilitadoras da rede 6G [1] [2] [3][4].

Os recursos computacionais mencionados estão previstos na plataforma através de computadores comerciais especificados para este fim. Tais computadores são, portanto, de suma importância para o desenvolvimento de funcionalidades inovadoras da futura rede 6G. Os computadores serão utilizados para a execução de algoritmos de IA e devem prover compatibilidade com a plataforma de *software* do transceptor Brasil 6G. Vale ressaltar que o desempenho da execução de algoritmos de IA é dependente das configurações de *hardware* do computador empregado, sendo cruciais, neste sentido, o número de *cores*, memória RAM e *General-Purpose Processors* (GPU).

A partir de simulações e testes iniciais envolvendo algoritmos de IA aplicáveis à camada física de redes de comunicação móveis foi possível identificar os requisitos para o servidor IA, conforme destacado a seguir:

1. **Processador:** um processador 18 *cores* e 36 *threads* se mostrou adequado para a execução de simulações iniciais de IA aplicáveis ao PHY do transceptor Brasil 6G. Para que o processador possa suportar a execução das rotinas de processamento previstas pelo transceptor Brasil 6G, este deve suportar nativamente a implementação de instruções de aceleração por *hardware* para processamento de múltiplos dados a cada instrução, baseados em *Advanced Vector Extensions* (AVX), uma vez que estes recursos permitem aumentar a eficiência e taxa de processamento de dados e está sendo empregado pelos algoritmos do transceptor.
2. **Placa de vídeo:** a GPU deve integrar núcleos de processamento em *hardware* dedicados para processamento de inteligência artificial, como o núcleos Tensor, além de unidades de processamento paralelo de dados, como CUDA *cores* [5]. A partir da execução de simulações prévias citadas, identificou-se que uma GPU com cerca de 5.000 CUDA *cores* e 8G de RAM é adequada para a finalidade em questão.
3. **Memória RAM:** 64 GB de memória foi identificada como sendo suficiente para a execução de algoritmos iniciais de IA.
4. **Armazenamento:** 512 GB;

Com base nas observações supracitados e observando-se a disponibilidade de equipamentos comerciais no mercado atual e respeitando as limitações orçamentárias, foi concebida a especificação técnica apresentada na Tabela 3 para o computador para suporte à IA.

Vale ressaltar que a especificação do servidor para o núcleo da rede Brasil 6G contempla GPUs avançadas, conforme descrito no capítulo 2, o que viabiliza seu uso também para prover suporte à aplicações gerais de IA. Esta abordagem, entretanto, deve ser alvo de testes e avaliações ao longo do projeto, uma vez que envolve o compartilhamento de recursos computacionais com outras aplicações previstas para tal servidor, que inclui o próprio núcleo da rede.

Tabela 3: Especificações técnicas do computador para suporte à inteligência artificial.

Item	Especificação
Processador	Intel i9-10980XE @3GHz [6] Especificações principais: 18 núcleos (<i>cores</i>) e 36 <i>threads</i> ; 3 GHz, Turbo até 4.8 GHz, Cache de 24,75 MB; possui unidades de hardware de AVX-2 e AVX-512;
GPU	NVIDIA Geforce RTX3070 [7] Especificações principais: 5.888 Cuda Cores, 8 GB de memória RAM; clock de operação de 1,73 GHz;
Memória RAM	64 GB DDR4
Armazenamento	512 GB (SSD NVMe)
Fonte de alimentação	850 W

4 Especificação dos componentes de *hardware* do transceptor Brasil 6G

Juliano Silveira Ferreira
silveira@inatel.br

A concepção de implementação do transceptor Brasil 6G utiliza como base o paradigma *Software Defined Radio* (SDR), fazendo uso de computadores de uso geral para reduzir o custo da solução final, associada ao uso de *front-ends* de RF comerciais [8]. A Figura 1 mostra um diagrama detalhado da plataforma de *hardware* definida para compôr o transceptor Brasil 6G.

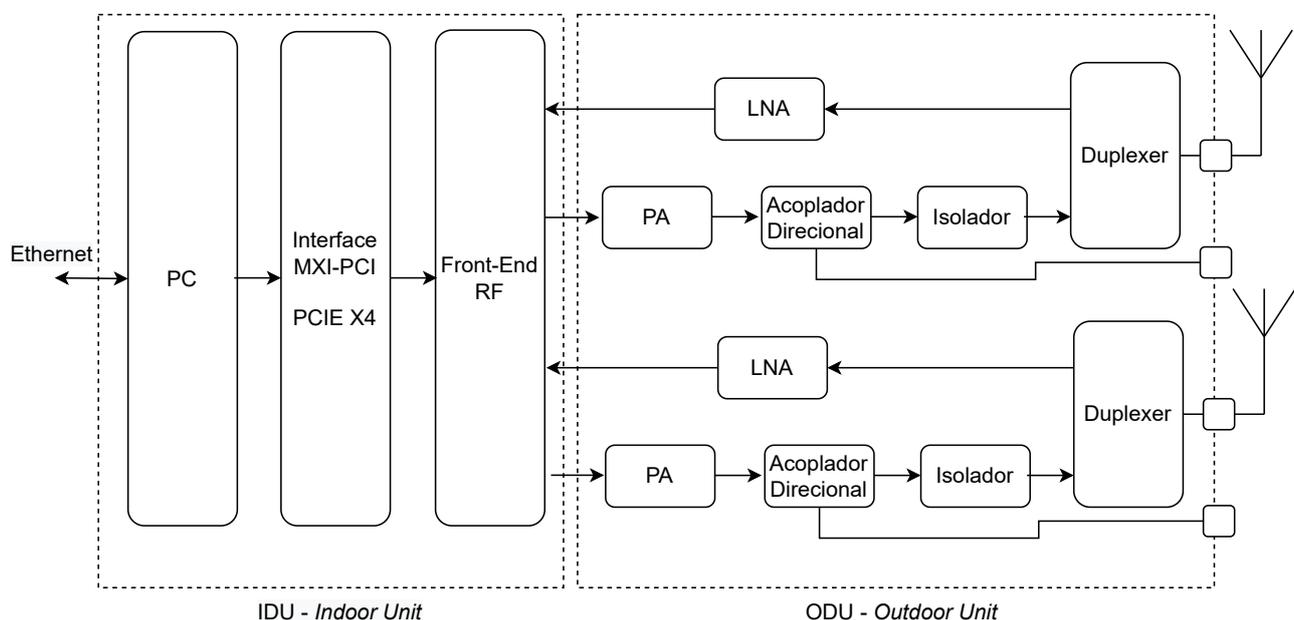


Figura 1: Transceptor 6G: diagrama da plataforma de *hardware* proposta.

