



# CRICTE 2017

XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia



## ANÁLISE DE BUDGET RF PARA ARQUITETURA ZERO-IF DIMENSIONADA E OTIMIZADA PARA NORMA LTE

**Daniel R. G. da Silva**

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica Universidade Federal do Paraná  
daniel.garbi@ufpr.br

**Luis H. A. Lolis, Dr.**

Professor/Pesquisador do curso de Engenharia Elétrica Universidade Federal do Paraná  
luis.lolis@eletrica.ufpr.br

**Resumo.** *Esse trabalho testou e validou o desenvolvimento sistêmico de consumo de potência otimizado de um sistema de recepção em RF na norma LTE com arquitetura ZERO-IF através de um simulador de sistemas de RF — o Budget Analysis do software ADS. Com modelos que contém um maior número de variáveis e que possibilitam a determinação das características lineares e não-lineares do sistema, o software foi utilizado para validar o método baseado em distribuições de degradação do sinal desenvolvido por Pedro Ney Stroski [1]. O resultado do método são as especificações figura de ruído (NF), ganho (G) e produto de interceptação de terceira ordem (IIP3) para cada bloco. A seletividade em frequência dos filtros, o ruído de fase do misturador e fenômenos de aliasing foram testados. O trabalho consistiu em realizar os seguintes testes: sensibilidade para o ruído, IIP3 para não linearidade, e testes de seletividade. Os resultados, apresentaram grande semelhança ao teórico, confirmando assim a validade do método.*

**Palavras-chave:** *Sistemas de radiofrequência. Budget link RF. LTE.*

### 1. INTRODUÇÃO

Na tese de mestrado de Pedro Ney [1], é desenvolvido um processo de otimização baseado em modelos matemáticos abordados em Luis Henrique Assumpção Lolis [2] e cálculos em cascata dos parâmetros de desempenho baseados em Qizheng Gu [3]. Porém, essas equações são formas simplificadas da realidade e não correspondem ao exato comportamento do sistema e, portanto, é necessário verificar o sistema com ferramentas mais completas, como o Budget Analysis do ADS.

Esse trabalho visou a validar esse método de otimização de receptores para a norma LTE com o software já mencionado que é mais robusto e aborda mais variáveis na caracterização das linearidades e não-linearidades de um sistema RF.

### 2. REVISÃO DA LITERATURA

#### 2.1 Desenvolvimento sistêmico de sistemas de radiofrequência

Receptores e transmissores de sinais em RF (Radiofrequência) podem ser modelados como blocos em caixa preta com entradas e saídas. Segundo Ref. [3], alguns parâmetros



essenciais para o desenvolvimento de um receptor são a sensibilidade, a intermodulação e a seletividade do canal.

### **Sensibilidade e figura de ruído.**

Sensibilidade ( $S_{min}$ ) é a medida do menor sinal possível na entrada do receptor que possa ser interpretado respeitando os parâmetros da norma e, segundo Ref. [3], é dado por

$$S_{min} = -174 + 10 \log BW + NF_{Rx} + CNR_{min} \quad (1)$$

em que  $BW$  é a largura de banda do receptor em Hz,  $NF_{Rx}$  é a figura de ruído total do receptor em dB e  $CNR_{min}$  é a mínima razão portadora-ruído aceita pela norma em dB.

A figura de ruído em cascata é dada por

$$NF_{Rx} = 10 \log \left[ 10^{\frac{NF_1}{10}} + \sum_{i=2}^n \frac{10^{\frac{NF_i}{10}} - 1}{\prod_{j=1}^{i-1} 10^{\frac{G_j}{10}}} \right] \quad (2)$$

sendo  $G_j$  e  $NF_i$  ( $i, k = 1, 2, 3, \dots, n$ ) característica de ganho em dB e figura de ruído por bloco, respectivamente.

A partir da Eq. (2), pode-se observar que os primeiros blocos são os que possuem a maior contribuição de ruído ao sistema, visto que os seus ganhos mascaram os ruídos dos blocos seguintes.

**Distorções de intermodulação e linearidade.** A intermodulação é consequência de um fenômeno não-linear e as ordens ímpares de um polinômio não-linear são as que mais impactam no sistema. O efeito mais estudado é o IIP3 cuja intensidade pode ser medida pelo ponto de interseção entre o sinal de entrada e o

produto de intermodulação de terceira ordem e que, segundo Ref. [3], é dado por

$$IIP_3 = \frac{1}{2} (3I_{in} - IM_3) \quad (3)$$

em que  $I_{in}$  é a intensidade dos interferentes da entrada e  $IM_3$  é o produto de intermodulação de terceira ordem.

