



**RELATÓRIO DE DESENVOLVIMENTO DO
HARDWARE DE RADIOFREQUÊNCIA DA O-RU**

CONTRIBUIÇÕES DO CPQD

A2.2 – Desenvolvimento de Hardware

OpenRAN@Brasil – Fase 2

Sumário

Sumário.....	2
Lista de Figuras.....	3
Lista de Acrônimos.....	4
Resumo.....	6
1 Introdução.....	7
2 Descrição do Hardware da O-RU.....	8
2.1 Requisitos do RFFE e PAM.....	9
2.2 Requisitos dos Filtros Mecânicos.....	10
3 Atividades Iniciais e Mudança de Escopo.....	11
3.1 Arquitetura e <i>Line-up</i> do RFFE, do PAM e Filtros Mecânicos.....	11
3.2 Mudança de Escopo no Desenvolvimento da O-RU.....	13
4 Desenvolvimento do RFFE e do PAM para a Banda n78 – Segmento 2.....	14
4.1 Caracterização Preliminar dos Componentes do PAM.....	20
4.1.1 Pré-Amplificador NXP A5M36TG140.....	20
4.1.2 Pré-Amplificador Qorvo QPA3810.....	23
5 Referências.....	27
6 Histórico de Alterações do Documento Consolidado.....	28
7 Execução e Aprovação.....	29

Lista de Figuras

Figura 1 - Componentes do hardware da O-RU.....	8
Figura 2 - Proposta de arquitetura (diagrama de blocos) do RFFE, PAM e Filtro.....	11
Figura 3 - Definição dos blocos do RFFE, PAM e filtro da banda n78.....	11
Figura 4 - Requisitos dos filtros mecânicos e lista de fabricantes.....	12
Figura 5 - Arquitetura inicial do RFFE, PAM e filtro para a banda n40.....	12
Figura 6 - Arquitetura final do RFFE, PAM e filtro para a banda n40.....	13
Figura 7 - Especificações e desenho do filtro Wevercomm 8T8R para a banda n40.....	13
Figura 8 - Nova arquitetura e componentes para a banda n78.....	14
Figura 9 - Proposta de separação de placas na arquitetura do RFFE, PAM e filtro.....	15
Figura 10 - Arquitetura do RFFE e PAM para a banda n78 – Segmento 2, com definição dos componentes.....	15
Figura 11 - Arquitetura e line-up do projeto Meta Evenstar (banda n3 FDD).....	16
Figura 12 - Controle do RFFE no projeto Meta Evenstar.....	16
Figura 13 - Controle do PAM no projeto Meta Evenstar.....	17
Figura 14 - Canal de observação da recepção do projeto Meta Evenstar.....	17
Figura 15 - Arquitetura do RFFE e PAM para a banda n78 – Segmento 2, com nova definição dos componentes.....	18
Figura 16 - Placa de avaliação (EVB) do componente A5M36TG140.....	20
Figura 17 - Arranjo experimental para avaliação espectral e da potência de saída da EVB A5M36TG140.....	21
Figura 18 - Arranjo experimental para análise de ganho e resposta em frequência da EVB A5M36TG140.....	21
Figura 19 - Espectro e potência de saída da EVB A5M36TG140.....	22
Figura 20 - Ganho e resposta em frequência da EVB A5M36TG140.....	22
Figura 21 - Placa de avaliação QPA3810.....	23
Figura 22 - Arranjo experimental para avaliação espectral e da potência de saída da EVB QPA3810.....	24
Figura 23 - Arranjo experimental para análise de ganho e resposta em frequência da EVB QPA3810.....	24
Figura 24 - Espectro e potência de saída da EVB QPA3810.....	25
Figura 25 - Ganho e resposta em frequência da EVB QPA3810.....	25

Lista de Acrônimos

3GPP	3 rd Generation Partnership Project
ACPR	Adjacent Channel Power Ratio
ADC	Analog-to-Digital Converter
AFE	Analog Front-End
AGC	Automatic Gain Control
BPF	Band Pass Filter
CFR	Crest Factor Reduction
DAC	Digital-to-Analog Converter
DFE	Digital Front-End
DL	Downlink
DPD	Digital Predistortion
DSA	Digital Step Attenuator
EVK	Evaluation Kit
FDD	Frequency Division Duplexing
IBW	Instantaneous Bandwidth
LTE	Long Term Evolution
OccBW	Occupied Bandwidth
O-RAN	Open Radio Access Network
O-RU	Open Radio Unit
PA	Power Amplifier
PAM	Power Amplifier Module
PAPR	Peak-to-Average Power Ratio
RAN	Radio Access Network
RF	Radio Frequency
RFFE	Radio Frequency Front-End
RFSoc	Radio Frequency System-on-Chip
RU	Radio Unit
SFDR	Spurious Free Dynamic Range

TDD	Time Division Duplexing
TIP	Telecom Infra Project
UL	Uplink
5G NR	Fifth Generation New Radio

Resumo

Este documento descreve a evolução das atividades de desenvolvimento do hardware de radiofrequência da unidade de rádio de interface aberta (*open radio unit* – O-RU), com foco nas contribuições do CPQD como parte do escopo do projeto OpenRAN@Brasil Fase 2, conduzido com esforços conjuntos de diferentes instituições de ciência e tecnologia (CPQD, Inatel, Eldorado e RNP).

1 Introdução

Uma Rede de Acesso via Rádio Aberta (*open radio access network* – Open RAN) é uma abordagem para a construção de redes de acesso sem fio com estrutura aberta e definida por software. Ela permite a utilização de componentes de hardware e software de diferentes fornecedores, aumentando a flexibilidade e a eficiência na implementação de redes móveis 5G. A abordagem Open RAN também incentiva a inovação e a competição no setor, contribuindo para a redução dos custos e melhorias na qualidade do serviço.

Uma das principais iniciativas para a promoção da abordagem Open RAN é a O-RAN Alliance, criada em 2018 como uma organização global sem fins lucrativos formada por operadoras de telecomunicações, fabricantes de equipamentos e empresas de tecnologia. Ela tem como objetivo desenvolver e promover a adoção da arquitetura Open RAN nas redes móveis, garantindo a interoperabilidade, segurança e inovação no setor.

A O-RAN Alliance trabalha em colaboração com outras organizações e parceiros para definir padrões e diretrizes para a implementação de redes Open RAN. Um de seus objetivos é especificar a arquitetura dessas redes com os seus diferentes componentes e suas interfaces que se conectam, bem como suas respectivas funcionalidades. Entre esses componentes há a Unidade de Rádio (*radio unit* – RU) Open RAN, conhecida como O-RU e definida como um nó lógico que hospeda tanto a parte “baixa” da camada física (Low-PHY) quanto o processamento de radiofrequência (RF) com base em uma divisão funcional da camada inferior. A O-RU é semelhante ao *Transmission and Reception Point* (TRP) ou *Remote Radio Head* (RRH) do 3GPP, sendo mais claramente especificada pela O-RAN Alliance ao incluir a camada Low-PHY, que abrange por exemplo a transformada (direta e inversa) rápida de Fourier (FFT/iFFT) e a decodificação de sinais de acesso aleatório (e.g. PRACH).

2 Descrição do Hardware da O-RU

O hardware (parte física) da O-RU em desenvolvimento (liderado pelo Inatel) tem as seguintes partes mostradas na Figura 1.

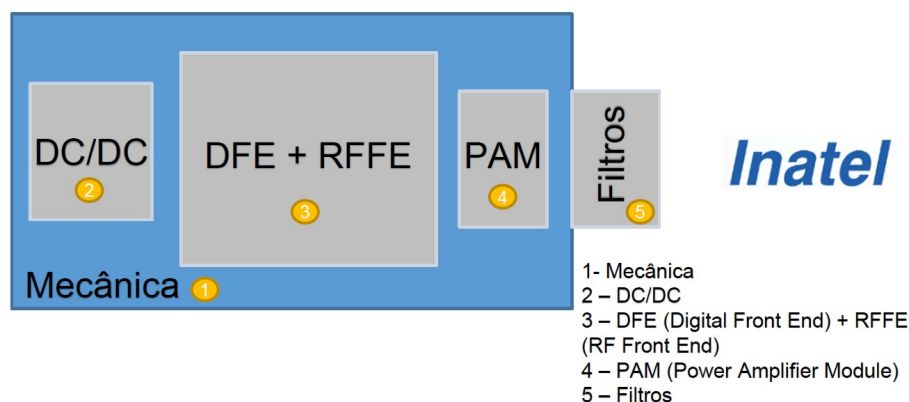


Figura 1 - Componentes do hardware da O-RU.

A Mecânica inclui peças e partes do empacotamento mecânico que compõem o equipamento, como a caixa, *coins* de cobre, paletes, tampa, blindagens de RF, entre outras.

O conversor DC/DC recebe uma tensão de entrada de -48 VDC e fornece tensões para os demais circuitos ativos internos do equipamento, reguladas e geralmente de valor menor, obtidas pela conversão DC/DC.

O *front-end* digital (*digital front-end* – DFE) e o de RF (*radio frequency front-end* – RFFE) incluem o processamento de banda base (desde a interface de *fronthaul* óptica eCPRI), o processamento em banda base da parte baixa da camada física (L1 PHY) e a conversão das cadeias de sinal entre os domínios digital (da banda base) e analógico (RF) na banda de frequência de operação. Ambos serão incorporados em uma mesma placa de circuito impresso (*printed circuit board* – PCB) com diversas interfaces e um sistema em chip de radiofrequência (*radio frequency system-on-chip* – RFSoc) da AMD (Xilinx), para processamento em banda base, transceptor (transmissor/receptor) de RF e base de tempo para sincronização de uma única base de tempo para diferentes O-RUs. O transceptor de RF inclui todos os blocos das cadeias de transmissão (*downlink*) e de recepção (*uplink*), que tratam e condicionam o nível dos sinais analógicos transmitidos e recebidos. Não inclui o módulo amplificador de potência (*power amplifier module* – PAM) e os filtros mecânicos, descritos a seguir.

