

Introdução

Neste relatório será abordado a modelagem de um processo de modulação e demodulação de um sinal utilizando o sistema OFDM com as modulações de BPSK e 16QAM em um canal AWGN para analisar a diferença entre eles e seu desempenho.

Análise de Resultados

A primeira parte deste trabalho consistiu no processo de transmissão nos sinais OFDM para BPSK e 16QAM, gerada por meio de uma IFFT pois é ele quem realiza o trabalho de juntar todas as subportadoras e jogar no conversor D/A. Para um sinal com 1000 bits, temos as figuras 1 e figura 2 que mostram a relação dos valores discretizados x_n dos pontos e a forma de onda $x(t)$ que é gerado pela IFFT.

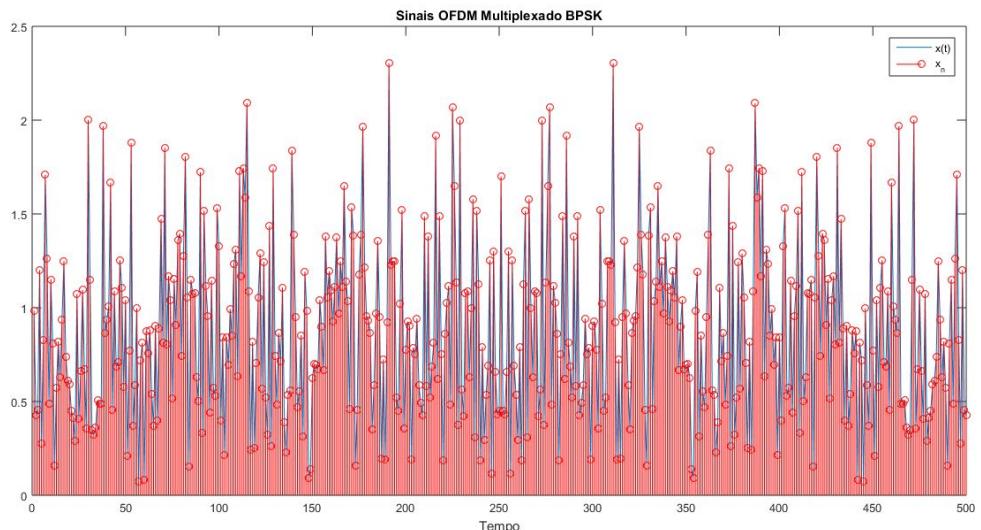


Figura 1: Sinal BPSK Multiplexado

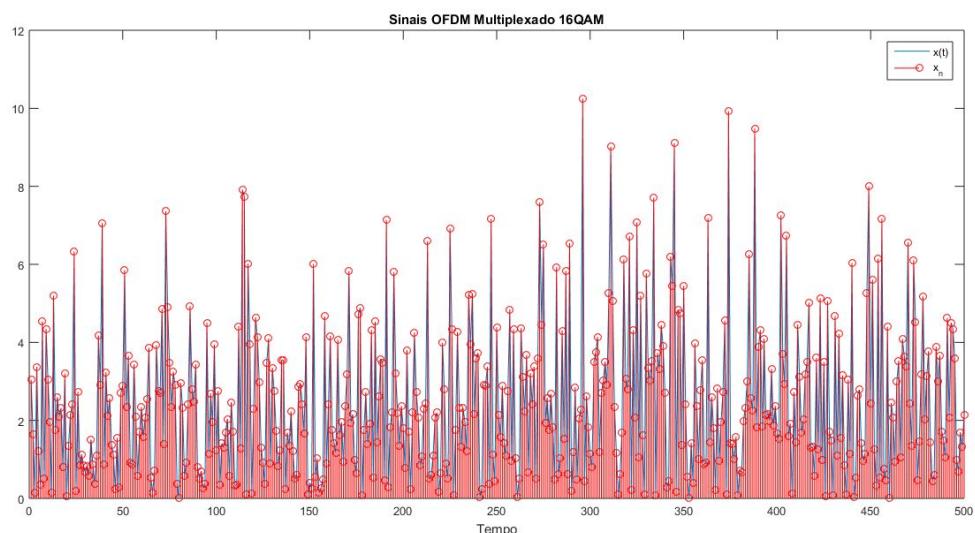


Figura 2: Sinal 16QAM Multiplexado

Na segunda parte deste projeto, foi realizada a modelagem de um processo de demultiplexação de um sinal, utilizando amostrado x_n com 20.000 bits somando-se à ele um ruído AWGN e, com valores diferentes para E_b/N_0 que variou de 0 a 14, realizando neste sinal posteriormente o processo de discretização, utilizando a FFT por ser melhor e convergir mais rapidamente que a DFT, e finalmente foi realizado o processo de decisão dos símbolos, nas constelações geradas o símbolo BPSK e 16QAM para cada valor de E_b/N_0 . Conforme as figura 3, é apresentado uma constelação de BPSK e 16QAM para ilustração.