A arquitetura proposta para o transceptor é formado por duas etapas principais: *Indoor Device Unit* (IDU), ou seja, unidade interna, e *Outdoor Device Unit* (ODU) ou unidade externa. A IDU viabiliza a realização de testes e validações em laboratório fazendo uso de potência reduzida, sem envolver o uso de amplificadores e dispositivos de RF complementares. A IDU concebida para o transceptor 6G, ilustrada na Figura 1, é formada pelos seguintes dispositivos principais:

1. PC: computador de uso geral para execução das etapas de processamento de sinais implementadas via software;
2. Interface PC-Front-end: permite a integração do PC com o front-end de RF da empresa National Instruments através da conversão PCIe - MXI;
3. Font-end de RF: Etapa que integra os conversores *Analog-to-Digital* (AD) e *Digital-to-Analog* (DA), e dispositivos de RF para conversão do sinal de banda base para canal e vice-versa;

A ODU agrega componentes de RF à IDU, e estes possibilitam, principalmente, aumentar a potência de transmissão do transceptor, impactando em sua área de cobertura. A ODU, ilustrada na Figura 1, é formada pelos seguintes dispositivos de *hardware* principais:

1. *Power Amplifier* (PA): fornece potência para a transmissão do sinal em campo;
2. Acoplador direcional: responsável por permitir acesso à amostras do sinal de RF para fins de monitoramento e realimentação de medidas;
3. Isolador: responsável por permitir o acoplamento de sinal em uma única direção de propagação, sendo empregado para proteção do PA;
4. *Low Noise Amplifiers* (LNA): amplificador de baixo ruído, responsável pela amplificação do sinal de recepção;
5. Duplexer: responsável por combinar e separar sinais oriundos de uma mesma antena. O mesmo atua também como um filtro de separação dos sinais da banda de *uplink* e de *downlink* do transceptor;
6. Antenas: responsáveis pela radiação do sinal de RF;

O projeto Brasil 6G prevê inicialmente o desenvolvimento de duas versões distintas do transceptor Brasil 6G, conforme melhor detalhado em [8]. As duas versões inicialmente previstas são:

- Transceptor Brasil 6G de complexidade reduzida: com suporte à comunicação ponto-a-ponto, funcionalidades de menor complexidade e, conseqüentemente, com *hardware* de menor custo quando comparada à versão de alta capacidade.
- Transceptor Brasil 6G de alta capacidade: com suporte a múltiplos usuários e funcionalidades mais avançadas especificadas para atender de maneira mais ampla e completa os requisitos do projeto Brasil 6G. Esta solução deve considerar o emprego de *hardware* de maior capacidade em comparação com o transceptor Brasil 6G de complexidade reduzida.

Ambas as versões do transceptor Brasil 6G consideram, a princípio, a mesma arquitetura macro de *hardware* apresentada na Figura 1. Vale ressaltar que a arquitetura de *hardware* concebida prevê a possibilidade de integração da ODU com as antenas fazendo uso de fibra óptica e através do emprego de dispositivos de RoF, conforme melhor detalhado na seção 4.5.

A seguir, estão apresentados maiores detalhes referentes à especificação técnica dos componentes de *hardware* da IDU e ODU considerando as duas versões supracitadas do transceptor Brasil 6G.

4.1 Transceptor Brasil 6G de alta capacidade: especificação da IDU

A seguir estão apresentadas as especificações técnicas de *hardware* adotadas durante a concepção da IDU do transceptor de alta capacidade.

4.1.1 Computador (PC)

O computador a ser empregado na plataforma do transceptor Brasil 6G de alta capacidade deve prever a compatibilidade com a versão inicial dos algoritmos e rotinas que compõem o transceptor 5G-IoT, conforme apresentado em [9], já que este será empregado como referência base para as pesquisas e novas implementações do projeto Brasil 6G. As funcionalidades e características principais deste transceptor encontram-se apresentadas em [8]. Para que este sistema computacional seja capaz de executar as rotinas mencionadas, o mesmo deve suportar nativamente a implementação de instruções de aceleração por *hardware* para processamento de múltiplos dados a cada instrução, baseados em AVX.

Os algoritmos base do transceptor 5G-IoT foram inicialmente testados e avaliados em um computador de alto desempenho. Os resultados dos testes indicaram que o computador empregado possui uma capacidade computacional adequada para a execução dos algoritmos mencionados. Desta forma, a especificação do computador da IDU do transceptor de alta capacidade considera um processador com número de *cores* e *threads*, bem como quantidade de memória RAM, similares ao do computador utilizado nos referidos testes. Uma placa de vídeo simplificada também foi considerada na especificação do computador da IDU, visando reduzir a carga computacional do processador e o uso da memória RAM principal.

Com base nos resultados preliminares de testes práticos e nos requisitos técnicos apresentados e respeitando as limitações orçamentárias do projeto, foi especificado um computador com as características técnicas da Tabela 4 para compôr a IDU do transceptor Brasil 6G de alta capacidade.

Tabela 4: Especificações técnicas do computador do transceptor Brasil 6G de alta capacidade.

Item	Especificação
Processador	Intel i9-11900K [10] Processador com 8 núcleos (<i>cores</i>) e 16 <i>threads</i> ; com suporte para AVX-2 e AVX-512;
GPU	Nvidia Geforce GTX 1650, com memória de 4 GB
Memória RAM	32 GB DDR4
Armazenamento	512 GB (SSD NVMe)
Fonte de alimentação	700 W

4.1.2 Interface PC-*Front-End*

A interface entre o PC e a placa SDR é a MXI – PCIE modelo NI PCIE-8371 ou similar [11].

4.1.3 *Front-End* de RF

Com relação ao *front-end* de RF para o transceptor Brasil 6G de alta capacidade, foram inicialmente especificados dois modelos: NI-USRP-2952R [12] e NI-USRP-2954R [13], ambos fabricados pela empresa National Instruments. Estes modelos foram especificados tendo em vista sua utilização no desenvolvimento e testes do transceptor 5G-IoT.