O PAM realiza a amplificação de alta potência do sinal analógico transmitido nos estágios finais, utilizando técnicas de alta eficiência energética na topologia Doherty e integração com o recurso de pré-distorção digital (*digital predistortion* – DPD) presente no DFE.

Os filtros mecânicos recebem o sinal do PAM e eliminam ou atenuam as emissões fora da banda de transmissão e os sinais indesejados de recepção pela antena. Serão múltiplos, de acordo com o número de portas de transmissão e de recepção e, devido às suas dimensões elevadas, possuem sua própria mecânica para montagem no equipamento.

No início do projeto foi atribuído ao CPQD o desenvolvimento do RFFE, do PAM e dos filtros mecânicos para a banda de frequência n40, na faixa de frequência de 2.3 GHz a 2.4 GHz. Ao Inatel foi atribuído o desenvolvimento do RFFE, do PAM e dos filtros mecânicos para a banda de frequência n78, na faixa de frequência de 3.3 GHz a 3.8 GHz.

Visando reduzir os custos de fabricação do equipamento, houve o consenso de procurar utilizar os mesmos componentes no RFFE das bandas n78 e n40, além de adotar arquiteturas similares para o PAM e para os filtros mecânicos.

2.1 Requisitos do RFFE e PAM

Tanto o RFFE como o PAM seriam desenvolvidos pelo Inatel e pelo CPQD. Com base nos requisitos gerais da O-RU, foram estabelecidos seus principais requisitos específicos para banda n40, listados na Tabela 1.

Tabela 1 - Requisitos do RFFE e do PAM para Banda n40 TDD.

RF Front-End (RFFE)			
Parâmetros	Condições	Valores e Unidades	Referências
Faixa de Frequência		2400 MHz ~ 2300 MHz	3GPP n40 Band TDD
Tecnologias		5G NR e LTE	3GPP Rel.15 (?)
Tipos de Modulação		QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM (DL) $\pi/2$ -BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM (UL)	
Configuração de Portas		8T8R (4T4R min)	TIP, O-RAN, 3GPP
Potência Média (na porta)		40 W (46 dBm)	TIP
Largura de Banda Instantânea (IBW)		100 MHz max.	3GPP
Largura de Banda Ocupada (OccBW)		40 MHz max.	3GPP
Nível na saída diferencial do DAC	2.4 GHz	-18.5 ± 1.5 dBm	AMD-Xilinx ds926
Spurious-free Dynamic Range (SFDR)	2.4 GHz	70 ~ 74.3 dB	AMD-Xilinx ds926
Peak-to-Average Power Ratio (PAPR)		~ 8 dB nom. (with CFR)	
Emissões Espúrias na Transmissão			3GPP
Sensibilidade RX na porta	Depende da modulação	- 101.8 ~ -95.3 dBm	AMD-Xilinx ds926
Tempo de chaveamento TDD		< 10 µs (TX para RX) < 10 µs (RX para TX)	
Controle e Monitoração DSA (Atenuador de Passo Dig.)		5 bits ou serial	
Nível do sinal da entrada do ADC	DSA int. ≥ 15 dB	-64.9 ~ 14.6* dBm	AMD-Xilinx ds926
Conectores de entrada e saída RF		Tipo SMA 50 ohms fêmea	Inatel
Temperatura ambiente de operação		-10°C a +55°C	TIP
Power Amplifier Module (PAM)			

Potência de Saída Média	Sinal modulado	~ 47.8 dBm	Estimada TIP
Variação da Potência de Saída		± 2 dB (normal) ± 2.5 dB (extrema)	
Ganho de potência		40 dB	
Adjacent Channel Power Ratio (ACPR)	1 ^o inf. & 1 ^o sup.	-27 dBc (sem DPD) -45 dBc nom. (com DPD)	Estimada TIP
Emissões indesejadas na Banda de Operação			3GPP, Anatel
Eficiência do Estágio de Saída		> 40%	TIP
Tensão de Alimentação do Dreno		Valor na faixa 25 V ~ 55 V	Inatel
Conectores de entrada e saída RF		Tipo SMA 50 ohms fêmea	Inatel
Resfriamento		Ventilação natural	RNP

2.2 Requisitos dos Filtros Mecânicos

Os filtros mecânicos de saída do tipo passa-faixa (*band pass filter* – BPF) para a banda n40 seriam fornecidos por um fabricante externo com base nos requisitos definidos pelo CPDQ, listados Tabela 2.

Tabela 2 - Requisitos dos Filtros Mecânicos para Banda n40 TDD.

Parâmetros	Condições	Valores e Unidades	Referências
Faixa de Frequência		2400 MHz ~ 2300 MHz	3GPP n40 Band
Impedância		50 Ω	
Perda de inserção (IL)	Fc 2.35 GHz Temp.range	0.60 dB max. 0.75 dB max.	Estimada
IL Ripple		± 0.15 dB max.	Estimada
Perda de retorno (RL)		> 14 dB min., >18 dB tip.	Estimada
Rejeição (fora da banda)	9kHz~300MHz 400~2225MHz 2475~5880MHz 6.0~12.0GHz	> 30 dB > 60 dB > 60 dB > 30 dB	Estimada
Potência Média suportada		≥ 60 W	Estimada
Conectores de entrada e saída RF		SMA 50 ohms fêmea	Inatel
Configuração das portas de antena		8T8R TDD	RNP
Temperatura ambiente de operação		-30°C a +65°C	TIP
Aplicação		Indoor (IP56)	

Dimensões	TBD
Nota: Rev.1 (06/06/2023).	

3 Atividades Iniciais e Mudança de Escopo

3.1 Arquitetura e Line-up do RFFE, do PAM e Filtros Mecânicos

O Inatel, que lidera o desenvolvimento do hardware da O-RU, apresentou a proposta inicial de arquitetura e *line-up* do RFFE, PAM e filtro mecânico, conforme mostrado na Figura 2.

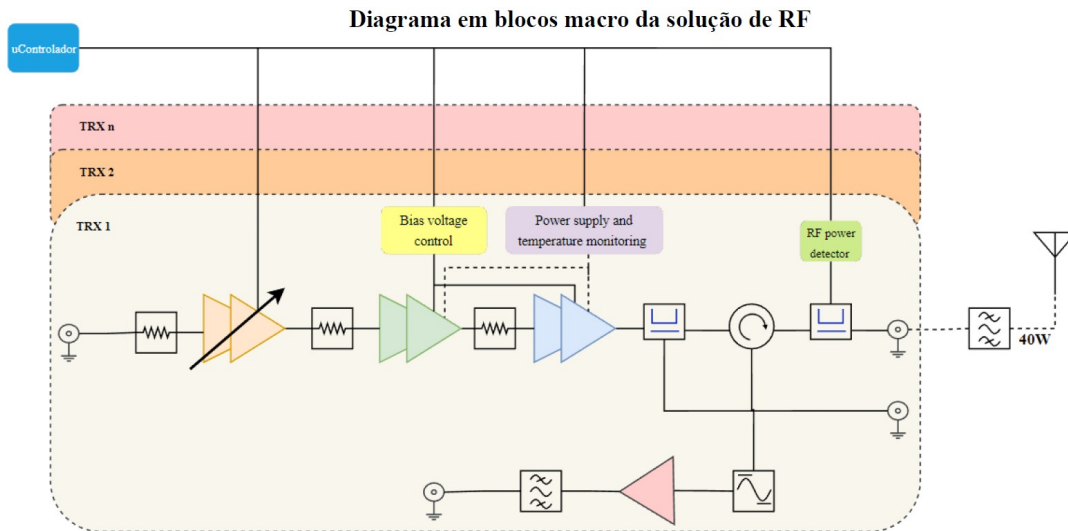
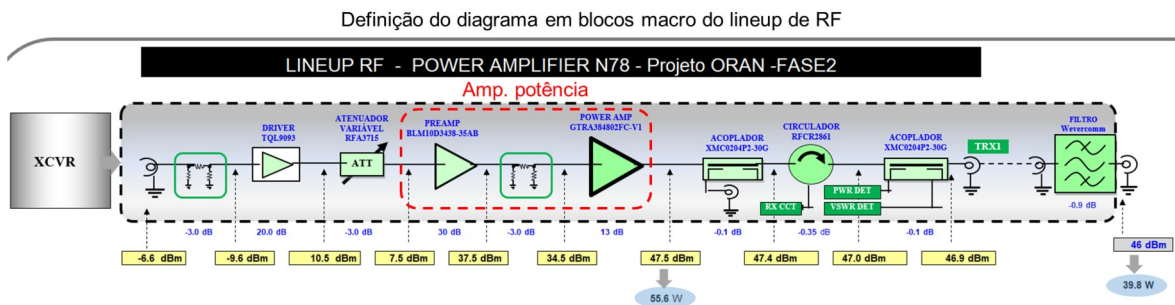


Figura 2 - Proposta de arquitetura (diagrama de blocos) do RFFE, PAM e Filtro.

A partir dessa proposta inicial, foi realizada a análise dos componentes sugeridos, especificamente os do RFFE, visando a utilização comum, com exceção dos filtros passa-faixa. Mais tarde o Inatel apresentou (reunião W15, 24/04/2023) uma definição dos componentes para os blocos definidos, para análise do CPQD, mostrada na Figura 3.

✓ RU N78 completo com front-end de RF



- Elaboração de lineup de RF para análise do ganho/perda de cascata
- Definição da potência de saída do PA ($\approx 60W$) para atingir 40W na antena da ORU
- Definição do PN de componentes como Acoplador, Circulador, Filtro de saída, Atenuador variável
- Proposta inicial para etapa de amplificação de potência

Figura 3 - Definição dos blocos do RFFE, PAM e filtro da banda n78.

A Figura 4 apresenta a definição das especificações dos filtros mecânicos, com a lista de fabricantes para pesquisa e contato para fornecimento.

