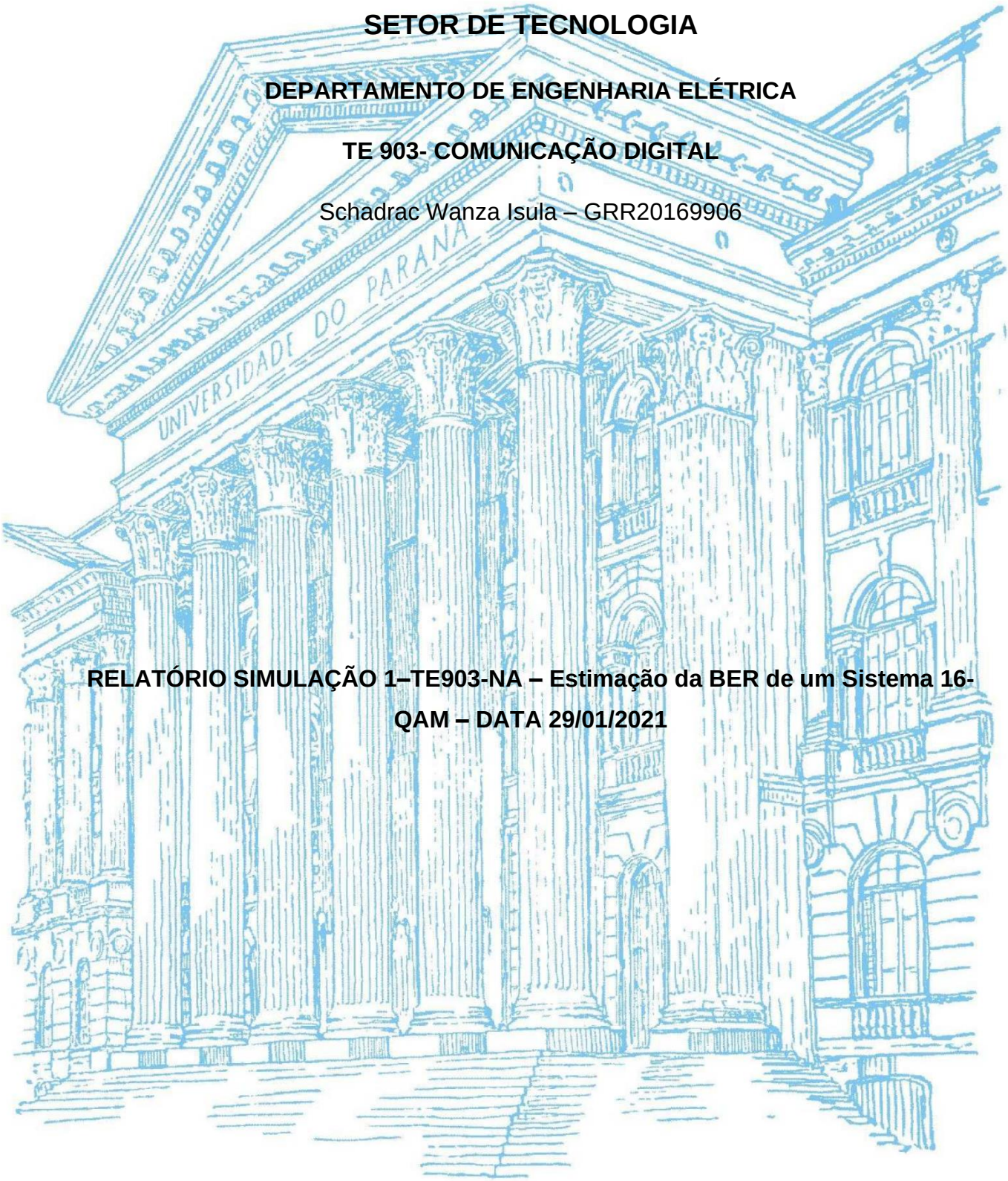
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SETOR DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

TE 903- COMUNICAÇÃO DIGITAL

Schadrac Wanza Isula – GRR20169906



RELATÓRIO SIMULAÇÃO 1–TE903-NA – Estimação da BER de um Sistema 16-QAM – DATA 29/01/2021

CURITIBA

2021

Schadrac Wanza Isula – GRR20169906

RELATÓRIO SIMULAÇÃO 1–TE903-NA – Estimação da BER de um Sistema 16-QAM – DATA 29/01/2021