As características técnicas principais destes dois modelos de *front-end* estão listada na Tabela 5. Ambos os modelos tem ampla faixa de operação, que inclui a faixa de *Ultra High*

Frequency (UHF), considerada inicialmente para a implementação, porém permite a operação em frequências mais elevadas, da ordem de GHz. A largura de banda suportada por ambos os modelos é superior aos 24 MHz, que é a largura de banda máxima do transceptor Brasil 6G de alta capacidade. Tais modelos possuem 2 entradas e 2 saídas de RF, viabilizando a implementação de técnicas MIMO 2 x 2. A referência de *clock* de ambos os modelos, baseadas em *GPS Disciplined Oscillator* (GPSDO), alcançam precisão da ordem de 25 ppb, na ausência de sinal de *Global Positioning System* (GPS).

Tabela 5: Especificações técnicas dos front-ends de RF do transceptor de alto desempenho.

Parâmetro	Especificações NI-USRP-2952R [12]	Especificações NI-USRP-2954R [13]
Faixa de Frequência	400 MHz a 4,4 GHz	10 MHz a 6 GHz
Largura de banda máxima	120 MHz	160 MHz
Potência de entrada/saída	-15 dBm / 20 dBm	-15 dBm / 20 dBm
Conversores A/D e D/A	14 / 16 bits	14 / 16 bits
Taxa de amostragem (máxima)	120 Msps	200 Msps
Precisão do Clock (GPSDO)	+/- 25 ppb (sem GPS) +/- 5 ppb (com GPS)	+/- 25 ppb (sem GPS) +/- 5 ppb (com GPS)
Entradas / Saídas de RF	2 / 2	2 / 2

4.2 Transceptor Brasil 6G de alta capacidade: especificação da ODU

A seguir estão apresentadas as especificações técnicas dos dispositivos de *hardware* que compõe a ODU do transceptor Brasil 6G de alta capacidade.

4.2.1 Amplificador de RF

O amplificador deve ser do tipo banda larga, oferecendo ganho na banda de UHF, que é a banda de operação definida para o transceptor do projeto Brasil 6G. O amplificador deve permitir seu uso tanto no enlace de *uplink* quanto de *downlink* do transceptor, a fim de facilitar a montagem dos protótipos, deve oferecer ganho da ordem de 37 dB, para permitir que potência média em torno de 30 dBm e deve operar em sua região linear, com *back-off* superior a 10 dB em relação ao seu ponto de saturação de 1 dB. O tipo de amplificador adequado é de classe A ou AB, uma vez que são amplificadores com comportamento mais linear. A Tabela 6 apresenta as especificações técnicas definidas para o amplificador de RF.

Tabela 6: Especificações técnicas do amplificador de RF.

Parâmetro	Especificação
Faixas de frequência	470 a 700 MHz
Ganho	≥ 37 dB
Ponto de saturação 1 dB	≥ 40 dBm
Potência média suportada	$\geq 5W$
Classe	A ou AB

Para permitir que potências mais elevadas possam vir a ser empregadas no transceptor, pode ser eventualmente necessário utilizar um pré-amplificador de potência para elevar o nível de entrada do amplificador de RF, já que a potência média entregue pelo front-end de RF é reduzida. As especificações técnicas iniciais para o pré-amplificador de potência estão na Tabela 7.

Tabela 7: Especificações técnicas do pré-amplificador de RF.

Parâmetro	Especificação
Faixas de frequência	470 a 700 MHz
Ganho	≥ 20 dB
Potência média suportada	≥ 20 dBm
Classe	A

4.2.2 LNA

O LNA é caracterizado pela baixa figura de ruído que é importante para reduzir o ruído gerado pelo amplificador. O amplificador deve ser do tipo banda larga, cuja frequência de operação contemple a faixa de UHF e que ofereça ganho superior a 20 dB, de acordo com testes práticos realizados com o transceptor 5G-IoT.

As especificações técnicas iniciais para o LNA estão na Tabela 8.

Tabela 8: Especificações técnicas do LNA.

Parâmetro	Especificação
Faixas de frequência (mínima)	470 a 700 MHz
Ganho	≥ 20 dB
Figura de Ruído	$\leq 1,2$

4.2.3 Acoplador direcional

O acoplador direcional é um dispositivo passivo de RF que permite acoplar o sinal de RF em uma saída auxiliar de monitoramento, permitindo medir o sinal de RF de saída do transceptor sem que seja necessário desconectar a antena ou desligar momentaneamente o sinal de transmissão. A Tabela 9 apresenta as especificações técnicas do acoplador direcional.

Tabela 9: Especificações técnicas do acoplador direcional.

Parâmetro	Especificação
Faixas de frequência	300 a 800 MHz
Acoplamento	20 dB
Perda por inserção	$\leq 0,2$ dB
Diretividade	30 dB
Potência direta suportada	250 W

4.2.4 Isolador

O isolador é um dispositivo passivo de RF usado para impedir que sinais refletidos afetem a saída de amplificadores. Este dispositivo deve atender a requisitos técnicos estabelecidos pelo projeto como: perda por inserção inferior a 0,5 dB e isolamento superior a 20 dB. A potência especificada para os isoladores é de 250 W, para permitir que testes exploratórios possam ser realizados futuramente em laboratório. A Tabela 10 apresenta as especificações técnicas dos isoladores de RF.

Tabela 10: Especificações técnicas dos isoladores.

Parâmetro	Especificação
Faixas de frequência	Isolador 1: 488 a 602 MHz Isolador 2: 620 a 758 MHz
Isolação	> 20 dB
Perda por inserção	< 0,5 dB
Perda por retorno	> 20 dB
Potência direta suportada	250 W

4.2.5 Duplexer

O duplexer permite que a transmissão e recepção de sinais de RF em bandas diferentes possam ser realizados de forma simultânea empregando-se uma única antena. O dispositivo em questão conta com filtros de banda passante que permitem proteger ou isolar os circuitos de recepção do sinal a ser transmitido. O duplexer permite que uma única antena possa ser empregada para os enlaces de a transmissão quanto de recepção, reduzindo o número de antenas necessárias para compor o transceptor. Este benefício é acentuado no caso do transceptor Brasil 6G de alta capacidade, devido ao fato do sistema prever a operação com múltiplas antenas fazendo uso de técnicas MIMO 2x2.

A Tabela 11 apresenta as especificações do duplexer.

Tabela 11: Especificações técnicas do duplexer.

