



Universidade Federal do Ceará
Centro de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Teleinformática
Sistemas de Comunicações Digitais - TI0069

Trabalho 01: Modulação Digital

Aluno:

Lucas de Souza Abdalah 385472

Professor: André Almeida

Data de Entrega do Relatório: 28/03/2021

Fortaleza
2021

Sumário

1	Introdução	2
2	Simulações	2
2.1	Problema 1 - M -QAM	2
2.1.1	Energia da Constelação	2
2.1.2	Distância Mínima entre Símbolos	2
2.1.3	Modulador (Codificação de Gray)	3
2.1.4	Demodulador	6
2.2	Problema 2 - Probabilidade de Erro	7
2.3	Problema 3 - Canal RAGB	8
2.4	Problema 4 - Modulação M -PSK	10
3	Conclusão e Resultados	11
	Referências	12

1 Introdução

2 Simulações

2.1 Problema 1 - M -QAM

Considere a modulação M -QAM, em que o sinal em banda base é dado por:

$$s_m(t) = (A_m^{(\text{real})} + jA_m^{(\text{imag})})g(t),$$

em que $g(t)$ é um pulso transmitido, $A_m^{(\text{real})}$ e $A_m^{(\text{imag})}$ são amplitudes da parte real e imaginária da forma de onda transmitida, respectivamente.

Considere $\int_{-\infty}^{\infty} |g(t)|^2 dt = \mathcal{E}_g = 1$, isto é, o pulso $g(t)$ possui energia unitária. Suponha a transmissão de uma sequência de símbolo $\{s_m\}$ de tamanho $L = 26400$ bits

1. A energia média \mathcal{E}_m de cada constelação;
2. A distância mínima d_{\min} entre dois símbolos;
3. O modulador (mapeamento bit-símbolo) usando a codificação de Gray;
4. O demodulador (mapeamento símbolo-bit).

2.1.1 Energia da Constelação

O desenvolvimento é citado em [1], [2].

$$\mathcal{E}_{\text{media}} = \frac{M-1}{3} \mathcal{E}_g$$

$$\mathcal{E}_{\text{media}(\text{bit})} = \frac{M-1}{3 \log_2 M} \mathcal{E}_g$$

2.1.2 Distância Mínima entre Símbolos

Como calcular os coeficiente para constelação M -QAM retangular, onde \sqrt{M} assume valores inteiros. Os coeficientes em quadratura a_i e b_i são obtidos através da equação: $\{(2i - \sqrt{M} - 1)d\}_{i=1}^{\sqrt{M}}$

A distância euclidiana entre os sinais na modulação QAM é

$$\begin{aligned} d_{mn} &= \sqrt{\|s_m - s_n\|^2} \\ &= \sqrt{\frac{\mathcal{E}_g}{2} [(A_{mi} - A_{ni})^2 + (A_{mq} - A_{nq})^2]} \end{aligned}$$

$$\sqrt{\frac{3\mathcal{E}_{media}}{2(M-1)}}$$

M -QAM	\mathcal{E}_{media}	$\mathcal{E}_{media(bit)}$	d
M	$\frac{M-1}{3}\mathcal{E}_g$	$\frac{M-1}{3\log_2 M}\mathcal{E}_g$	$\sqrt{\frac{3\mathcal{E}_{media}}{2(M-1)}}$
4	1	1.67×10^{-1}	$\frac{\sqrt{2}}{2}$
16	5	4.67×10^{-1}	$\frac{\sqrt{2}}{2}$
64	21	1.17×10^0	$\frac{\sqrt{2}}{2}$

Tabela 1: Informações gerais calculadas para a modulação M -QAM.