O IIP3 em cascata determina a linearidade total do receptor e, segundo Ref. [3], pode ser dado por

$$IIP_3 = -10 \log \left( \sum_{k=1}^n \frac{g_1 g_2 \dots g_{k-1}}{P_{IIP3,k}} \right) \quad (4)$$

sendo  $g_k$  e  $P_{IIP3,k}$  o ganho em escala linear e a potência do IIP3 de cada bloco, respectivamente.

Nota-se que, a partir da Eq. (4), os blocos mais prejudicados pelo IIP3 são os últimos porque o sinal se torna mais intenso no término da cadeia e, conseqüentemente, a distorção também.

**Cálculo dos parâmetros mínimos.** Nesse estudo, a norma abordada é a LTE, cujos parâmetros foram abordados em Ref.[1]. A configuração de modulação OFDM (multiplexação por divisão ortogonal de frequência) de 5MHz com portadoras QPSK (chaveamento por deslocamento de fase em quadratura) e código  $3/4$  nos dá uma necessidade de um SNR de 2dB, que infere numa figura de ruído de 7dB.

A sensibilidade média em LTE para largura de banda de 5 MHz é -98 dBm. A partir da Eq. (3) e da Eq. (4), e considerando  $M = 6$ dB,  $I_{in} = 46$ dBm e  $P_s = 98$ dBm, temos que o IIP3 em cascata deve ser de -19dBm.



## 2.2 Arquitetura ZERO-IF

A arquitetura ZERO-IF se caracteriza pela conversão direta do sinal RF para banda-base e está expressa na Fig.1.

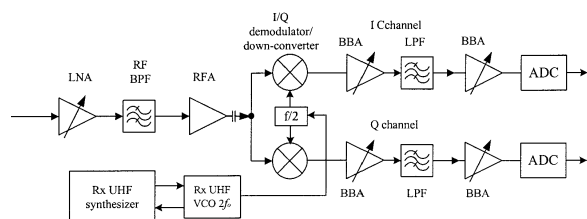


Figura 1. Receptor arquitetura ZERO-IF

Nesse estudo, utilizou-se uma configuração simplificada baseada nessa arquitetura que consiste de: um LNA (amplificador de baixo ruído); um BPF (filtro passa-banda); um mixer com oscilador local; um LPF (filtro passa-baixas); um amplificador e; um ADC (conversor analógico-digital). Essa configuração foi escolhida por ser a mais simples, além de possuir um custo mais baixo e um menor consumo de energia devido ao menor número de elementos, mas, segundo Ref. [3], possui alguns pontos negativos como offset DC, IIP2, ruído 1/f e self-mixing.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Ferramenta ADS e o budget analysis

O ADS (Advanced Design System) é um software de design eletrônico para RF e que, com a simulação Budget Analysis, permite a caracterização de um sistema por parâmetros S, parâmetros de ruído e polinômio não-linear. A simulação é feita em um único tom.

Os parâmetros de análise do budget escolhidos para essa simulação foram ganho direto e em cascata, figura de ruído por

bloco e em cascata, IIP3 por bloco e em cascata e são, respectivamente:  $Cmp\_S21\_dB$ ;  $OutPGain\_dB$ ;  $Cmp\_NF\_dB$ ;  $NF\_RefIn\_dB$ ;  $Cmp\_OutTOI\_dBm$ ;  $InTOI\_dBm$ .

Na Figura 1, observa-se o ambiente de simulação utilizado. Um amplificador de ganho unitário foi usado para inserir os parâmetros do filtro banda-base e outro para caracterizar o ADC. O filtro anterior ao mixer é para anti-aliasing e é necessário devido à limitação do software em conversão à banda-base.

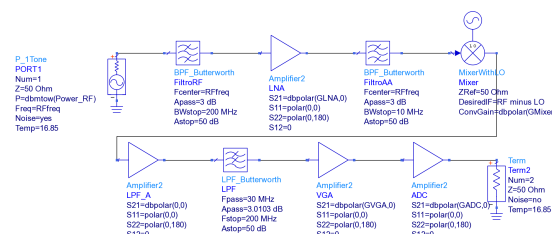


Figura 2. Esquemático para as Simulações

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a validação da otimização de Ref. [1], foram utilizados os parâmetros encontrados através das distribuições da degradação do sinal ao longo da cadeia. As validações dessas distribuições serão discutidas a seguir.

### 4.1 Distribuição da degradação uniforme

Na Tabela 1, situam-se os parâmetros da distribuição uniforme dos parâmetros SNR, SNDR e ganho dada por Ref. [1], sendo  $\lambda = SNDR - SNR$ . O ganho em cascata é 67,9dB, o NF em cascata é 7dB e o IIP3 em cascata é -18,99dBm. Nota-se que as degradações possuem delimitações fixas de 7dB e 3dB para SNR e SNDR, respectivamente.