Parâmetro	Especificação
Faixas de frequência	488 a 602 MHz 620 a 758 MHz
Perda por retorno	20dB
Perda por inserção	< 0,8 dB
Isolação	> 95 dB

4.2.6 Antena

A antena empregada pelo sistema deve ser do tipo de banda larga ou multi-banda para prover flexibilidade na definição da frequência de operação do transceptor do projeto Brasil 6G em diferentes demonstrações e testes, bem como permitir a exploração da banda de frequência de UHF prevista para operação *TV White Space* (TVWS). Além disso, a faixa de frequência

da antena contempla as frequências tanto do do enlace de *uplink* quanto de *downlink* e largura de faixa máxima de 24 MHz de banda para cada enlace.

O ganho da antena em questão é uma característica técnica importante, pois impacta diretamente no raio de cobertura do sistema, bem como na robustez e qualidade do enlace de comunicação. A Tabela 12 apresenta as especificações das antenas.

Tabela 12: Especificações técnicas da antena.

Parâmetro	Especificação
Tipo de antena	Log-periódica (banda larga e diretiva)
Faixa de operação	470 a 862 MHz
Ganho	8,7 a 9,5 dBd
Potência máxima suportada	100 W
Impedância	50 ohms

4.3 Transceptor Brasil 6G de complexidade reduzida: especificação da IDU

A seguir estão apresentadas as especificações da IDU do transceptor Brasil 6G de complexidade reduzida. Vale ressaltar que as características principais deste transceptor encontram-se apresentadas em [8].

4.3.1 Computador (PC)

Com base nos requisitos técnicos apresentados em [8], associado a resultados de testes práticos dos algoritmos base do transceptor 5G-IoT operando em modo usuário único e sem a camada MAC, foi especificada uma configuração mínima para o computador a ser empregado para os testes do transceptor de baixa complexidade.

1. Processador: com ao menos 8 núcleos e 16 *Threads*, com unidades em hardware de AVX-2 e AVX-512. Exemplo de processador empregado em testes iniciais: i9-9900K [14].
2. Memória RAM: ao menos 16 GB;
3. Armazenamento: ao menos 128 GB (SSD);
4. Placa de vídeo: *offboard*;

A placa de vídeo *offboard* é prevista apenas reduzir a carga computacional do processador, com função de exibir a interface gráfica do sistema para o usuário.

4.3.2 Interface PC-*Front-End*

O tipo principal de interface inicialmente considerada para a conexão do PC do transceptor de complexidade reduzida com o *front-end* de RF é do tipo PCIe ou USB 3.0. Estes tipos de interface, normalmente disponibilizadas de forma nativa nos computadores atuais, são previstas pela maioria dos *front-ends* de baixo disponíveis no mercado. É possível prever a mesma interface do transceptor de alta capacidade, descrita na seção 4.1.2 deste, para prever a possibilidade de integração com *front-ends* considerados para o transceptor Brasil 6G de alta capacidade.

4.3.3 *Front-End* de RF

Foram definidos, a princípio, dois modelos candidatos de front-ends de RF de custo reduzido que podem vir a compor o *hardware* do transceptor de baixa complexidade. Os modelos inicialmente considerados são: LimeSDR PCIe [15], desenvolvido pela empresa Lime Microsystems, e BladeRF [16], desenvolvido pela empresa Nuand. Se faz necessário a realização de testes práticos destes dispositivos, a fim de validar sua capacidade, desempenho, eficiência e limitações de operação quando integrada aos algoritmos e demais dispositivos do transceptor Brasil 6G. A seguir, estão apresentados mais detalhes técnicos destes dispositivos.

O modelo LimeSDR-PCIe foi selecionado devido ao fato de ser uma plataforma de *hardware* desenvolvida pelo próprio fabricante do chipset LMS7002M. O chipset em questão opera em uma ampla faixa de frequências, de 100 kHz a 3 GHz, incluindo as frequências inicialmente previstas para a operação do transceptor Brasil 6G, que é a faixa de UHF. o chipset permite a operação com largura de banda da ordem de 61,44 MHz, sendo suficiente para atender a largura de banda prevista para o sistema e suporta também a operação com MIMO 2x2.

A Tabela 13 mostra as especificações principais do front-end de RF LimeSDR [15], que é considerado um candidato a compôr o *hardware* do transceptor do projeto Brasil 6G de complexidade reduzida.

Tabela 13: Especificações técnicas do front-end de RF candidato para o transceptor de complexidade reduzida: LimeSDR.

Parâmetro	Especificações LimeSDR PCIe [15]
Transceiver	LMS7002M
Faixas de frequência	100 kHz a 3,8 GHz
Largura de banda máxima	61,44 MHz
Potência de saída	10 dBm
Conversores AD/ DA	12 bits
Taxa de amostragem	61,44 Msps
Entradas / Saídas de RF	2 / 2
Interface com PC	PCIe x4

Como opção alternativa ao *front-end* de RF ofertado pela empresa LIME, foi selecionado o modelo BladeRF 2.0 micro xA4, da empresa Nuand [16]. Este *front-end* emprega um chipset fabricado pela empresa Analog Devices, mais especificamente o modelo AD9361, que é um dispositivo que possui algumas características técnicas compatíveis com o transceptor Brasil 6G de complexidade reduzida. O chipset em questão opera em uma ampla faixa de frequências, variando de 47 MHz a 6 GHz na transmissão e de 70 MHz a 6 GHz na recepção. Com relação a largura de banda suportada, 56 MHz, a mesma é suficiente para atender a largura de banda prevista para o transceptor. O chipset integra conversores A/D e D/A de 12 bits e suporta operação com MIMO 2x2.

A Tabela 14 mostra as especificações do front-end de RF BladeRF [16].

Tabela 14: Especificações técnicas do front-end de RF candidato para o transceptor de complexidade reduzida: LimeSDR.