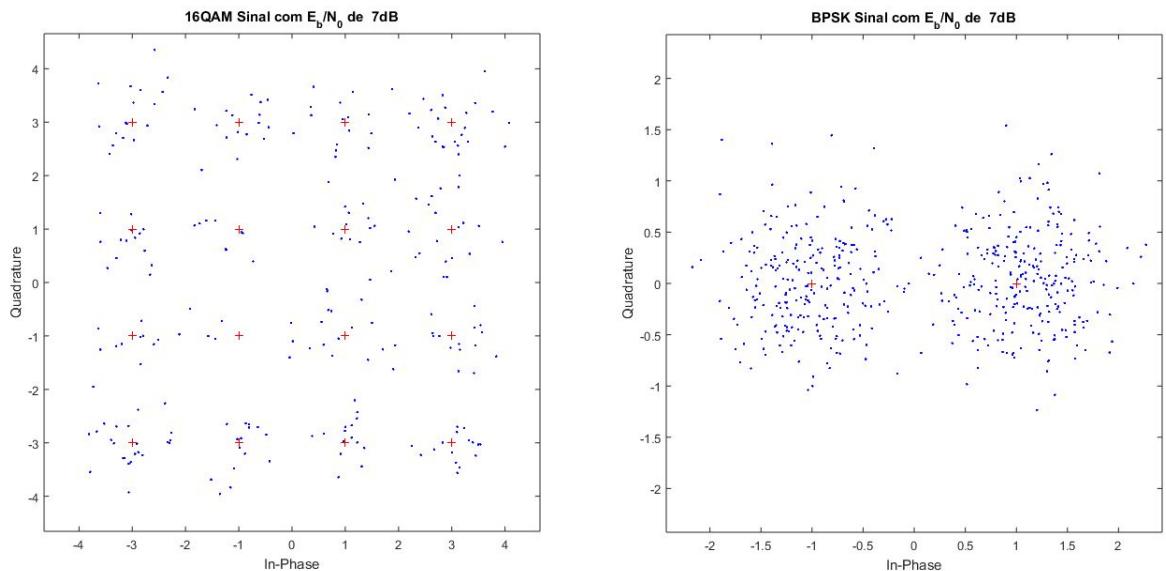


Figura 3: Constelação BPSK e 16QAM para E_b/N_0 em 7dB.

Outro processo realizado foi o cálculo da variância para comparar a qualidade da decisão entre os pontos plotados na constelação e a decisão dos símbolos para 16QAM e BPSK como mostrado na figura 3 acima. O processo do cálculo da variância está na figura 4 abaixo.

```

16QAM Para EbNO de 0dB, a variância é de 0.58145
BPSK Para EbNO de 0dB, a variância é de 0.20245
16QAM Para EbNO de 1dB, a variância é de 0.61485
BPSK Para EbNO de 1dB, a variância é de 0.23815
16QAM Para EbNO de 2dB, a variância é de 0.4782
BPSK Para EbNO de 2dB, a variância é de 0.20015
16QAM Para EbNO de 3dB, a variância é de 0.41965
BPSK Para EbNO de 3dB, a variância é de 0.144
16QAM Para EbNO de 4dB, a variância é de 0.2439
BPSK Para EbNO de 4dB, a variância é de 0.04845
16QAM Para EbNO de 5dB, a variância é de 0.21185
BPSK Para EbNO de 5dB, a variância é de 0.0485
16QAM Para EbNO de 6dB, a variância é de 0.0935
BPSK Para EbNO de 6dB, a variância é de 0.00845
16QAM Para EbNO de 7dB, a variância é de 0.0677
BPSK Para EbNO de 7dB, a variância é de 0.0411
16QAM Para EbNO de 8dB, a variância é de 0.0339
BPSK Para EbNO de 8dB, a variância é de 0.0143
16QAM Para EbNO de 9dB, a variância é de 0.01705
BPSK Para EbNO de 9dB, a variância é de 0
16QAM Para EbNO de 10dB, a variância é de 0.0058
BPSK Para EbNO de 10dB, a variância é de 0
16QAM Para EbNO de 11dB, a variância é de 0.0104
BPSK Para EbNO de 11dB, a variância é de 0
16QAM Para EbNO de 12dB, a variância é de 0
BPSK Para EbNO de 12dB, a variância é de 0
16QAM Para EbNO de 13dB, a variância é de 0
BPSK Para EbNO de 13dB, a variância é de 0
16QAM Para EbNO de 14dB, a variância é de 0
BPSK Para EbNO de 14dB, a variância é de 0