Relatório acadêmico apresentado à a disciplina de comunicação digital, do curso de graduação em Engenharia Elétrica, da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Orientador: Prof. Evelio Martin Garcia Fernandez

CURITIBA

2021

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO

Esse relatório consistiu-se em fazer simulações em matlab de transmissão digital de 16 QAM, a partir de script da simulação passada 16-QAM, fazer uma estimação da taxa de Erro (BER) de bit na recepção do equivalente em banda base com equalização de canal como mostrado na figura abaixo. O trabalho será repartido em duas patres, onde:

Parte 1 simulação com N1=2, N2=5;

Parte 2 com que melhora o desempenho do equalizador.

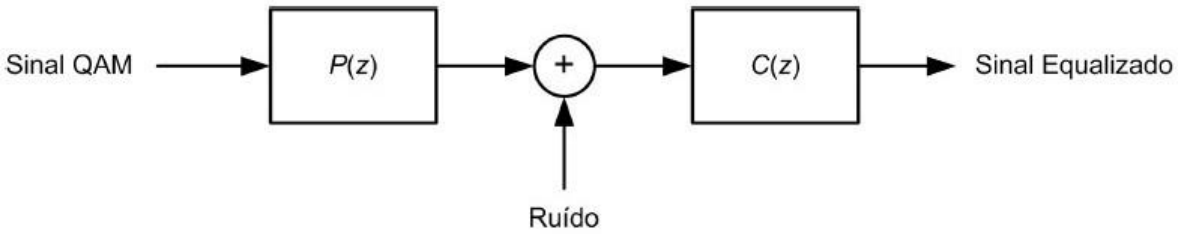


Figura 1: Equivalente em banda base do sistema com equalização

2 Parte 1

Nessa parte foi utilizado o script de *ber_equivalenteBB_16QAM_multipath.m*, como ponto de partida para realização da simulação, foi necessário fazer a resposta impulsiva *P(Z)*. para N1=2 e N=3, foi plotado a função de transferência do canal com distorção, a função de transferência do equalizador implementado e a função de transferência conjunta canal-equalizador em uma única figura como mostrado na figura 2.

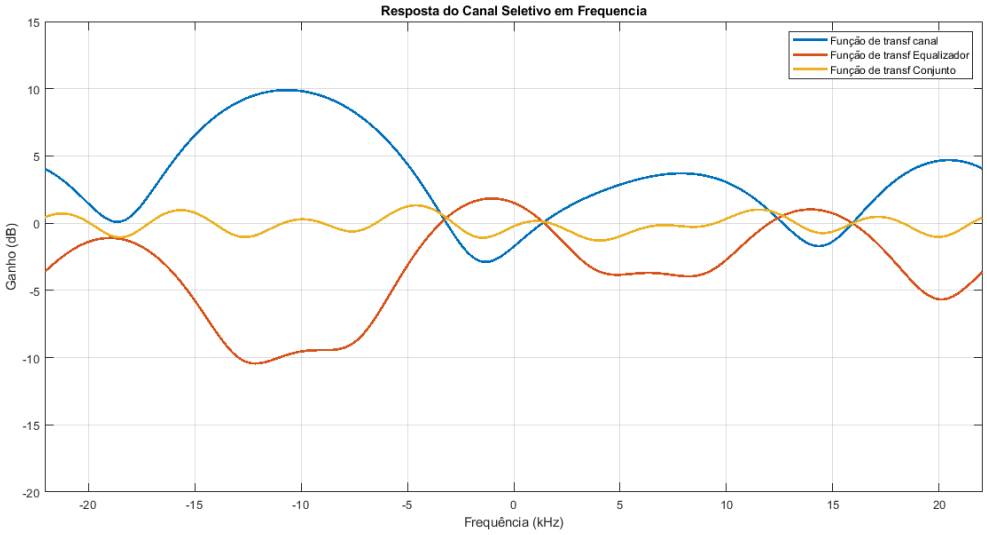


Figura 2: Função de transferência.

o código da simulação será anexado no final do relatório

$$Fs = 44100\ Hz;$$

$$Fc = 8000\ Hz;$$

$$Ts = \frac{1}{Fs};$$

$$Oversampling = 10, Fator\ \frac{Fs}{R};$$

$$R = \frac{Fs}{oversampling} = \frac{44100}{10} = 4410\ simbolos\ por\ seg;$$

$$del = 25;$$

$$rolloff = 0.5.$$

ISI_channel = [0.19+0.56j 0:45-1.28j 0.14-0.53j -0.19+ 0.23j 0.33 + 0.51j].