Parâmetro	Especificações BladeRF xA4 [16]
Transceiver	AD9361
Faixas de frequência	Transmissão: 47 MHz a 6GHz Recepção: 70MHz a 6 GHz
Largura de banda máxima	56 MHz
Potência de saída	8 dBm
Conversores AD/ DA	12 bits
Taxa de amostragem	61,44 Msps
Entradas / Saídas de RF	2 / 2
Interface com PC	USB 3.0

4.4 Transceptor Brasil 6G de complexidade reduzida: composições da ODU

A ODU do transceptor de baixa complexidade pode ser implementada de maneiras distintas. Caso a necessidade de uso do transceptor Brasil 6G de complexidade reduzida seja para a realização de testes em laboratório e com baixa potência, pode-se considerar apenas sua IDU. A seguir estão apresentadas 3 possibilidades principais de montagem ou composição do transceptor Brasil 6G de baixa complexidade:

1. Transceptor formado apenas por sua IDU e antenas: esta seria a opção de menor custo do transceptor e que viabiliza a realização de testes em laboratório, integração com outras tecnologias, bem como testes de novas funcionalidade. Os testes, neste caso, devem considerar o uso de baixa potência de transmissão e curto alcance. As antenas de transmissão e recepção, neste caso, podem ser antenas omnidirecionais para uso *indoor*, que são normalmente fornecidas juntamente com os *front-ends* de RF.
2. Transceptor formado por sua IDU, duplexer e antena: O transceptor continua a cumprir os objetivos listados no item anterior, porém o emprego do duplexer permite otimizar o número de antenas necessárias para compôr o transceptor. Para o caso do sistema SISO, com o emprego do duplexer seria necessário apenas 1 antena, ao invés de duas.
3. ODU idêntica aquela empregada pelo transceptor de alta capacidade (vide seção 4.2): o emprego da ODU completa permite ao transceptor de complexidade reduzida transmitir com potências mais elevadas e atender aplicações de campo, provendo conectividade em longas distâncias.

4.5 Dispositivos de RoF

A plataforma de *hardware* do transceptor Brasil 6G prevê a possibilidade de integração da IDU com a ODU através de dispositivos ópticos empregando a tecnologia de RoF, conforme ilustrado na Figura 2. As soluções de RoF tem sido empregadas em arquiteturas de *centralized-radio access network* (C-RAN) permitindo simplificar o projeto da *remote antenna unit* (RAU). Essa abordagem tem o objetivo de centralizar as funções de processamento de sinais e deslocar

o *front-end* de RF para uma *central office* a fim de simplificar as operações da *remote radio unit* (RRU). Dessa forma, a técnica de RoF realiza a conversão eletro-óptica do sinal de RF para adequá-lo ao canal de transmissão até a RRU que é um enlace de fibra óptica. Na outra ponta desse enlace, é realizada uma conversão opto-elétrica, recuperando o sinal transmitido para o domínio elétrico.

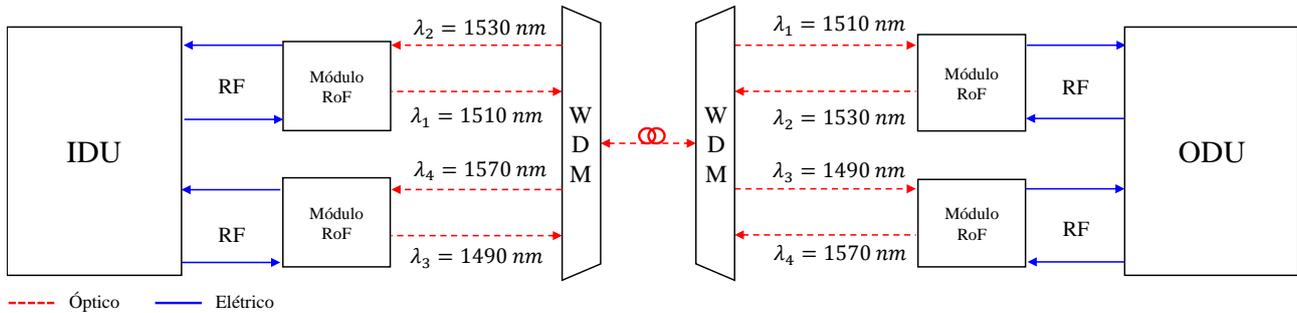


Figura 2: Dispositivos necessários para criar uma interface de RoF para operação MIMO 2x2 do Transceptor 6G.

Dentro do projeto do transceptor Brasil 6G se fez necessário a definição dos componentes que realizam as conversões E/O e O/E. Especificamente, a conversão E/O pode ser realizada por meio das técnicas de modulação direta ou externa, sendo as de modulação direta menos complexas e de menor custo em relação a modulação externa. Em vista disso, os dispositivos escolhidos para serem aplicados no projeto foram os que realizam a modulação direta, e são encontrados no mercado nomeados como módulos RoF. Os módulos devem atender aos requisitos estabelecidos pelo projeto principalmente relacionado a faixa de frequências de operação, compreendida de 488 a 758 MHz, mas além disso, deve ser especificado para uma potência óptica de transmissão suficiente para comunicação através do enlace de fibra óptica de no mínimo 12 km (distância estimada entre o Inatel e o morro das 3 Torres). Adicionalmente, para suportar a operação com MIMO 2x2 e a comunicação através de uma única fibra óptica é necessário a especificação de quatro comprimentos de onda distintos para as portadoras ópticas, dois para *uplink* e dois para *downlink*, e empregar a técnica de *wavelength division multiplexing* (WDM). Além disso, é importante que os comprimentos de onda escolhidos sejam diferentes daqueles usados pelos provedores de Internet via fibra na região, por exemplo 1310 e 1550 nm, para assim existir a possibilidade da utilização de uma infraestrutura de rede óptica instalada sem causar interferências. Ou seja, foram especificados quatro módulos RoF, cujas especificações são semelhantes, exceto pelo comprimento de onda de transmissão, como ilustrado na Figura 2.

As características técnicas principais dos módulos RoF consideradas para realizar a conexão entre a IDU e a ODU do transceptor Brasil 6G estão apresentadas na Tabela 15. Vale mencionar que os módulos candidatos a compôr o sistema do transceptor do projeto Brasil 6G possuem LNA embutido, os quais compensam as perdas devido as conversões.

Tabela 15: Especificações técnicas do módulo RoF candidato para aquisição.

Parâmetro	Especificação
Modelo	OZ816
Faixas de frequência	20 a 6000 MHz
Comprimentos de onda	1490 nm / 1510 nm / 1530 nm / 1570 nm
Potência de entrada de RF	≤ 3 dBm
Potência de saída óptica	≤ 8 dBm
Potência de entrada óptica	≤ 11 dBm
Ganho do LNA embutido	≥ 15 dB

5 Especificação do componentes das redes complementares

Diego G. S. Pivoto, Tibério Tavares Rezende
 diego.gabriel@inatel.br, tiberio@mtel.inatel.br

Esta seção apresenta informações relacionadas à especificação dos componentes das redes complementares para suporte ao Projeto Brasil 6G. Desta forma, a subseção 5.1 descreve os componentes para o enlace satelital, enquanto que as subseções 5.2 e 5.3 introduzem a especificação dos equipamentos para o ambiente de *cloud computing* e para a rede *Future Internet Brazilian Environment for Experimentation* (FIBRE), respectivamente.