```

Figura 4: Cálculo da variância para BPSK e 16QAM

A partir desses dados, podemos inferir que o processo de 16QAM erra mais por assim dizer, pois tem variância maior em todos os casos para BPSK e isso é correto pois, quantos mais Bits são modulados para serem transmitidos, maiores são as chances de erro.

Finalmente, foi gerado o gráfico de Taxa de Erro de Bit vs Eb/No, que pode ser conferido na figura 6, este gráfico foi construído para BPSK e 16QAM, obtidas pelas fórmulas conforme figura 5 abaixo.

$$\begin{array}{lll}
 \text{BPSK} & P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{E_b}{N_0}} & BER = P_e \\
 \text{M-QAM} & P_e = 2 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right) \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{3}{2(M-1)} \frac{E_b}{N_0}} & BER = \frac{1}{2} P_e
 \end{array}$$

Figura 5: Fórmulas BER para BPSK e 16QAM

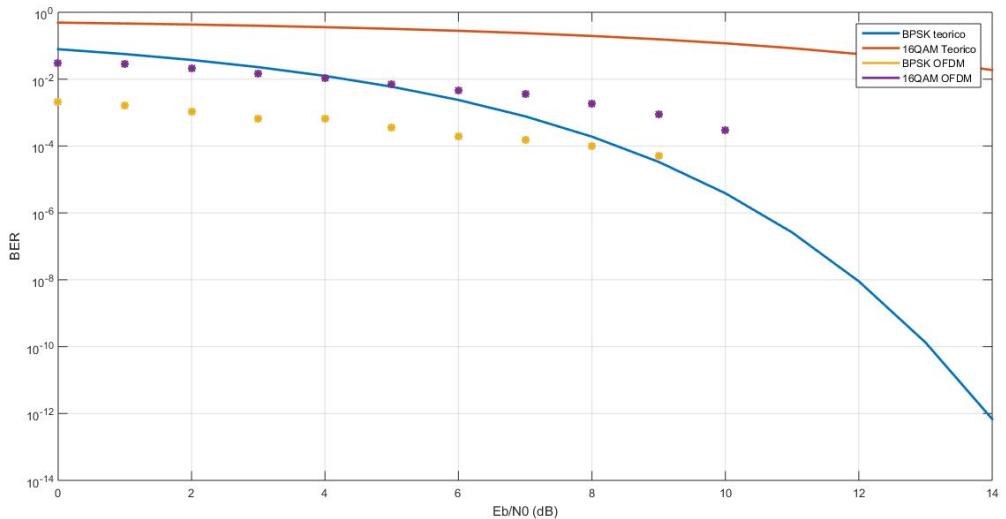


Figura 6: Fórmulas BER vs EbN0 para BPSK e 16QAM

Como pode ser visto na figura 6, as modulações em 16QAM e BPSK seguem bem a tendência de suas formulações teóricas, mas não estão como o desejado porque o ideal era que seus valores simulados ficassem exatamente sobre a curva teórica, isso se dá possivelmente por conta do ruído que foi inserido neste sinal. Outra coisa que pode-se extrair deste gráfico é que conforme a maior quantidade de bits por símbolo, maior é BER, por isso o BPSK tem melhor desempenho nesta curva, em mesmo que se aumente a EbN0 este valor ainda continua alto para o 16QAM em relação ao BPSK, finalmente pode-se inferir também que com a inserção da OFDM o erro de bit é menor que o teórico.

Link Vídeo: <https://youtu.be/enuJ73Hv-b0>

Referências

1. Modulação QAM. Disponível em <<http://www.eletr.ufpr.br/marlio/te241/aula4.pdf>>. Acesso em 13, Jul. 2020.
2. John G. Proakis, Masoud Salehi, Gerhard Bauch; Contemporary Communication Systems Using MATLAB, Third Edition, CENGAGE, 2011.