2.1.3 Modulador (Codificação de Gray)

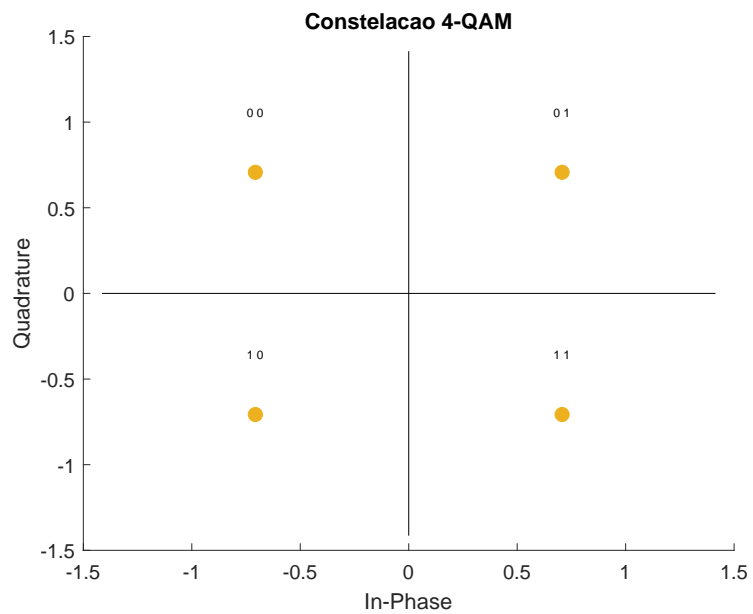


Figura 1: Exemplo de 4-QAM plot.

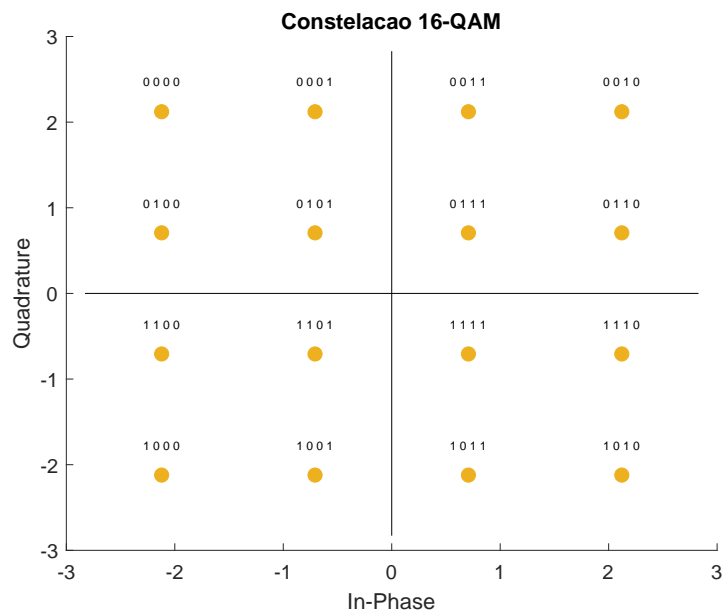


Figura 2: Exemplo de 16-QAM plot.

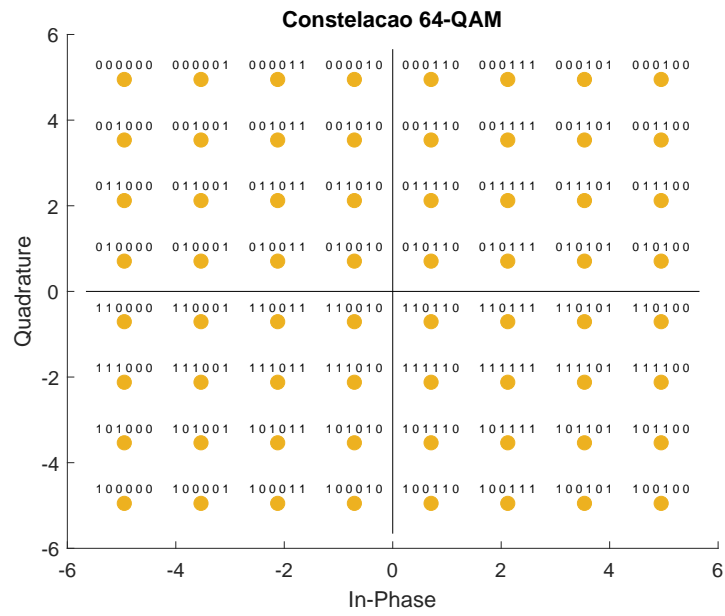


Figura 3: Exemplo de 64-QAM plot.