Foi plotado também o diagrama de constelação como está na figura 3 abaixo:

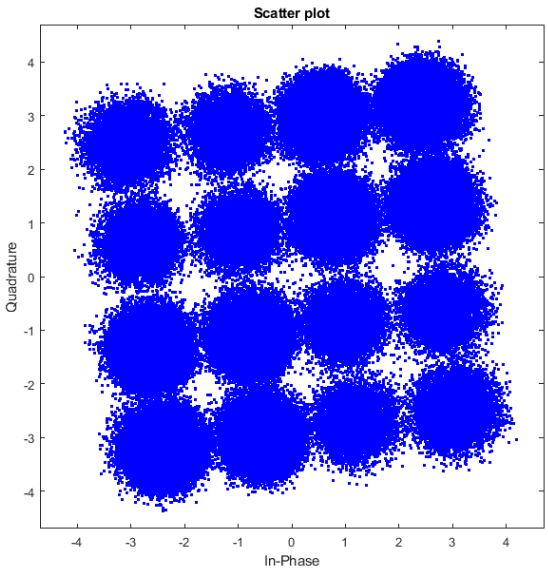


Figura 3: Diagrama de constelação

E as curvas de desempenhe do erro (ER vs. Eb/No) em uma única figura para canal gaussiano (isso quer dizer que colocamos o ISI_channel = 1, no código), canal com distorção sem Equalização e canal com distorção com Equalização.

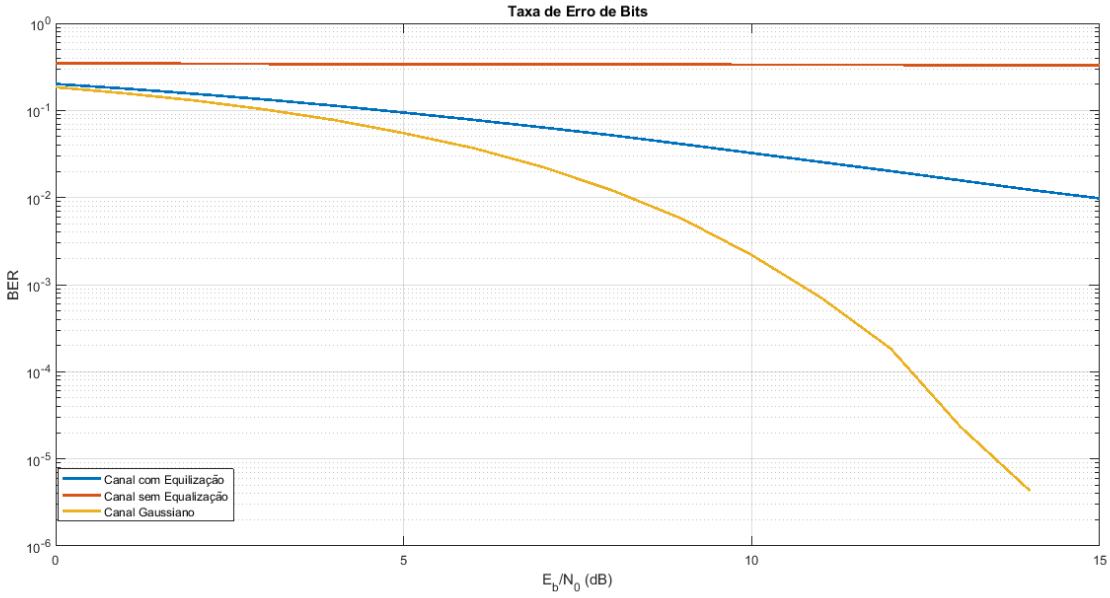


Figura 4: Curvas de desempenho de BER

3 Parte 2

Nessa parte, foi feito a escolha de N1 e N2 que torna melhor o desempenho do Equalizador por tentativa, mudando os números e foi constatado que os melhores números para tornar melhor o Equalizador, foi N1=7 e N2=18. A partir desse foi plotado a função de transferência do canal com distorção, a função de transferência do equalizador implementado e a função de transferência conjunta canal-equalizador em uma única, como mostrado na figura abaixo:

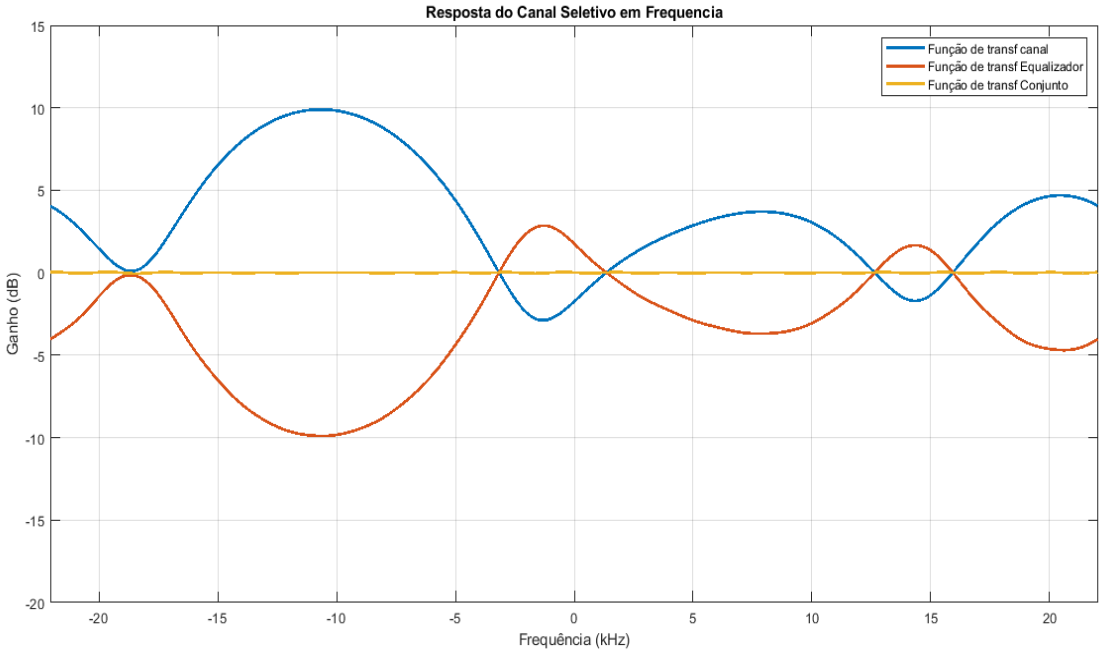


Figura 5: Função de transferência do melhor Desempenho o Equalizador

Com os valores escolhido, foi plotado o diagrama de constelação abaixo:

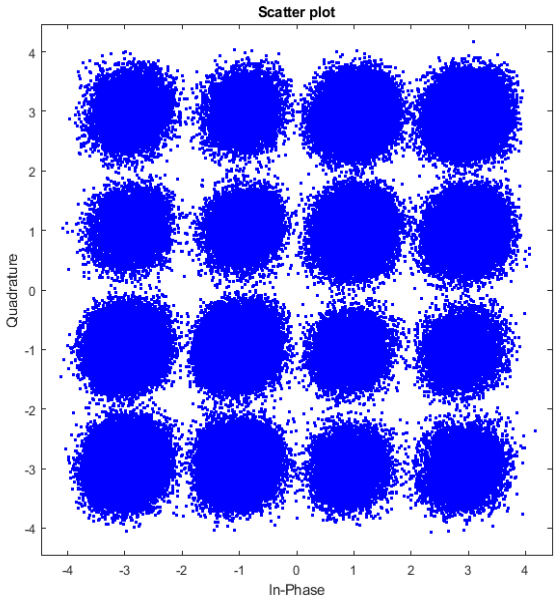


Figura 6: Diagrama de constelação

Também as curvas de desempenhe do erro (ER vs. Eb/No) em uma única figura para canal gaussiano (isso quer dizer que colocamos o ISI_channel = 1, no código), canal com distorção sem Equalização e canal com distorção com Equalização como foi feito na parte 1.