✓ Banco de filtros de saída para o 5G-in-a-Box N78

Fabricantes avaliados:

- Quantic Corry
- Temwell Group
- Sangshin Elecom
- Sangshin ICT
- RF-Lambda
- Woken Technology
- ESL Technology
- Wainwright Instruments
- Sungsan Electronics

Filtro 8T8R – Fabricante Wevercomm

8T8R Cavity BPF
PART NO. : WVC-8BANK-13

Rev. No.00
Date: 2023. 03. 27

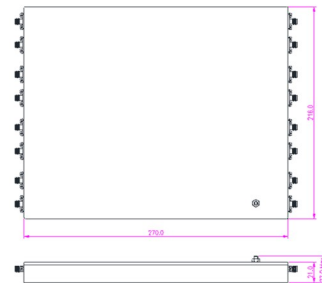
◆ OUTLINE DRAWING

◆ APPLICATION
> For 3300-3800MHz Band System

◆ FEATURE
> High Reliability
> RoHS Compliant

ELECTRICAL SPECIFICATION	
ITEM	SPECIFICATION
Frequency Range	3300~3800MHz
Insertion Loss	0.5dB max.
Ripple	0.5dB max.
Return Loss	18dB Min.
Rejection	30dB Min.@10~900MHz
	60dB Min.@1200~1700MHz
	35dB Min.@1800~3200MHz
	20dB Min.@4500~5000MHz
Power Handling	100W
In/Out Impedance	50 Ohms

ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS	
ITEM	SPECIFICATION
Operating Temperature	-40°C to +85°C



Próximos passos:

- Cotação dos filtros com a Wevercomm

Figura 4 - Requisitos dos filtros mecânicos e lista de fabricantes.

Com estas informações, o CPQD colaborou tanto na análise com sugestões de melhorias na arquitetura e *line-up* do RFFE para a banda n78, como também no desenvolvimento da arquitetura similar para a banda n40, cujos resultados inicial e final (07/2023) são mostrados nas Figuras 5 e 6, as quais incluem também as estimativas dos parâmetros principais de desempenho, tanto na cadeia da transmissão (DL) como da recepção (UL) baseados nos parâmetros de cada componente definido.

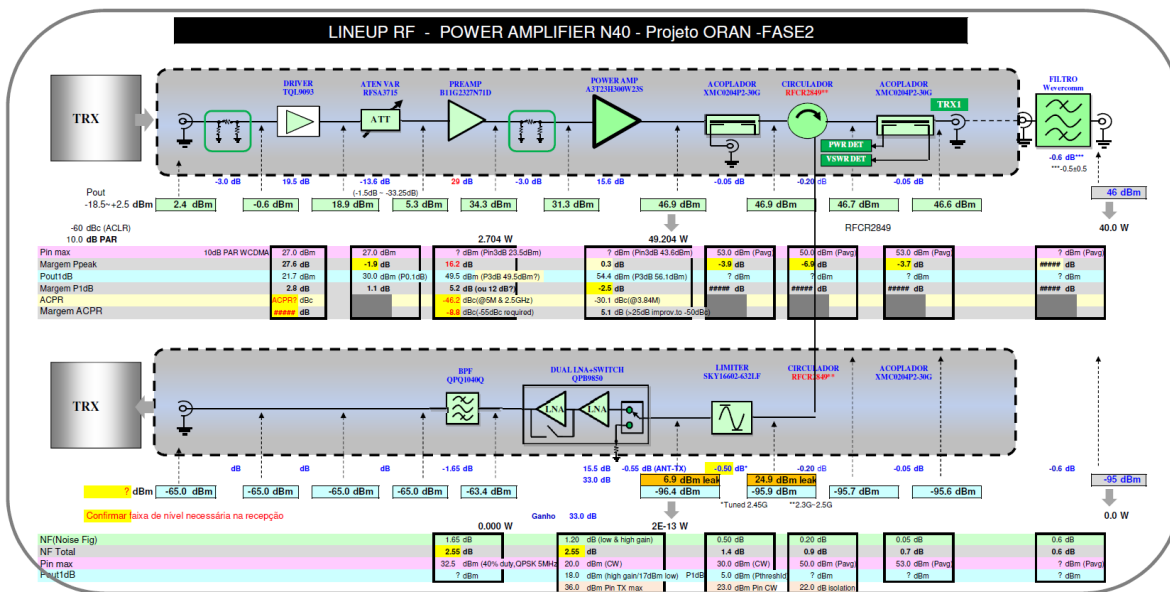


Figura 5 - Arquitetura inicial do RFFE, PAM e filtro para a banda n40.

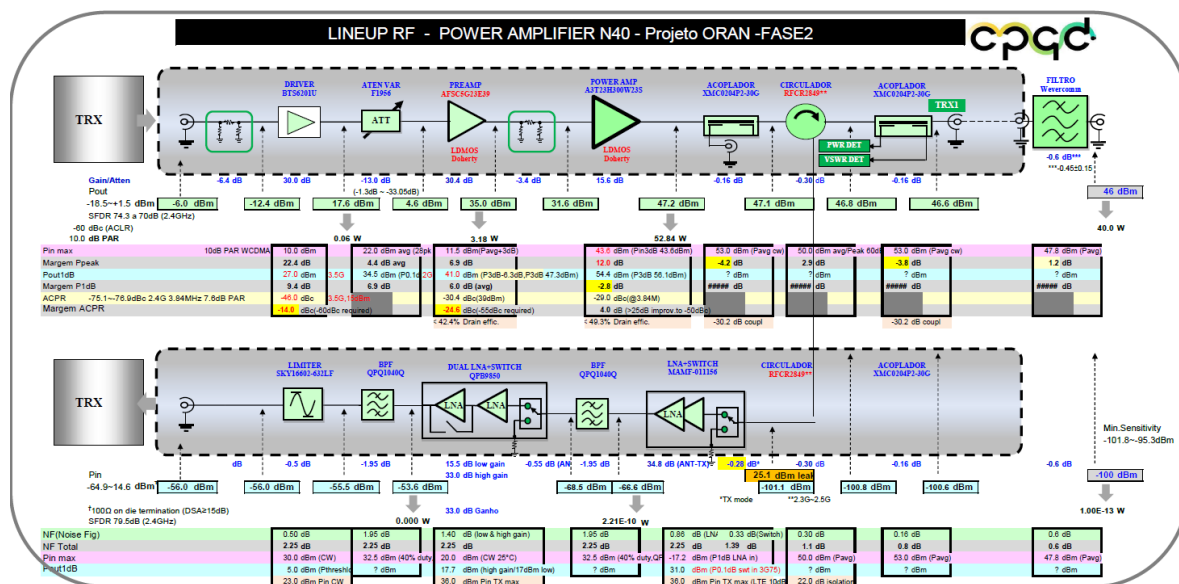


Figura 6 - Arquitetura final do RFFE, PAM e filtro para a banda n40.

A Wevercomm, um dos fabricantes contatados, retornou com especificações e o desenho do filtro, a partir do envio dos requisitos, como mostra a Figura 7.

PART NO. : WVC-8BANK-14

◆ APPLICATION
> For 2300-2400MHz Band System

◆ FEATURE
> High Reliability
> RoHS Compliant

◆ ELECTRICAL SPECIFICATION

ITEM	SPECIFICATION
Frequency Range	2300~2400MHz(3GPP n40 5G NR)
Insertion Loss	0.6dB max.
Ripple	± 0.15 dB Max
Return Loss	14dB Min., 18dB Typ.
Rejection	30dB Min.@9KHz~300MHz
	60dB Min.@400MHz~2225MHz
	60dB Min.@2475MHz~5880MHz
Power Handling	60W CW Max(LTE/5G NR PAR 10 dB)
In/Out Impedance	50 Ohms

◆ ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS

ITEM	SPECIFICATION
Operating Temperature	-30°C to +65°C
Application	Indoor(IP56)

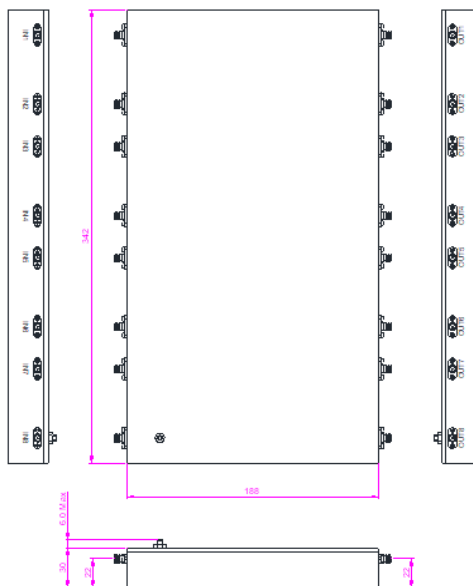


Figura 7 - Especificações e desenho do filtro Wevercomm 8T8R para a banda n40.

3.2 Mudança de Escopo no Desenvolvimento da O-RU

Em uma reunião com representantes das instituições integrantes do projeto, realizada em julho/2023, houve a redefinição do escopo com a separação da banda n78 em dois segmentos — o primeiro com faixa de frequência de 3.3 GHz a 3.6 GHz e o segundo, de 3.6 GHz a 3.8 GHz. O primeiro segmento foi atribuído ao Inatel e o segundo, ao CPQD. Nessa nova divisão das atividades de projeto, o Inatel é agora responsável pelo RFFE dos dois segmentos (banda n78 completa) e pelo PAM do segmento 1, enquanto o CPQD assume o PAM do segmento 2 e o software de controle de todo o circuito de RF.

A redefinição do escopo foi motivada pela dificuldade de se encontrar o componente principal do PAM para operação em toda a banda n78, além das exigências para dissipação térmica desse componente que inviabilizava a caixa mecânica. Essencialmente apenas o requisito da faixa de frequência foi alterado em relação aos requisitos descritos nas Seções 2.1 e 2.2.