2.1.4 Demodulador

Considerando $\mathcal{E}_g = \int_{-\infty}^{\infty} |g(t)|^2 dt = 1$, a energia média da constelação pode ser calculada por ϵ

2.2 Problema 2 - Probabilidade de Erro

Para calcular a probabilidade de erro $P(e)$ de cada constelação 1 desenvolvida em [2].

$$P(e) = 4 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right) Q \left(\sqrt{\frac{3}{M-1} \frac{E_s}{N_0}} \right) - 4 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right)^2 Q^2 \left(\sqrt{\frac{3}{M-1} \frac{E_s}{N_0}} \right) \quad (1)$$

Para valores mais elevados de SNR , a equação da probabilidade do M -QAM pode ser reduzida para 2, pois o segundo termo ao quadrado passa a ser irrelevante.

$$P(e) = 4 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right) Q \left(\sqrt{\frac{3}{M-1} \frac{E_s}{N_0}} \right) \quad (2)$$

Nas simulações realizadas, as curvas utilizando ambas as equações são bem semelhantes, principalmente para constelação 4-QAM, além de reduzir o custo computacional. Entretanto, para manter a fidedignidade do gráfico mostrado na 4, a probabilidade $P(e)$ é calculada a partir da equação completa 1.

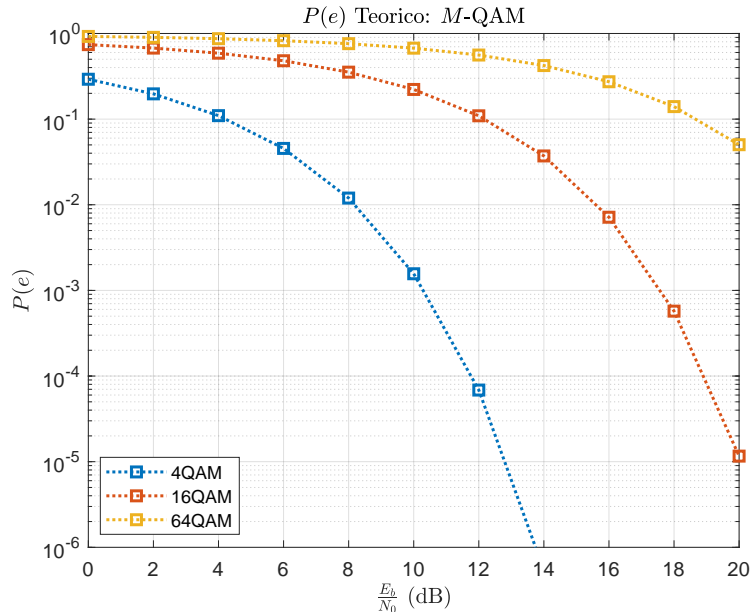


Figura 4: Probabilidade de erro ($P(e)$) teórico M -QAM.

2.3 Problema 3 - Canal RAGB

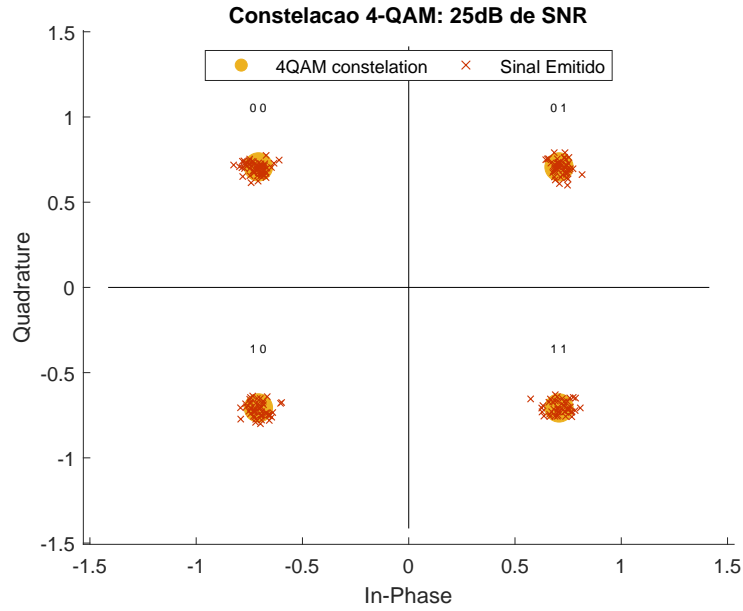


Figura 5: Simulação de transmissão 4-QAM, com SNR de 25dB.