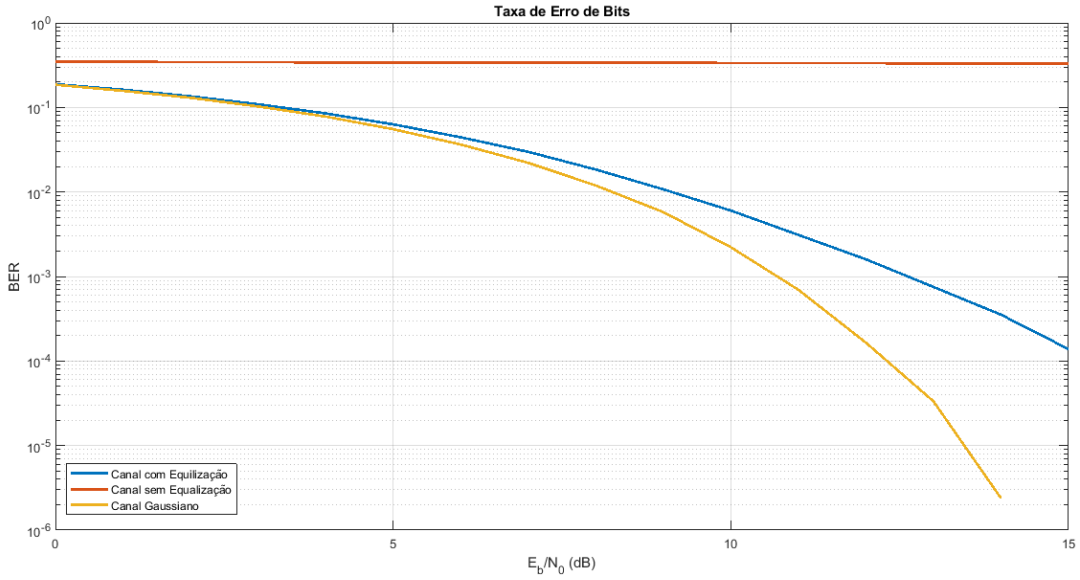


Figura 7: Curva de desempenho do BER

6 CONCLUSÃO

Foi constatado que usando os valores que torna o desempenho do Equalizador melhor, todas as curvas melhoram também. Muito mais as funções de transferência.