4 Desenvolvimento do RFFE e do PAM para a Banda n78 – Segmento 2

Em agosto/2023 houve uma reunião técnica com um consultor da RFPD Richardson, que representa vários fabricantes de componentes do RFFE, PAM e filtro. Ele apresentou várias sugestões de melhoria na arquitetura e novas alternativas de componentes para a banda n78. Também houve contribuições para refinamento das especificações dos requisitos.

Assim, o Intel apresentou uma nova proposta de arquitetura, incluindo melhorias encontradas em notas de aplicações e a definição de alguns novos componentes para o RFFE comum, como mostrado na Figura 8.

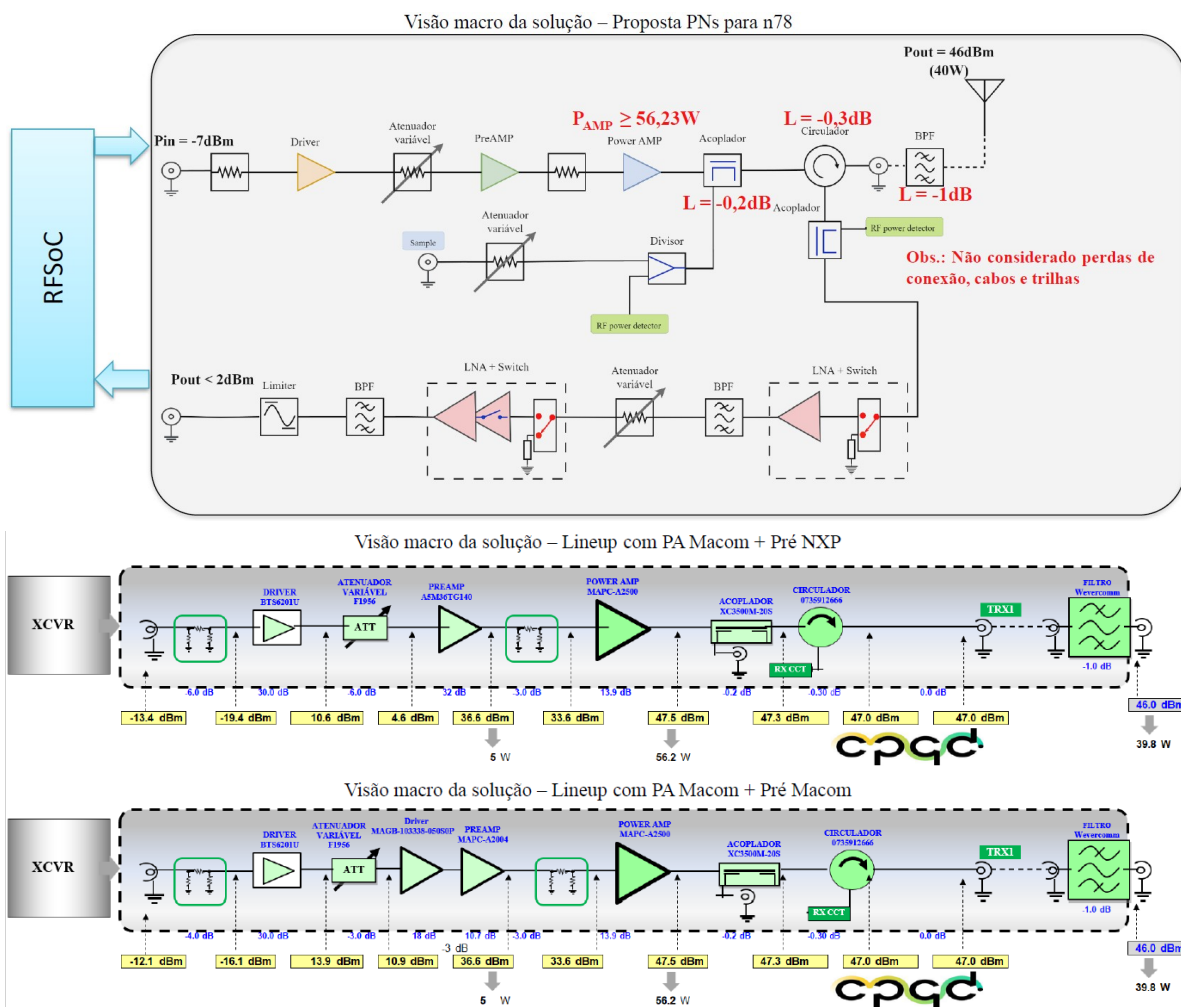


Figura 8 - Nova arquitetura e componentes para a banda n78.

A partir da redefinição do escopo, foi apresentada a proposta de separação das placas do RFFE e do PAM da placa do DFE, como mostra a Figura 9.

LAYOUT #3 – 3 PCB's

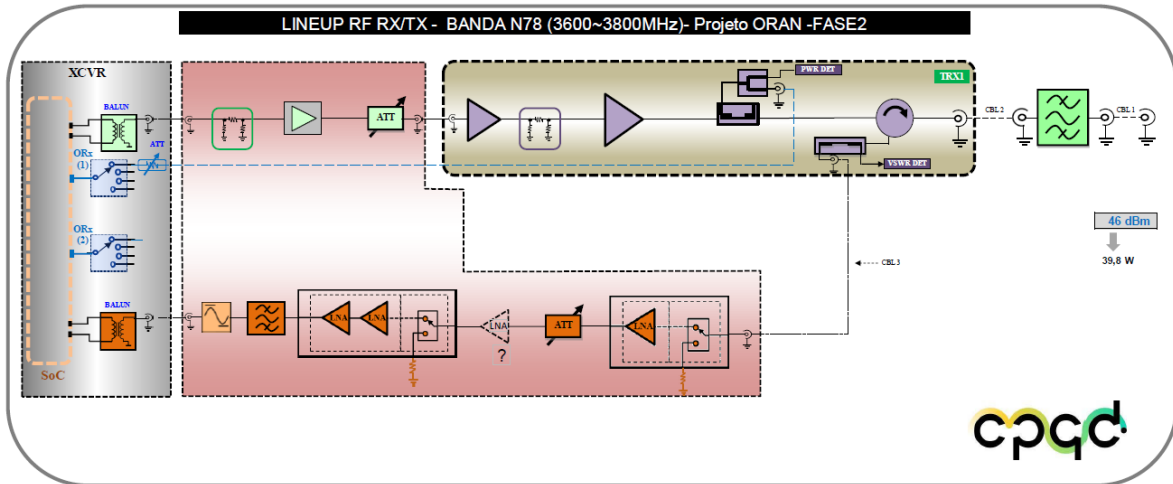


Figura 9 - Proposta de separação de placas na arquitetura do RFFE, PAM e filtro.

Aproveitando os mesmos componentes do RFFE, foi realizado o desenvolvimento do PAM para o segundo segmento da banda n78 (até setembro/2023), como mostra a Figura 10.

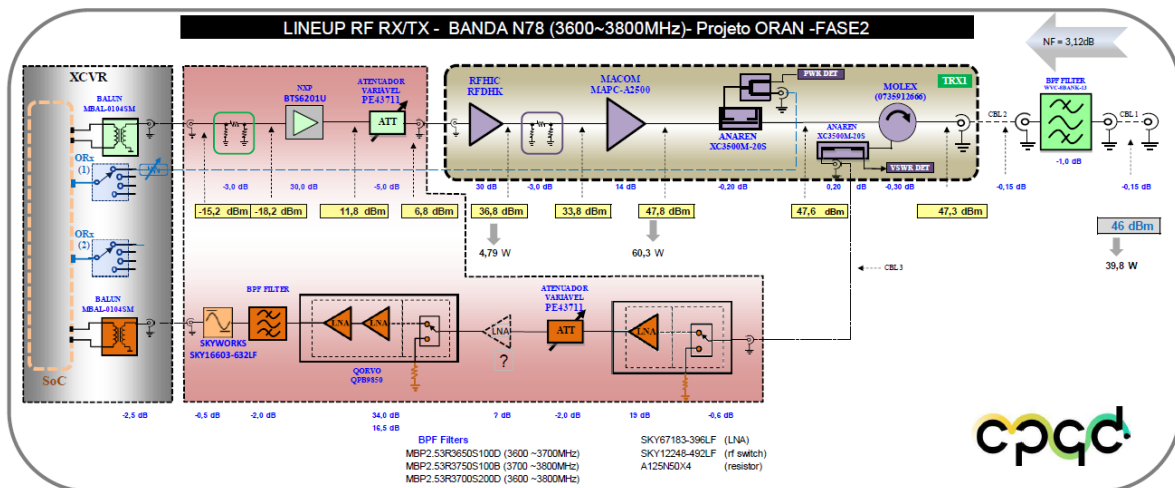


Figura 10 - Arquitetura do RFFE e PAM para a banda n78 – Segmento 2, com definição dos componentes.

No final de agosto/2023 foi disponibilizado pela Meta o projeto de hardware da sua O-RU Evenstar, o qual foi analisado em detalhes para avaliação da possibilidade de aproveitamento no escopo do projeto OpenRAN@Brasil Fase 2. Foram analisados a arquitetura e o *line-up* (definição dos componentes), como mostra a Figura 11.