5.1 Especificação dos equipamentos para Enlace Satelital (SINDISAT)

Em relação ao enlace de comunicação por satélite os parceiros do Sindicato Nacional das Empresas de Telecomunicações por Satélite (SINDISAT) podem ofertar um ou mais *links* de satélite real para realização de testes práticos. De acordo com as informações disponibilizadas pelos parceiros do projeto SINDISAT C, existe a possibilidade em análise de dois ambientes de teste via satélite, que incluem, soluções GEO em banda Ka ou Ku e solução MEO em banda Ka, sendo elas:

1. **Claro/*ST Engineering*, configuração GEO:** nesse caso utilizaríamos satélite da Star One em banda Ka com os equipamentos de rede da *ST Engineering*. A estação remota seria instalada em Santa Rita do Sapucaí/MG e o Gateway (Hub) seria instalado em Guaratiba/RJ. Será necessário um canal de comunicação entre Guaratiba e o Inatel. Neste caso temos a possibilidade de incorporar o ambiente da rede móvel da Claro nos testes via satélite. Essa possibilidade precisaria ser melhor analisada pela Claro;
2. **SES/COMTECH, configuração MEO:** nesse caso utilizaríamos a constelação O3b da SES em banda Ka com os equipamentos de rede da Comtech. Precisaremos utilizar uma remota já instalada em algum dos sites da SES no Brasil e o Gateway seria o da SES em Hortolândia/SP. Será necessário um canal de comunicação entre Hortolândia e o Inatel. Novamente, podemos avaliar as possibilidades de integrar o sistema satélite à rede da Claro ou de outra operadora de celular.

Além das informações apontadas foi observada a possibilidade de combinar soluções com mais de um satélite GEO. Mas, para tanto, os parceiros do SINDISAT precisam nos ajudar a equacionar a questão de conectividade entre vários sites e o Inatel.

5.2 Especificação dos componentes do Ambiente de Cloud Computing (UFG)

O ambiente de *Cloud Computing* do *Laboratório Multiusuário de Computação de Alto Desempenho* (LaMCAD) se destina à computação em nuvem e funciona basicamente através da criação e disponibilização de máquinas virtuais (VMs) e contêineres aos usuários. Atualmente, a infraestrutura destinada a esse ambiente é composta por um total de 10 servidores blade, 1 servidor de rack e 1 storage, sendo todo o *cluster* adquirido da empresa Dell/EMC. As especificações desses equipamentos são apresentadas a seguir.

1. 10 servidores blade, cada um configurado com 20 núcleos em 2 processadores Intel Xeon E5, 128 GB de memória RAM e 558 GB em discos locais.
2. 1 servidor de rack configurado com 20 núcleos em 2 processadores Intel Xeon Silver, 128 GB de memória RAM e 2,2 TB em discos locais.
3. 1 storage configurado com 8 núcleos em 2 processadores Intel Quad-Core, 32 GB de memória RAM e 140 TB em discos.

Ao todo, o ambiente reúne 220 núcleos de processamento, aproximadamente 1,5 TB de memória RAM e 148 TB de armazenamento.

5.3 Especificação dos componentes da plataforma FIBRE

Dentro do escopo do projeto Brasil 6G o Inatel/MG administtra uma ilha operacional da rede FIBRE da Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP). Inicialmente a rede FIBRE está localizada no *Information and Communications Technologies Laboratory* (ICT Lab) e possui quatro nós ativos em operação. Os nós foram denominados respectivamente: FIBRE EDGE 1, 2, 3 e 4 para facilitar a identificação e o gerenciamento. Para que os servidores pudessem ser integrados à rede FIBRE, diversos trabalhos e configurações tiveram que ser realizados tanto nas máquinas físicas, como na formatação e instalação de *softwares* e na rede interna do ICT Lab.

O primeiro servidor a ser inserido na rede do FIBRE foi o Dell PowerEdge R540, denominado FIBRE EDGE 1 (Tabela 16). Esse servidor possui 16 núcleos de processamento e 64 GB de memória *Random Access Memory* (RAM) dedicados exclusivamente para suporte do sistema operacional GNU/Linux CentOS 7, necessário para compatibilidade com o FIBRE. O servidor FIBRE EDGE 1 foi definido como ponto central da rede FIBRE e armazena as configurações de gerência da ilha do ICT Lab. Esse servidor serve para manutenção e monitoramento da saída da rede com os nós externos ao laboratório. Inicialmente, todas as aplicações serão instaladas nos outros nós da ilha (FIBRE EDGE 2, 3 e 4), a não ser que algum programa exija necessidade de instalação nesse servidor. A Figura 3 mostra o rack onde os servidores FIBRE EDGE 1 e 2 estão instalados no ICT Lab. Os servidores devem ficar em funcionamento 24 horas por dia em 7 dias na semana, para isso um nobreak 6kVA senoidal foi colocado para regular a voltagem e manter os equipamentos em funcionamento caso haja queda ou variações bruscas de energia.

Tabela 16: Especificações de *hardware* FIBRE EDGE 1.

Componente	Especificação
Fabricação do sistema:	DELL PowerEdge R540
Processador:	Intel Xeon Silver 4110 CPU 2.33 GHz 16 Núcleos
Memória:	64 GB RAM
Armazenamento:	1x HDD 1 TB; 2x SSD 480 GB
Interface de rede:	6x NIC 10 Gigabit
Interface gráfica:	Graphics llvmpipe (LLVM 6.0, 256 bits)

O servidor FIBRE EDGE 2 será utilizado para a instalação dos *softwares* das aplicações e do núcleo da rede 5G/6G visando testes. Essa instalação pode conter máquinas virtuais ou imagens de sistemas pré compilados (virtualização do recurso de *hardware*, sistema operacional, aplicativo e aplicação) como contêiner. No contexto dos projetos SINDISAT e Brasil 6G,