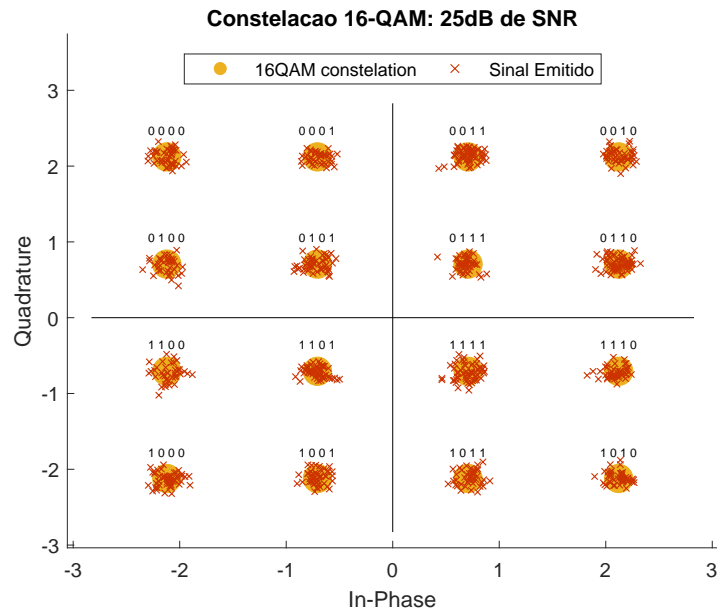


Figura 6: Simulação de transmissão 16-QAM, com SNR de 25dB.

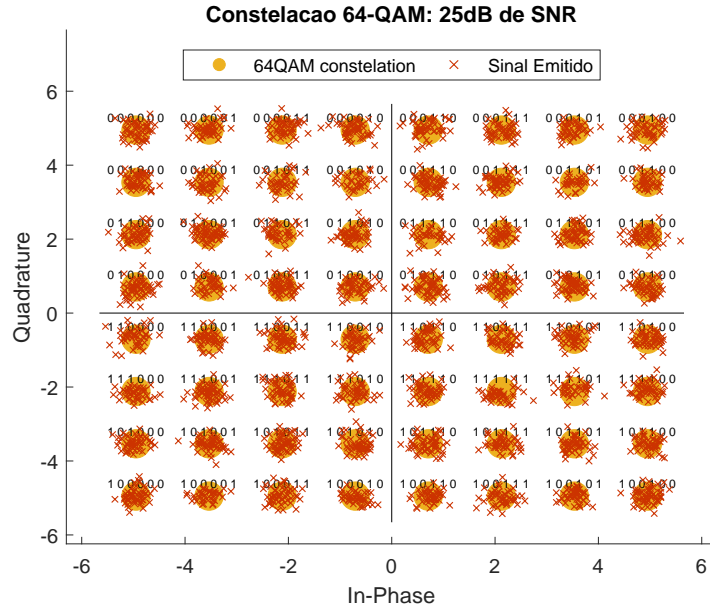


Figura 7: Simulação de transmissão 64-QAM, com SNR de 25dB.

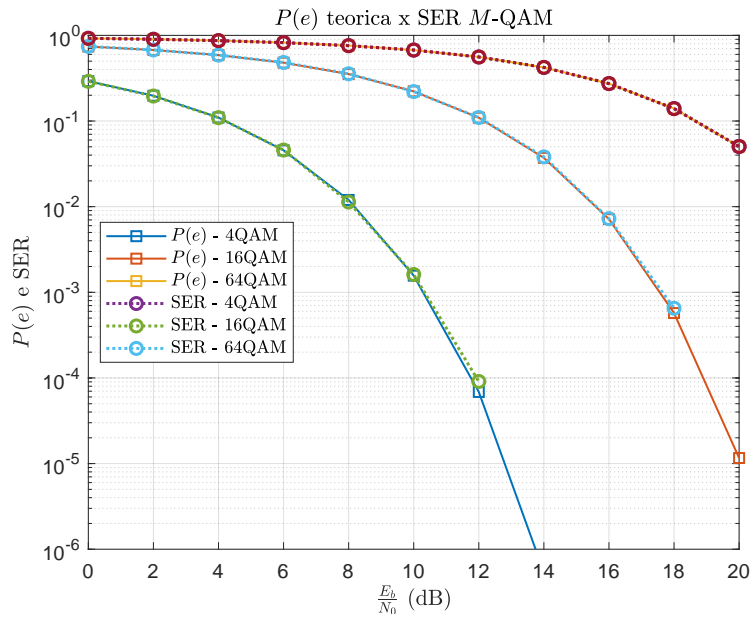


Figura 8: Probabilidade teórica de erro vs. simulação de transmissão M -QAM em canal RAGB.

2.4 Problema 4 - Modulação M -PSK

3 Conclusão e Resultados

Referências

- [1] J. G. Proakis e M. Salehi, *Digital Communications*, 5^a ed. 1995.
- [2] C. Pimentel, *Comunicação Digital*, 1^a ed. 2007.