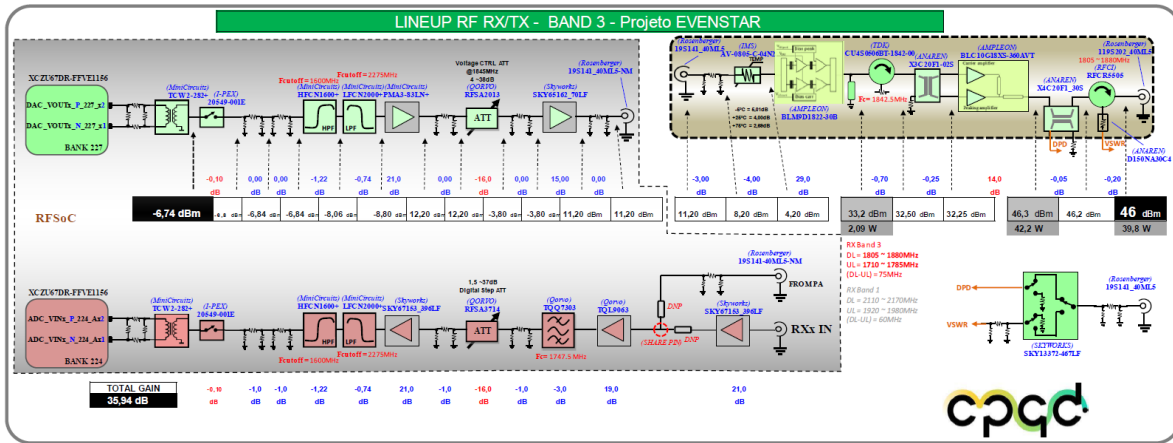


Figura 11 - Arquitetura e line-up do projeto Meta Evenstar (banda n3 FDD).

Ressalta-se que a arquitetura desse projeto é para a banda n3 FDD (*Frequency Division Duplexing*), ou seja, as cadeias de transmissão (*downlink*) e recepção (*uplink*) operam simultaneamente em diferentes faixas de frequência. Para a banda n78 TDD (*Time Division Duplexing*), as cadeias de transmissão e de recepção operam nas mesmas faixas de frequência, com alternância temporal entre a transmissão e a recepção.

Foi analisado também o controle do RFFE, como mostra a Figura 12. Verificou-se que esse controle pode ser simplificado e realizado diretamente pelo RFSoc, sem a necessidade de circuito microcontrolador adicional.

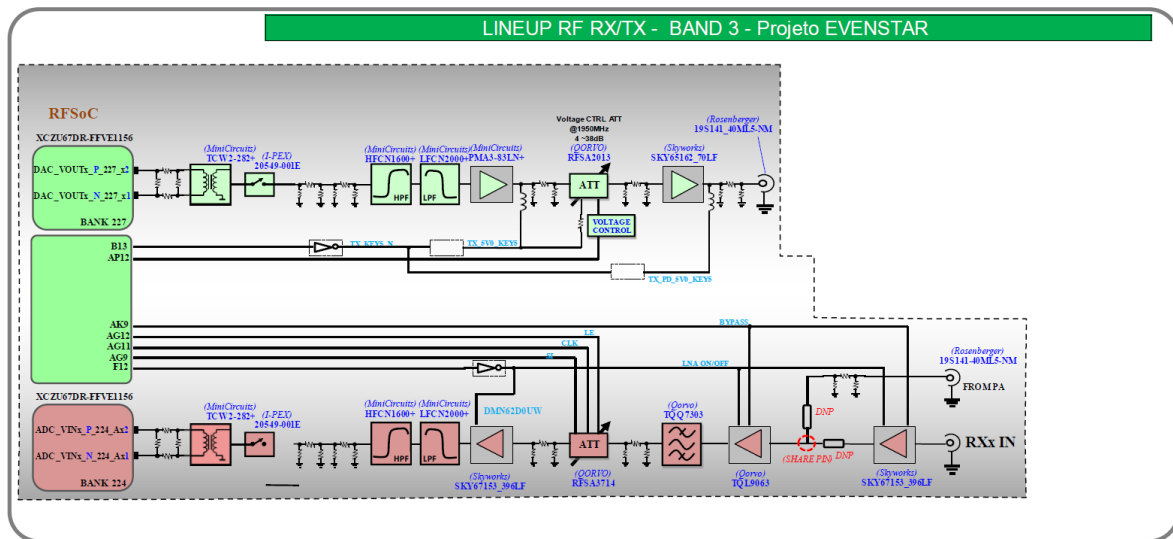


Figura 12 - Controle do RFFE no projeto Meta Evenstar.

Também foi analisado o controle do PAM desse projeto disponibilizado, como mostrado na Figura 13, o qual inclui o sequenciamento das tensões de alimentação, monitoração da temperatura e da potência de saída e as proteções de integridade do PA (*Power Amplifier*), como a de VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*), que causa retorno de alta potência quando há alguma interrupção do circuito até a antena ou algum mau funcionamento dos componentes.

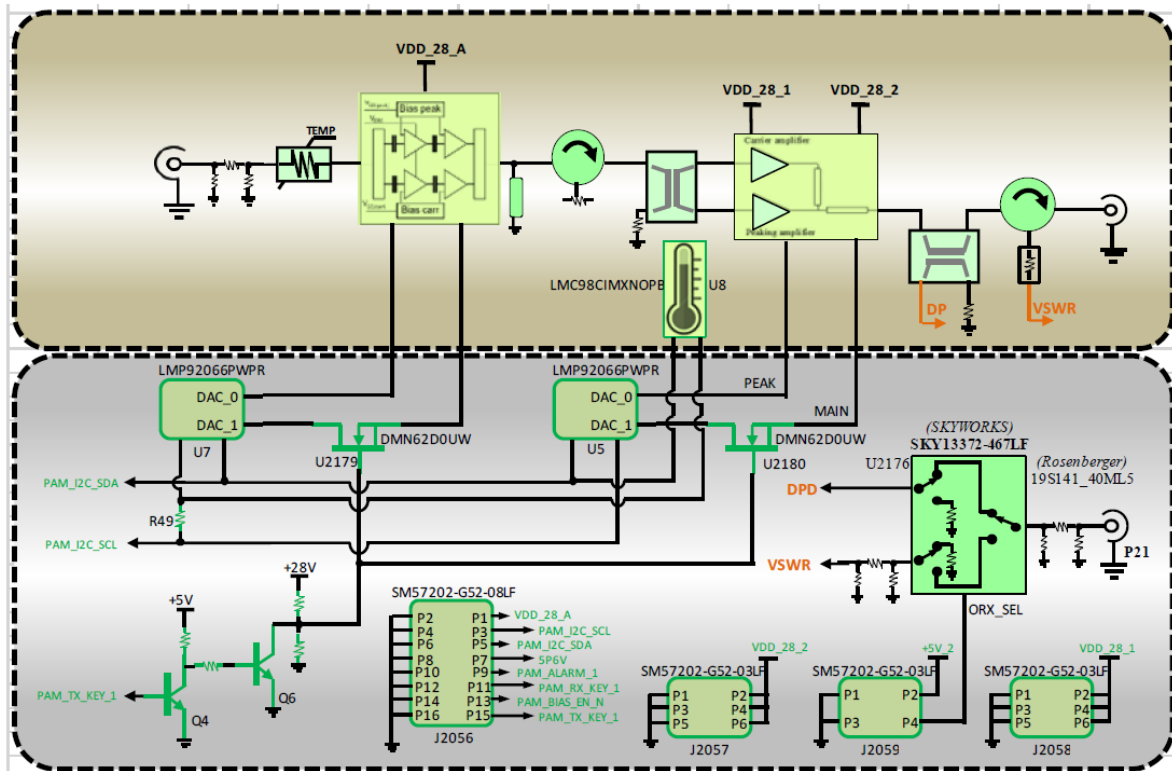


Figura 13 - Controle do PAM no projeto Meta Evenstar.

Também foi analisada a cadeia do canal de observação, como mostrado na Figura 14, similar à cadeia de recepção, exceto pela ausência de amplificação do sinal. Esse circuito dispõe de chaves para seleção entre os diferentes RFFEs, visto que na configuração 8T8R há oito circuitos de transmissão e de recepção, mas o RFSoc dispõe de apenas dois canais de observação. No projeto Evenstar esse canal serve tanto para a calibração do DPD, que ocorre esporadicamente, quanto para a monitoração de VSWR, ou seja, do eventual descasamento de impedância na saída de potência das cadeias de transmissão.

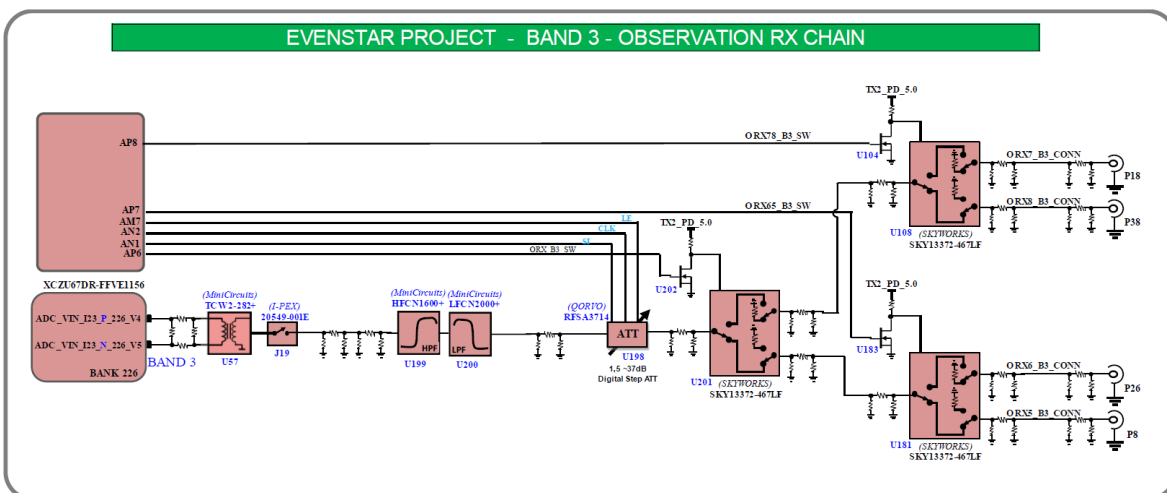


Figura 14 - Canal de observação da recepção do projeto Meta Evenstar.

As atividades de projeto prosseguiram então com a definição dos componentes (*line-up*) do PAM e também do RFFE, como sugestões de contribuição com devidas justificativas para

o Inatel, responsável pelo desenvolvimento. Essa proposta, compartilhada com o Inatel em outubro/2023, é mostrada na Figura 15.

