

# Entrega 01: Loopback OFDM em canais AWGN

Ana Paula Medeiros Amarante

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Curso de Engenharia de Telecomunicações

19 de julho de 2020

## 1. Introdução

O objetivo desta entrega foi trabalhar com a multiplexação Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM), compreendendo seu processo de ortogonalização entre subportadoras, bem como a demultiplexação em canais Additive white Gaussian noise (AWGN).

Os pontos a serem alcançados no trabalho, foram três:  $E_b/N_0$  como variável de entrada, variando de 0 a 14 dB e calcular a variância do ruído, considerando modulação Binary phase-shift keying (BPSK) e 16-Quadrature Amplitude Modulation (16-QAM); Usar as funções (inverse fast Fourier transform) IFFT e (fast Fourier transform) FFT para multiplexar (Tx) e demultiplexar (Rx); Fazer o gráfico da bit error rate (BER) vs  $E_b/N_0$  para com OFDM e, no mesmo gráfico, o gráfico da  $P_b$  vs  $E_b/N_0$  (fórmula teórica) da modulação BPSK e 16-QAM sem OFDM.

## 2. Experimento

Para as modulações BPSK e 16-QAM, o canal AWGN pode ser modelado da seguinte forma [1]:

$$y = ax + n \quad (1)$$

Onde  $y$  é o sinal recebido é o sinal recebido na entrada do receptor,  $x$  é o sinal modulado transmitido através do canal,  $a$  é o fator de escala de amplitude do canal para o sinal transmitido normalmente assumido como unidade e  $n$  é a variável aleatória do AWGN, com média zero e variância  $\sigma^2$ .

Para um canal AWGN, a variância do ruído em termos da Power Spectral Density (PSD) [1], é dado por:

$$\sigma^2 = \frac{N_0}{2} \quad (2)$$

Onde  $N_0$  é a potência de ruído [2], que pode ser calculado em função de  $E_b$ , a energia de bit.  $E_b/N_0$  é a energia de bit pela densidade espectral de potência ruído:

$$N_0 = E_b * 10^{-EbN_0/10} \quad (3)$$

Para ambas modulações,  $E_b$  foi interpretado como a potência do sinal, em (3), sendo calculado em função da PSD [3], como é mostrado na equação (4). Para a modulação 16-QAM, o  $E_bN_0$  também em (3) foi normalizado para cada símbolo para que seja encontrado a potência de um único símbolo, sendo o  $EsN_0$  [1] mostrado na equação (5).

$$EbPSD = \sum \frac{sinal * conjugado(sinal)}{tamanhosinal} \quad (4)$$

$$EsN_0 = EbN_0 + 10 * \log_{10}(Rm\_qam) \quad (5)$$

Onde  $Rm\_qam = \log_2(M)$  [1], que para a modulação 16-QAM,  $M = 16$ .

Com esses valores acima, foi possível medir os valores simulados para as duas modulações. A primeira etapa foi calcular a probabilidade de erro de bit,  $P_e$  [4]. Para o BPSK,  $P_e$  está mostrado na equação (6) e a  $P_e$  para o 16-QAM em (7).

$$P_e = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \quad (6)$$

$$P_e = \frac{4}{\log_2(M)} * \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right) * Q\left(\sqrt{\frac{3 * \log_2(M) * E_b / N_0}{M-1}}\right) \quad (7)$$

Foi usado a função fft e ifft do matlab, conforme era requerido. Já o segundo ponto da entrega, o resultado da cálculo da variância do ruído pode ser visto ao executar o código diretamente no matlab.

### 3. Conclusão

O gráfico BER obtido é mostrado na Figura 1, onde é possível observar que a BER simulada, com OFDM, se aproximou da BER teórica, sem OFDM. O número de bits foi 1000, valor que já estava sendo trabalhado nas práticas.

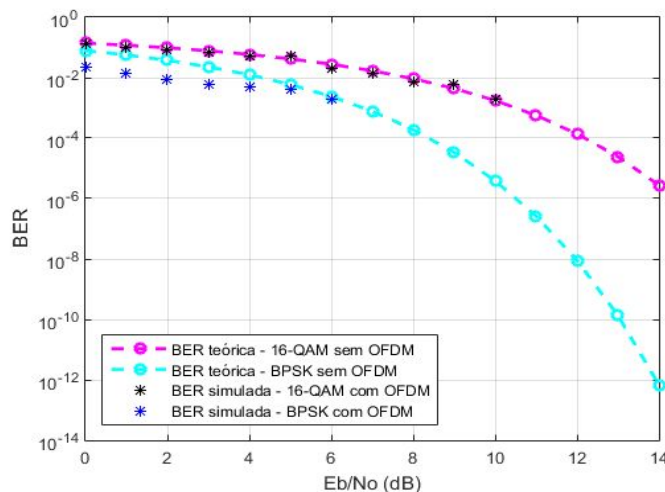


Figura 1: Gráfico BER x EbNo (db) para diferentes modulações

A modulação 16-QAM tem mais bits por símbolo do que a BPSK, resultando em uma BER maior para 16-QAM. Em ambas as modulações, o número de bits não foi suficiente para simular a BER até o Eb/No de 14 dB.

Os valores de BER teóricos e simulados se aproximaram bastante, para o número de bits igual a 1000, porém ao alterar esse valor, o gráfico obtém um comportamento não esperado, sendo possível observar diferenças entre a BER simulada e a teórica. Não possível corrigir esse problema no tempo hábil da produção desta entrega.

Link do vídeo: <http://youtu.be/pFRS55zvs60?hd=1>

### 4. Referências

- [1] Viswanathan, M., Simulation of Digital Communication Systems Using Matlab, 2th Ed., 2013.
- [2] Proakis, J. G., Digital Communications, 4th Ed., McGraw-Hill, 2001.
- [3] Lathi, B. P., Modern Digital and Analog Communication Systems, Oxford University Press, New York, USA, 4th Ed., 2009.
- [4] Barreto, A. N., Apostila de Comunicações Digitais - Transmissão Digital em Canais com Ruído, UnB, 2017.