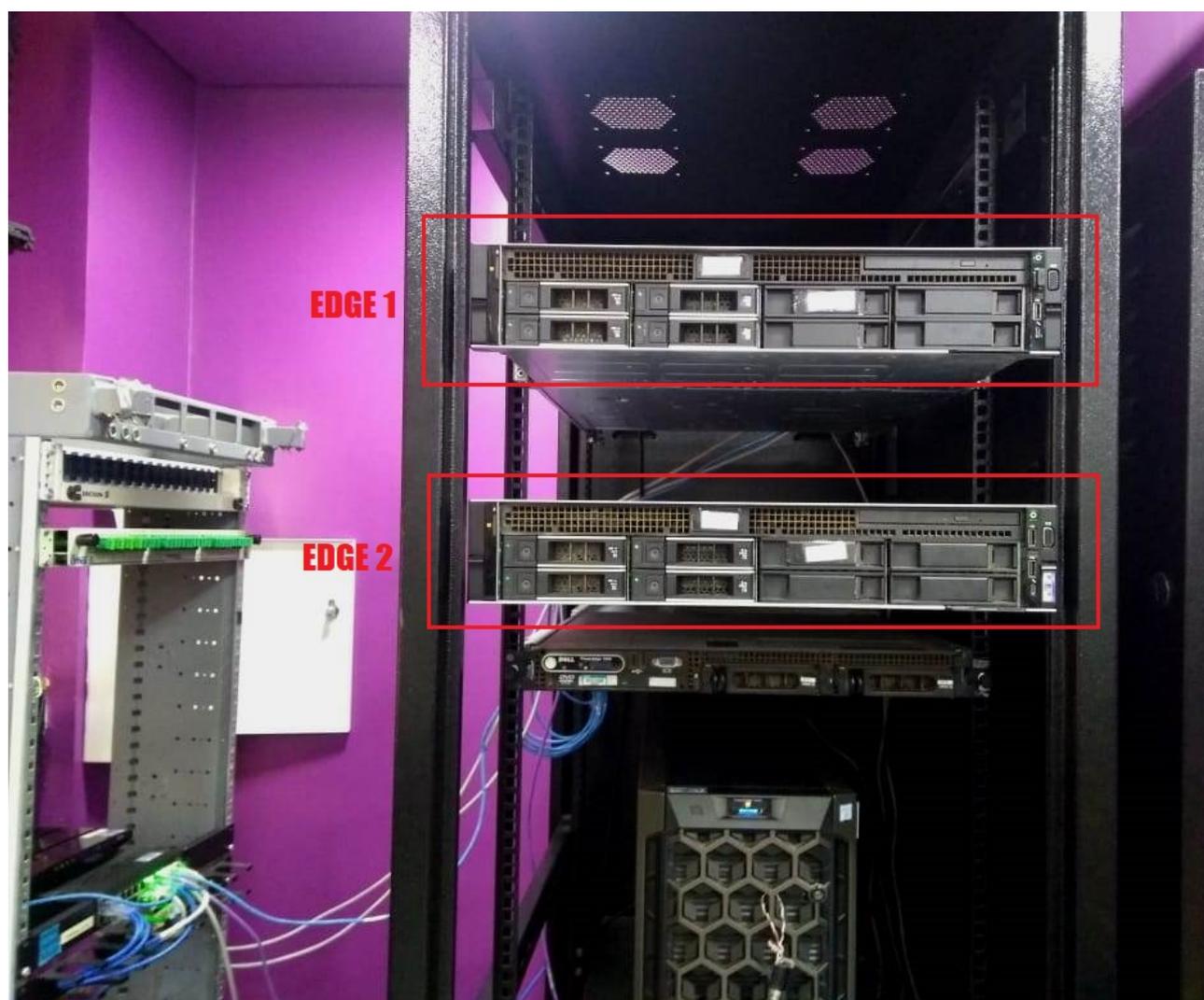


Figura 3: Imagem do rack de servidores com FIBRE EDGE 1 e 2 destacados em vermelho.

exemplos desses *softwares* são plataformas de virtualização para a integração dos componentes necessários para a correta comunicação entre as redes dos laboratórios do Inatel, a integração com as demais ilhas FIBRE, integração com a nuvem de instituições parceiras como a Universidade Federal de Goiás (UFG) visando testes e validação das integrações. A Tabela 17 mostra as especificações do servidor FIBRE EDGE 2.

Tabela 17: Especificações de *hardware* FIBRE EDGE 2.

Componente	Especificação
Fabricação do sistema:	DELL PowerEdge R540
Processador:	Intel Xeon Silver 4110 CPU 2.33 GHz 16 Núcleos
Memória:	64 GB RAM
Armazenamento:	1x HDD 1 TB; 2x SSD 480 GB
Interface de rede:	6x NIC 10 Gigabit
Interface gráfica:	Graphics llvmpipe (LLVM 6.0, 256 bits)

Da mesma forma que o servidor FIBRE EDGE 2, os servidores EDGE 3 e 4 também serão

utilizados para suporte às demandas das aplicações e núcleo da rede 5G/6G. O objetivo é testar diferentes plataformas que se enquadram ao escopo do projeto e validar cenários já criados em outras instituições. Os servidores serão alocados conforme demanda dos requisitos de *software*. As Tabelas 18 e 19 apresentam as especificações de *hardware* dos servidores EDGE 3 e 4, respectivamente. A Figura 4 mostra a bancada onde foram instalados os servidores EDGE 3 e 4. Nessa bancada existe a instalação de uma régua de voltagem ligada a um nobreak de 2,2 kVA específico para suporte a estes servidores.

Tabela 18: Especificações de *hardware* FIBRE EDGE 3.

Componente	Especificação
Fabricação do sistema:	ASUS system model all series BIOS 1205, barramento 64-bit
Processador:	Intel Core i7-4770 CPU 3.40GHz (8 CPUs), 3.4GHz velocidade 3512 MHz
Memória:	16 GB RAM
Armazenamento:	1x HDD 4,00 TB; 1x HDD 500,00 GB; 1x SSD 500,00 GB
Interface de rede:	1x NIC 10/100/1000 Gigabit Ethernet
Interface gráfica:	Intel Internal HD Graphics 4600

Tabela 19: Especificações de *hardware* FIBRE EDGE 4.

Componente	Especificação
Fabricação do sistema:	DELL PowerEdge R540
Processador:	Intel Core i7-4770 CPU 3.40GHz (8 CPUs), 3.4GHz velocidade 3512 MHz
Memória:	16 GB RAM
Armazenamento:	1x HDD 4,00 TB; 1x HDD 500,00 GB; 1x SSD 500,00 GB
Interface de rede:	1x NIC 10/100/1000 Gigabit Ethernet
Interface gráfica:	Intel Internal HD Graphics 4600



Figura 4: Imagem da bancada com os servidores FIBRE EDGE 3 e 4.