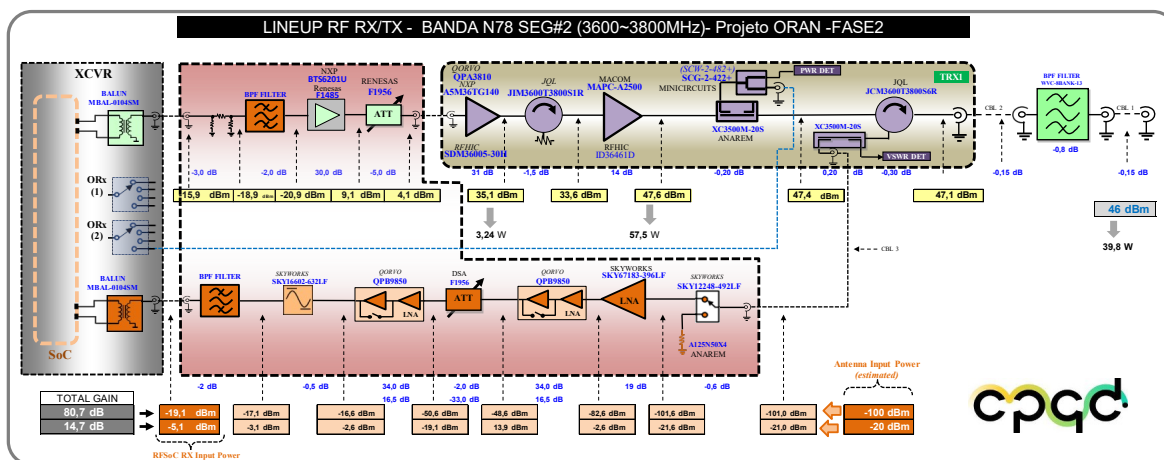


Figura 15 - Arquitetura do RFFE e PAM para a banda n78 – Segmento 2, com nova definição dos componentes.

No final de novembro/2023 o Inatel concluiu sua análise do projeto Meta Evenstar e apresentou suas propostas para o aproveitamento de algumas partes, como o RFFE, bem como o circuito de controle a partir do RFSoc que evita o uso de microcontroladores adicionais e uma nova arquitetura para o PAM.

A partir dessa proposta, tanto o CPQD quanto o Inatel definiram os componentes a fim de serem experimentados em placas de avaliação e teste e, eventualmente, até ajustados visando atender os requisitos previamente estabelecidos.

Para o PAM foram definidas alternativas de componentes e placas de avaliação para aquisição, mostradas na Tabela 3.

Tabela 3 - Lista de componentes e placas de avaliação para o PAM.

Componente / Placa de Avaliação	Fabricante	Part Number
Pré-amplificador (alternativa 1)	NXP	A5M36TG140T2
Placa de avaliação do pré-amp (alt. 1)	NXP	A5M36TG140 Ref. Circ.
Pré-amplificador (alternativa 2)	Qorvo	QPA3810
Placa de avaliação do pré-amp (alt. 2)	Qorvo	QPA3810EVB01
Pré-amplificador (alternativa 3)	RFHIC	SDM36005-30H
Placa de avaliação do pré-amp (alt. 3)	RFHIC	SDM36005-30H-EVB
Isolador (alternativa 1)	TDK	CU4S0509AT-3700-00
Isolador (alternativa 2)	JQL	JIM3600T3800S1R
Placa de avaliação do isolador (alt.2)	JQL	Eval. Board for JIM3600T3800S1R
Isolador (alternativa 3)	JQL	JIM3300T3800S1R
Placa de avaliação do isolador (alt.3)	JQL	Eval. Board for JIM3300T3800S1R

Amplificador estágio final (alt.1)	Macom	MAPC-A2500-BS00
Placa de avaliação amplif (alt.1)	Macom	MAPC-A2500-BSSB
Amplificador estágio final (alt.2)	RFHIC	ID36461D
Placa de avaliação amplif (alt.2)	RFHIC	ID36461D-3400-3800MHZ-EVB
Acoplador direcional	TTM	XC3500M-20S-CT
Circulador (alternativa 1) e Jiga de teste	Molex	0735912666
Circulador (alternativa 2)	JQL	JCM3600T3800S6R
Placa de avaliação do circulador (alt.2)	JQL	Eval. Board for JCM3600T3800S6R
Circulador (alternativa 3)	JQL	JCM3300T3800S6R
Placa de avaliação do circulador (alt.3)	JQL	Eval. Board for JCM3300T3800S6R
Capacitores cerâmicos multicamadas SMD Tamanho 0603 C0G, 250Vdc, de diversos Valores (para ajuste dos pré-amps e amps.)	Murata	GQM1875C2E__WB12D, GQM1875C2E__BB12D, GQM1875C2E__CB12D, GQM1875C2E__DB12D, GQM1875C2E__FB12D, GQM1875C2E__GB12D, GQM1875C2E__JB12D
Nota: Para completar a bancada de testes, foi obtido também o driver (amplificador) da NXP BTS6201UJ e sua placa de avaliação OM17076/BTS6201U.		

A Tabela 4 mostra os componentes e placas de avaliação para aquisição definidas para o circuito de controle.

Tabela 4 - Lista de componentes e placas de avaliação para o controle do PAM.

Componente / Placa de Avaliação	Fabricante	Part Number
DAC (alternativa 1)	Texas Instr	LMP92066PWPR
Placa de avaliação DAC (alternativa 1)	Texas Instr	LMP92066EVM
DAC (alternativa 2)	Texas Instr	AMC7834IRTQT
Placa de avaliação DAC (alternativa 2)	Texas Instr	AMC7834EVM
DAC (alternativa 3)	Analog Dev	AD7293BCPZ
Placa de avaliação DAC (alternativa 3)	Analog Dev	EVAL-AD7293SDZ
Placa de interface com placa de aval. DAC (alternativa 3)	Analog Dev	EVAL-SDP-CB1Z
Sensor de temperatura e interface I2C	Texas Instr	LMP92CIMX/NOPB
Detector de RF	Analog Dev	LTC5535ES6#TRMPBF
Placa de avaliação do detector de RF	Analog Dev	DC758A
Divisor ou combinador de RF	Mini-Circ.	SCW-2-482+
Transistor Mosfet canal N	Infineon	ISC080N10NM6ATMA

Transistor Mosfet canal P	Vishay	SQJ211ELP-T1_GE3
---------------------------	--------	------------------

4.1 Caracterização Preliminar dos Componentes do PAM

Com o objetivo de avaliar os componentes a serem utilizados no projeto do PAM da banda n78 – Segmento 2, estão sendo adquiridos componentes e placas de avaliação. Estas avaliações incluem caracterizações elétricas para comparação com parâmetros de desempenho dos *datasheets* e eventual ajuste para otimização a fim de atender os requisitos do PAM.

4.1.1 Pré-Amplificador NXP A5M36TG140

Foram adquiridas amostras do amplificador de potência A5M36TG140 do fabricante NXP, o qual atuará no estágio de pré-amplificação. Dessa forma, nesse contexto ele opera como um pré-amplificador no PAM.

O fabricante encaminhou adicionalmente uma placa de circuito impresso de avaliação (*evaluation board* – EVB) e outras partes em forma de um kit. Essa placa precisou ser montada antes que pudesse ser avaliada em bancada.

A Figura 16 mostra o componente montado na placa de avaliação.

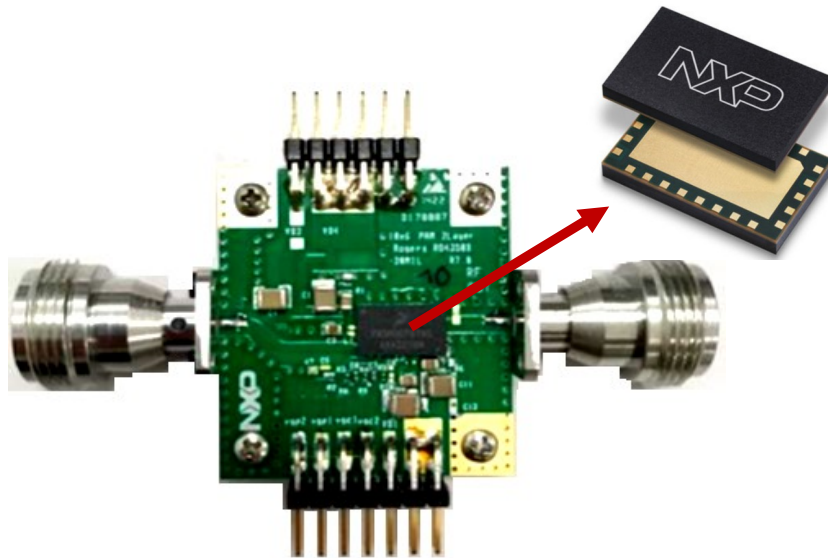


Figura 16 - Placa de avaliação (EVB) do componente A5M36TG140.

O arranjo experimental para análise espectral e da potência de saída desta EVB é mostrado na Figura 17.