Tabela 1. Parâmetros por Bloco para a Distribuição Uniforme das Degradações

	BPF RF	LNA	MIXER	LPF BB	VGA	ADC	TOTAL
SNRdeg (dB)	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	7,00
$\lambda$ (dB)	0,00	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	3,00
G (dB)	-2,00	23,30	23,30	0,00	23,30	0,00	67,90
NF (dB)	2,00	1,00	18,49	42,73	43,73	68,03	7,00
IIP3 (dBm)	16,69	-14,84	10,36	33,30	32,68	41,75	-18,99
P (mW)	0,00	6,77	8,33	0,00	0,17	0,10	15,37

Na tabela 2, situam-se os resultados encontrados na simulação a partir dos dados de ganho, NF e IIP3 da tabela 1. Pode-se observar a equivalência do NF e do ganho, mas o IIP3 (que é visto no primeiro elemento da cadeia) vale -26,746dBm.

Tabela 2. Resultados para a Distribuição Uniforme das Degradações

Meas_Name	BPF RF	LNA	FILTRO AA	MIXER	LPF BB	LPF BB	VGA	ADC
Cmp_S21_dB	-2	23,3	-4,145e-6	23,3	0	-0,001	23,3	0
OutPGain_dB	-2	21,3	21,3	44,6	44,599	44,599	67,899	67,899
Cmp_NF_dB	2	1	0	15,49	42,730	0	43,73	68,03
NF_RefIn_dB	2	3	3	3,989	4,991	4,991	5,992	6,994
Cmp_OutTOI_dBm	1000	8,46	1000	33,66	33,3	1000	55,98	41,75
InTOI_dBm	-26,746	-28,746	-5,266	-5,266	18,155	18,29	18,29	41,75

## 4.2 Otimização do modelo de consumo

Na tabela 3, situam-se os parâmetros da otimização proposta por Ref. [1] que jogou as restrições para o ADC, de modo a atender as restrições do LNA. Agora, o ganho é 59,38dB, o NF, 6,88dB e, o IIP3, -19,05dBm.

Tabela 3. Parâmetros por Bloco para a Otimização.

	BPF RF	LNA	MIXER	LPF BB	VGA	ADC	TOTAL
SNRdeg (dB)	2,00	2,47	1,23	0,16	0,75	0,28	6,88
$\lambda$ (dB)	0,00	0,90	1,23	0,20	0,41	0,15	3,00
G (dB)	-2,00	19,16	16,66	0,00	25,55	0,00	59,38
NF (dB)	2,00	2,47	16,88	25,30	32,42	54,15	6,88
IIP3 (dBm)	16,69	-16,53	3,03	27,43	22,88	38,83	-19,05
P (mW)	0,00	0,60	0,49	0,02	0,40	0,40	1,90

Na tabela 4, situam-se os resultados encontrados na simulação e, pode-se observar a equivalência do NF e do ganho novamente e a disparidade do IIP3, que resultou em -22,654dBm invés dos -19,05dBm previstos.

Tabela 4. Resultados para a Simulação da Otimização

Meas_Name	BPF RF	LNA	FILTRO AA	MIXER	LPF BB	LPF BB	VGA	ADC
Cmp_S21_dB	-2	19,16	-4,145e-6	16,66	0	-0,001	25,55	0
OutPGain_dB	-2	17,16	17,16	33,82	33,819	33,819	59,369	59,369
Cmp_NF_dB	2	2,47	0	13,88	25,3	0	32,42	54,15
NF_RefIn_dB	2	4,47	4,47	5,682	5,884	5,884	6,594	6,871
Cmp_OutTOI_dBm	1000	2,63	1000	19,69	27,43	1000	48,43	38,83
InTOI_dBm	-22,654	-24,654	-4,768	-4,768	12,681	12,829	12,829	41,23

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, foi necessária a adição de blocos não previstos devido à presença indesejada do aliasing e à conversão intermediária de frequência.

A partir dos dados adquiridos por esse estudo, é possível validar o método de otimização de consumo mas ainda é necessário refinar a especificação da linearidade dos blocos, sendo possível a existência de mais fatores que influenciem a linearidade do sistema devido a possíveis inconsistências da definição de IIP3 utilizada por Ref. [1]. Sugere-se que estudos futuros sejam feitos em ferramentas que possibilitem a conversão direta, como o Ptolemy, o System Vue ou o RF Budget do MATLAB.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] P. N. Stroski, "Dimensionamento sistêmico otimizado de receptores de radiofrequência baseado em modelos de consumo de potência", Dissertação, Universidade Federal do Paraná, 2016.
- [2] L. H. A. Lolis, et al. "System design of bandpass sampling RF receivers." Electronics, Circuits, and Systems, 2009. ICECS 2009. 16th IEEE International Conference on. IEEE, 2009.
- [3] Q. Gu, RF System Design of Transceivers for Wireless Communications, Springer, 2005.