5.4 Especificação dos componentes do acesso Non-3GPP - Wi-fi (UFG)

A arquitetura de acesso via conexão Wi-Fi não 3GPP não confiável é composta, principalmente, por artefatos virtualizados que são hospedados em máquinas de propósito geral. Para este fim, serão utilizados os recursos disponíveis nas ilhas operacionais da rede FIBRE. Além disso, na arquitetura proposta (Figura 5), serão utilizados dois outros componentes, um ponto de acesso Wi-Fi e uma solução de código aberto que implementa o equipamento de usuário disponibilizado pelo projeto My5G.

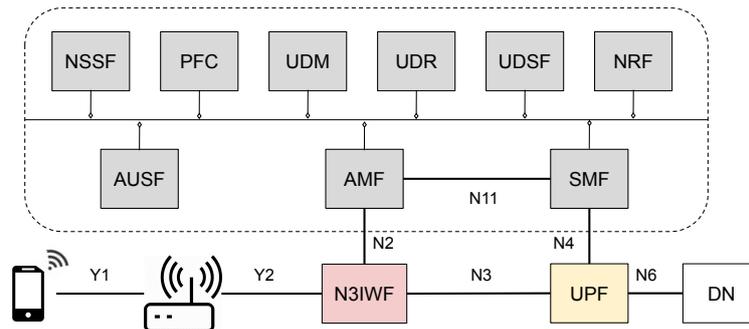


Figura 5: Arquitetura Non-3GPP Access - Wifi proposta.

6 Conclusão

Juliano Silveira Ferreira
silveira@inatel.br

O projeto Brasil 6G contempla a especificação e desenvolvimento de uma plataforma de pesquisa, desenvolvimento e testes práticos envolvendo novas funcionalidades, algoritmos, tecnologias e aplicações previstas para compôr um protótipo da futura rede de comunicação móvel, o 6G. O presente relatório apresentou um detalhamento dos componentes e dispositivos de *hardware* para compôr a plataforma. Os principais dispositivos de *hardware*, suas características e especificações técnicas foram identificadas levando-se em consideração a disponibilidade de componentes comerciais, bem como o custo de aquisição dos mesmos. O resultado desta especificação é uma plataforma com alta capacidade de processamento, capaz de atender as demandas das principais aplicações vislumbradas para as futuras redes 6G.

Referências

- [1] Projeto Brasil 6G, “Estado da Arte em Inteligência Artificial Aplicada a Redes 6G,” *Inatel*, agosto 2021.
- [2] C. De Lima, D. Belot, R. Berkvens, A. Bourdoux, D. Dardari, M. Guillaud, M. Isomursu, E.-S. Lohan, Y. Miao, A. N. Barreto *et al.*, “Convergent communication, sensing and localization in 6G systems: An overview of technologies, opportunities and challenges,” *IEEE Access*, 2021.
- [3] T. S. Rappaport, Y. Xing, O. Kanhere, S. Ju, A. Madanayake, S. Mandal, A. Alkhateeb, e G. C. Trichopoulos, “Wireless Communications and Applications Above 100 GHz: Opportunities and Challenges for 6G and Beyond,” *IEEE Access*, v. 7, p. 78 729–78 757, 2019.
- [4] Y. Yuan, Y. Zhao, B. Zong, e S. Parolari, “Potential key technologies for 6G mobile communications,” *Science China Information Sciences*, v. 63, 2020.
- [5] A. Ghadani, A. K. Abdullah, W. Mateen, e R. G. Ramaswamy, “Tensor-based cuda optimization for ann inferencing using parallel acceleration on embedded gpu,” in *IFIP International Conference on Artificial Intelligence Applications and Innovations*. Springer, 2020, p. 291–302.
- [6] Intel , “Processador Intel Core i9-10980XE Extreme Edition,” [Online]. Disponível em: <https://www.intel.com.br/content/www/br/pt/products/sku/198017/intel-core-i910980xe-extreme-edition-processor-24-75m-cache-3-00-ghz/specifications.html>. Acessado em: 15 de julho de 2022.
- [7] Nvidia , “Geforce RTX 3070 E RTX 3070 TI,” [Online]. Disponível em: <https://www.nvidia.com/pt-br/geforce/graphics-cards/30-series/rtx-3070-3070ti/>. Acessado em: 15 de julho de 2022.
- [8] Centro de Referência em Radiocomunicações (CRR) Inatel, “Atividade 2.1 - Definição das arquiteturas física e lógica da rede protótipo,” *Projeto Brasil 6G*, Jul. 2022.
- [9] —, “Contribuições para a Camada Física de Redes 6G,” *Projeto Brasil 6G*, fev. 2022.
- [10] Intel , “Processador Intel Core i9-11900K,” [Online]. Disponível em: <https://ark.intel.com/content/www/br/pt/ark/products/212325/intel-core-i911900k-processor-16m-cache-up-to-5-30-ghz.html>. Acessado em: 15 de julho de 2022.
- [11] National Instruments , “PCIe-8371, Dispositivo para placa PXI de controle remoto,” [Online]. Disponível em: <https://www.ni.com/pt-br/support/model.pcie-8371.html>. Acessado em: 15 de julho de 2022.
- [12] National Instruments, “USRP-2952 Specifications,” [Online]. Disponível em: <https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/usrp-2952-specs/page/specs.html>. Acessado em: 13 de julho de 2022.
- [13] —, “USRP-2954 Specifications,” [Online]. Disponível em: <https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/usrp-2954-specs/page/specs.html>. Acessado em: 14 de julho de 2022.

- [14] Intel, “Processador Intel Core i9-9900K,” [Online]. Disponível em: <https://ark.intel.com/content/www/br/pt/ark/products/186605/intel-core-i99900k-processor-16m-cache-up-to-5-00-ghz.html>. Acessado em: 14 de julho de 2022.
- [15] Lime Microsystems, “LimeSDR PCIe,” [Online]. Disponível em: <https://limemicro.com/products/boards/limesdr-pcie/>. Acessado em: 13 de julho de 2022.
- [16] Nuand, “bladeRF 2.0 micro xA4,” [Online]. Disponível em: <https://www.nuand.com/product/bladeRF-xA4/>. Acessado em: 24 de julho de 2022.