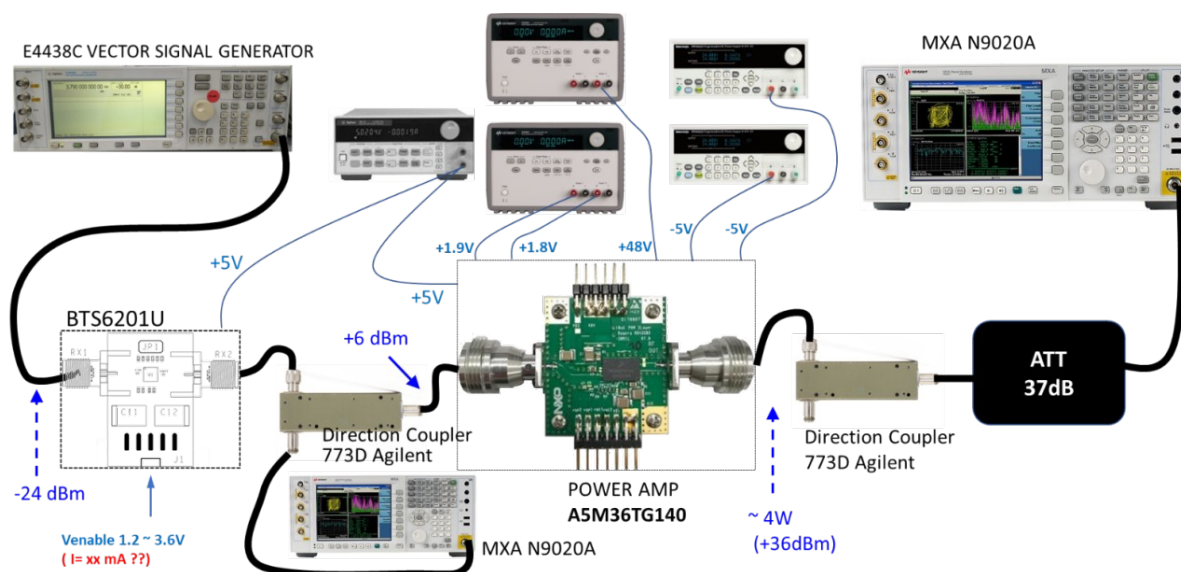


Figura 17 - Arranjo experimental para avaliação espectral e da potência de saída da EVB A5M36TG140.

Para análise da resposta em frequência e ganho de potência desta EVB, foi utilizado o arranjo experimental mostrado na Figura 18.

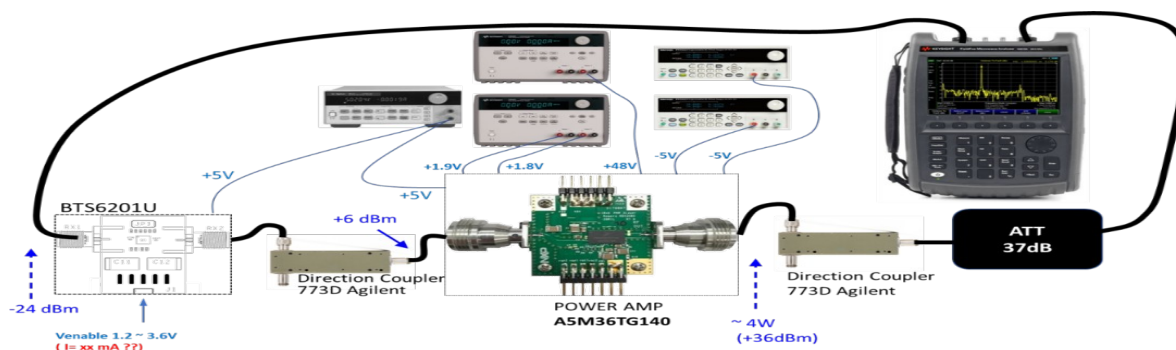


Figura 18 - Arranjo experimental para análise de ganho e resposta em frequência da EVB A5M36TG140.

A Figura 19 mostra o espectro e potência de saída da EVB A5M36TG140.

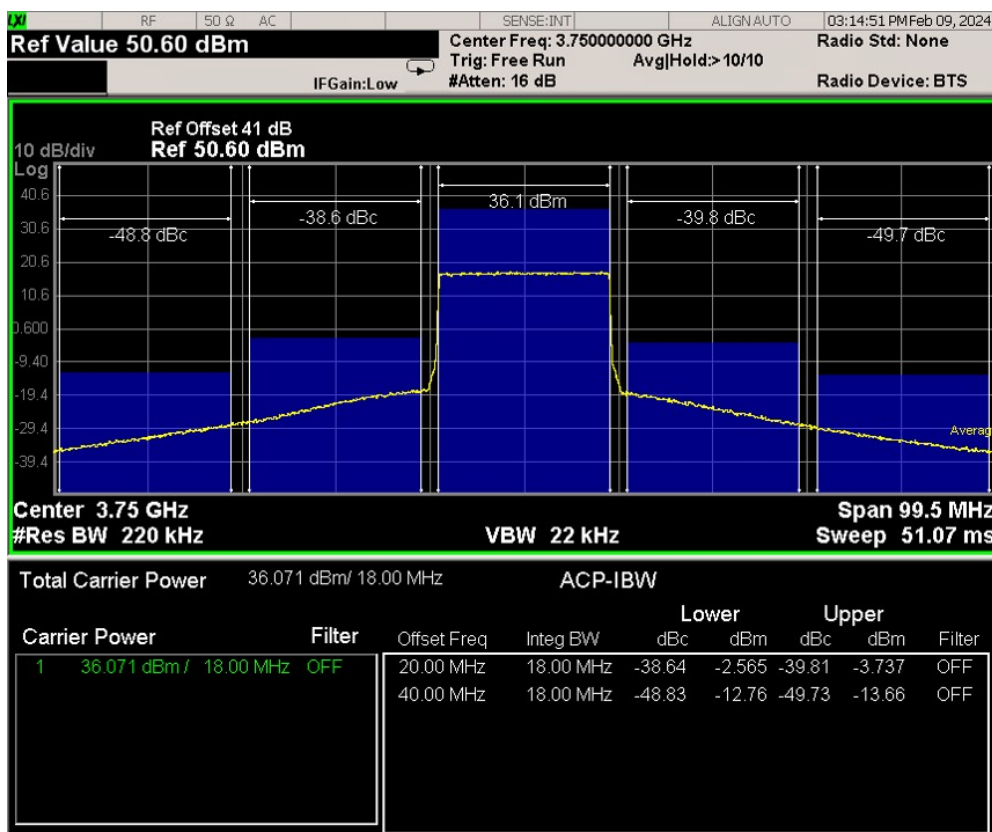


Figura 19 - Espectro e potência de saída da EVB A5M36TG140.

A Figura 20 mostra o resultado da análise do ganho de potência e a resposta em frequência dentro da faixa de operação para o segmento 2.

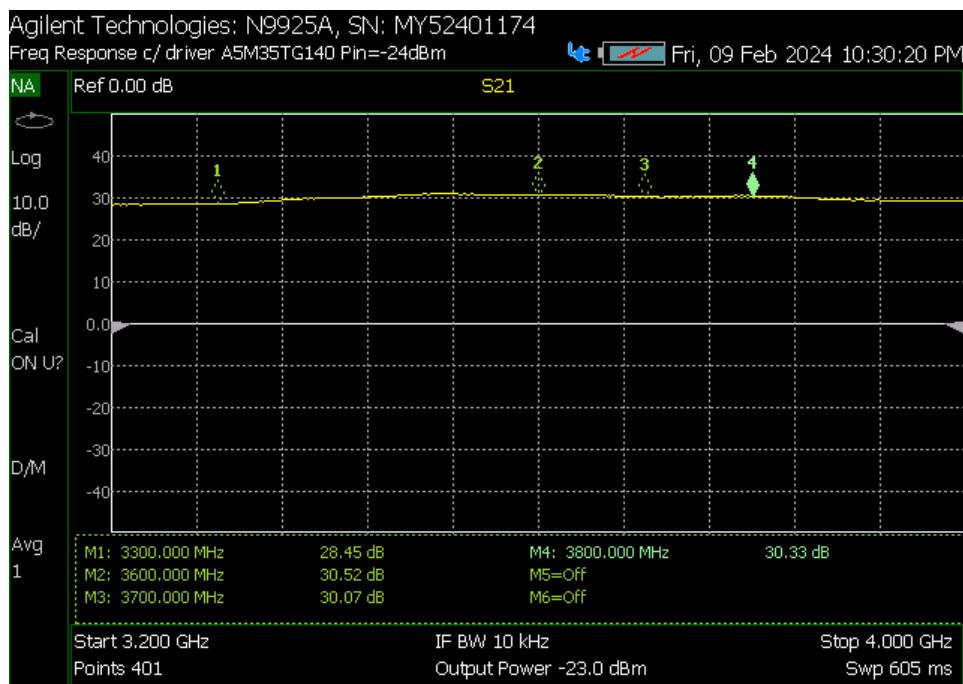


Figura 20 - Ganho e resposta em frequência da EVB A5M36TG140.

Depois de obtidos estes resultados, foi possível verificar que o nível de saída consegue atingir até 4 W, conforme a necessidade do projeto, através da polarização indicada pelo fabricante. Através de alguns ajustes iniciais nas correntes do último estágio, foi possível obter melhora significativa na intermodulação (*adjacent-channel leakage ratio* – ACLR).

Ainda são necessárias novas análises para averiguar se ajustes adicionais poderão contribuir com outras condições de otimização.

Estas análises são preliminares para verificar basicamente a operação do dispositivo sob teste (A5M36TG140) e os devidos ajustes no arranjo experimental. Em seguida, a caracterização detalhada do componente será realizada com a sinalização de referência do projeto e sob condições ambientais.

4.1.2 Pré-Amplificador Qorvo QPA3810

Assim como o pré-amplificador da NXP descrito na Seção 4.1.1, foram também adquiridas amostras do amplificador de potência QPA3810 do fabricante Qorvo, o qual também atuará como um pré-amplificador no PAM.

A Figura 21 mostra uma EVB enviada pelo fabricante para a caracterização do dispositivo com o circuito de referência para análise do desempenho elétrico com base no *datasheet*.

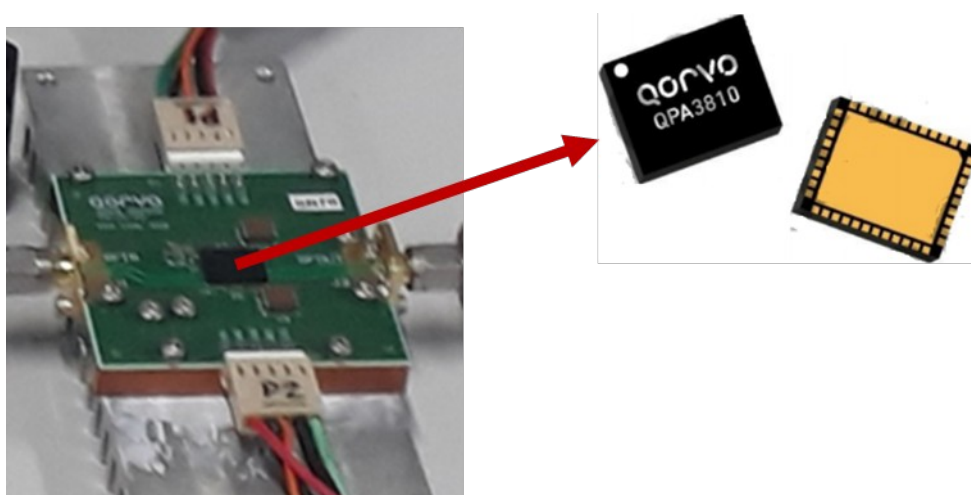


Figura 21 - Placa de avaliação QPA3810.

Uma foto do arranjo experimental em bancada para análise espectral e de potência de saída desta EVB é mostrada na Figura 22.



Figura 22 - Arranjo experimental para avaliação espectral e da potência de saída da EVB QPA3810.

A análise da resposta em frequência e do ganho de potência desta EVB foi realizada com o arranjo experimental mostrado na foto da Figura 23.

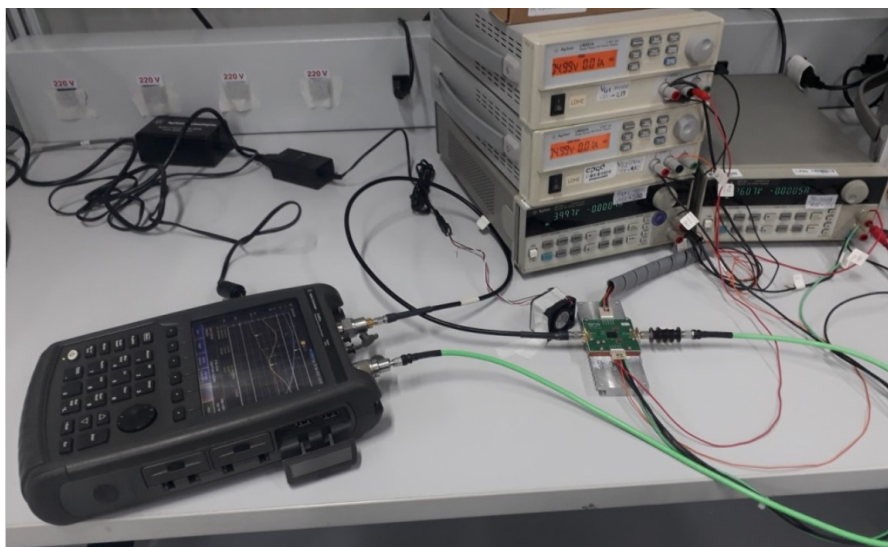


Figura 23 - Arranjo experimental para análise de ganho e resposta em frequência da EVB QPA3810.

A Figura 24 mostra o espectro e potência de saída da EVB QPA3810.

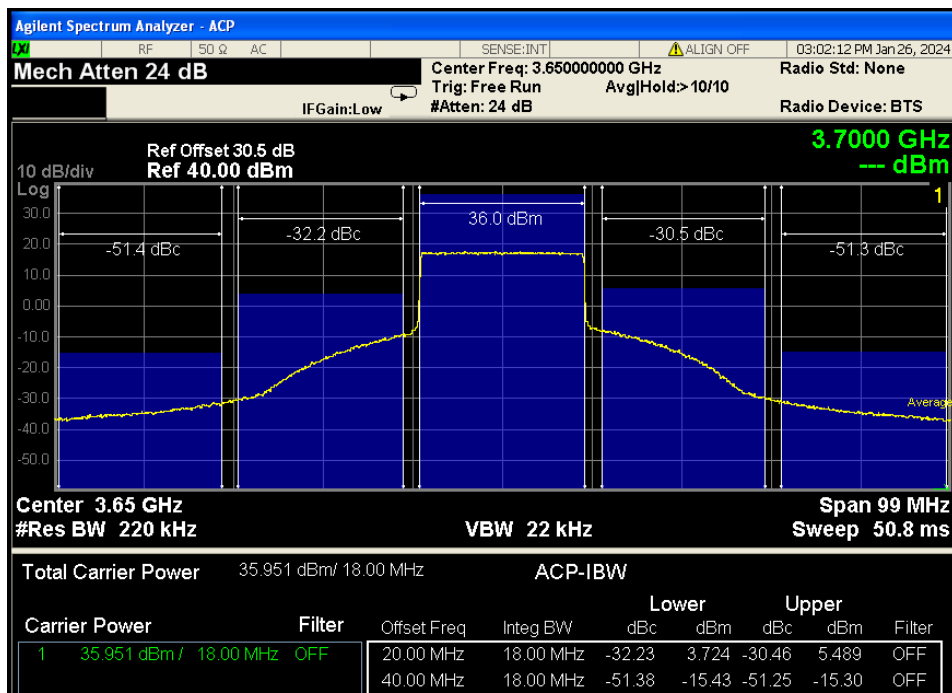


Figura 24 - Espectro e potência de saída da EVB QPA3810.

Figura 25 mostra o resultado da análise do ganho de potência e a resposta em frequência dentro da faixa de operação para o segmento 2.

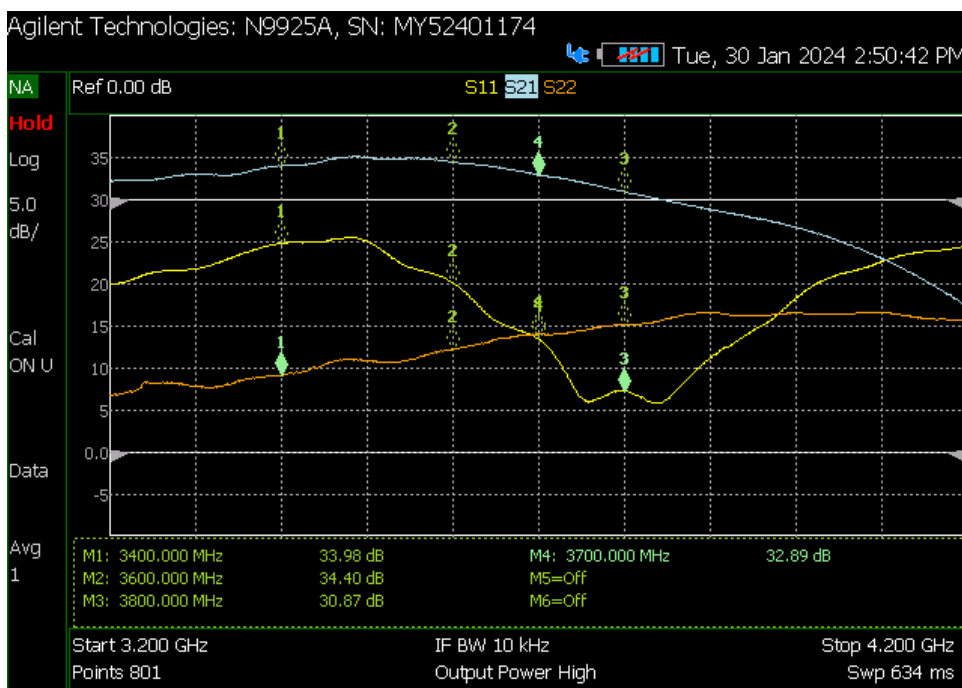


Figura 25 - Ganho e resposta em frequência da EVB QPA3810.

O ganho do pré-amplificador QPA3810 reduz principalmente na faixa de 3.7 GHz a 3.8 GHz e, com isso, aumenta a degradação do ACPR (*Adjacent Channel Power Ratio*) caso o sinal de entrada seja aumentado para compensar o menor ganho.

A princípio isso não é crítico visto que a potência de saída necessária é estimada em 33 dBm (2 W), abaixo de 36 dBm.

Também na faixa de 3.6 GHz a 3.7 GHz o ACPR medido com potência de saída de 36 dBm foi pior que -33 dBc, o máximo estimado para o projeto. Será necessário melhorar este parâmetro para viabilizar o uso do QPA3810 como pré-amplificador.

5 Referências

- [1] Ref. Anatel: Panorama_Relatorio_de_Radiofrequencia_2021_final_ATC_v2
Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/dados/relatorios-de-acompanhamento/2021#R2021_46>. Acesso em: 03 de Abril de 2023.
- [2] O-RAN Alliance WG1, ed. 2022. "O-RAN Architecture Description." 7.0. Disponível em: <<https://orandownloadsweb.azurewebsites.net/specifications>>. Acesso em: 31 de Março de 2023.
- [3] Projeto OpenRAN@Brasil Fase 2, ed. 2022. Disponível em: <<https://ppi.facti.com.br/validacao.html>>. Acesso em: 31 de Março de 2023.
- [4] ETSI TS 138 104 V15.7.0 (2019-10). 5G;. NR;. Base Station (BS) radio transmission and reception. (3GPP TS 38.104 version 15.7.0 Release 15). Disponível em: <https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/138100_138199/138104/15.07.00_60/ts_138104v150700p.pdf>. Acesso em: 03 de Abril de 2023.

6 Histórico de Alterações do Documento Consolidado

Data de emissão	Versão	Descrições das alterações realizadas
04/Mar/24	AA	Versão inicial.

7 Execução e Aprovação

Elaborado por:

Silas Demmy Yamamoto

Moisés dos Santos

Fundação CPQD – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações

Revisado por:

Eduardo Mobilon

Fundação CPQD – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações

Aprovado por:

RNP – Rede Nacional de Ensino e Pesquisa