6 CÓDIGO DE MATLAB

```
% ------------------------------------------------------------------------
% Simulacao do Equivalente em banda Base de um Sistema 16-QAM
% Transmissao atraves de um Canal Seletivo em Frequencia
% ------------------------------------------------------------------------

clear; clc; close all;

% ------------------------------------------------------------------------
% Parametros
% ------------------------------------------------------------------------

Fs=44100;           % Frequencia de Amostragem do Sinal Continuo (Hz)
Ts=1/Fs;            % Periodo de Amostragem (s)

Fc=8000;            % Frequencia da Portadora (Hz)

oversampling=10;    % Fator Fs/R

R=Fs/oversampling;  % Taxa de Transmissao em simbolos/s (baud rate)
T=1/R;              % Periodo de Simbolo (s)

del=25;             % Resposta do filtro formatador se estende por (2*del) per?odos de simbolo
                    % Numero de amostras do filtro formatador: N=2*(del*oversampling)+1

rolloff=0.5;          % Fator de rolloff dos filtros Tx e Rx

N1 = 7;
N2 = 18;
L1 = 1;
L2 = 3;
% ------------------------------------------------------------------------
% Leitura da Imagem e mapeamento 4-PAM
%------------------------------------------------------------------------

%im_in=imread('shuttle_80x60.tif');  %Leitura da imagem a ser transmitida
im_in=imread('lenna512.tif');

L=8;
[size_r,size_c]=size(im_in);
im_size=size_r*size_c;
im_vec=reshape(im_in,1,im_size);

bit_matrix=de2bi(im_vec);
bit_per_symbol=2;               %constelacao 2^bit_per_symbol-PAM, neste caso 4-PAM
bit_symbols=reshape(bit_matrix, im_size*L/bit_per_symbol, bit_per_symbol);
symbols=bi2de(bit_symbols);     %dibits a ser transmitidos
a=[-3 -1 1 3];                  %alfabeto 4-PAM
symbols=symbols+1;
pam=a(symbols);

 pam_I=pam(1:2:length(pam));    %Simbolos em fase e quadratura
 pam_Q=pam(2:2:length(pam));


% ------------------------------------------------------------------------
% Filtro de Tx+Rx
% Formatacao de Pulso - Tipo Raiz Quadrada do Cosseno Levantado no Tx e Rx
% ------------------------------------------------------------------------
filtro=rcosfir(rolloff,del,oversampling,1,'sqrt');

%Formatar e transmitir os simbolos QAM

sinal_tx_I=upsample(pam_I,oversampling);          % Realiza Upsampling
sinal_tx_Q=upsample(pam_Q,oversampling);
sinal_tx_filtrado_I=conv(sinal_tx_I,filtro);      % Sinal Filtrado de Transmissao
sinal_tx_filtrado_Q=conv(sinal_tx_Q,filtro);
```

```
sinal_QAM=sinal_tx_filtrado_I+1j*sinal_tx_filtrado_Q;


% ------------------------------------------------------------------------
% Canal com multipercurso (ISI channel)
% ------------------------------------------------------------------------

ISI_channel = [0.19+.56j .45-1.28j -.14-.53j -.19+.23j .33+.51j]; % Canal com Equalizador
ISI_channel_sem = [0.19+.56j .45-1.28j -.14-.53j -.19+.23j .33+.51j]; % Canal sem Equalizador
ISI_channel_G =1;                                                  % Canal Gaussiano



P = convmtx (ISI_channel,N1+N2+1)';                                % Matriz de convolução P
uzf = zeros(1,N1+N2+L1+L2+1);
uzf (N1+L1+1) = 1;
Cls = (((inv(P'*P))*P')*uzf')';                                    % Coeficiente de Equalização
[H2,F2]=freqz(Cls,1,2048,'whole',Fs);
gain2=20*log10(fftshift(abs(H2)));


figure(1);

[H,F]=freqz(ISI_channel,1,2048,'whole',Fs);
gain=20*log10(fftshift(abs(H)));
plot((F-Fs/2)/1000,gain,'LineWidth',2); grid;
hold on
plot((F2-Fs/2)/1000,gain2,'LineWidth',2); grid;
plot((F2-Fs/2)/1000,gain + gain2,'LineWidth',2); grid;
axis([-Fs/(2*1000) Fs/(2*1000) -20 15]);
legend('Função de transf canal', 'Função de transf Equalizador', 'Função de transf Conjunto');
xlabel('Frequência (kHz)');
ylabel('Ganho (dB)');
title('Resposta do Canal Seletivo em Frequencia');

sinal_rx_ISI=filter(ISI_channel,1,sinal_QAM);
sinal_rx_ISI_sem=filter(ISI_channel_sem,1,sinal_QAM);
sinal_rx_ISI_G=filter(ISI_channel_G,1,sinal_QAM);
ebn0=[0:1:15];
M=4;      % Duas modulações 4-PAM em quadratura

for k=1:1:length(ebn0);

sinal_rx_ISI_ruido = awgn(sinal_rx_ISI,(ebn0(k)+10*log10(log2(M))-10*log10(oversampling/2)),'measured');
sinal_rx_ISI_ruido_2 = awgn(sinal_rx_ISI_sem,(ebn0(k)+10*log10(log2(M))-10*log10(oversampling/2)),'measured');
sinal_rx_ISI_ruido_3 = awgn(sinal_rx_ISI_G,(ebn0(k)+10*log10(log2(M))-10*log10(oversampling/2)),'measured');

sinal_rx_ISI_ruido_Cls = filter(Cls,1,sinal_rx_ISI_ruido);
sinal_rx_ISI_ruido_Cls = sinal_rx_ISI_ruido_Cls(L1+N1+2:end);



% ------------------------------------------------------------------------
% Receptor (Filtro Casado)
% ------------------------------------------------------------------------

sinal_rx_casado_I_sem=conv(real(sinal_rx_ISI_ruido_2),filtro);
sinal_rx_casado_Q_sem=conv(imag(sinal_rx_ISI_ruido_2),filtro);

%________

sinal_rx_casado_I_G=conv(real(sinal_rx_ISI_ruido_3),filtro);
sinal_rx_casado_Q_G=conv(imag(sinal_rx_ISI_ruido_3),filtro);

%________

sinal_rx_casado_I=conv(real(sinal_rx_ISI_ruido_Cls),filtro);
sinal_rx_casado_Q=conv(imag(sinal_rx_ISI_ruido_Cls),filtro);
```

```
pam_rx_I=downsample(sinal_rx_casado_I,oversampling);
pam_rx_Q=downsample(sinal_rx_casado_Q,oversampling);
pam_rx_I=pam_rx_I(del*2+1:length(pam_rx_I)-del*2);
pam_rx_Q=pam_rx_Q(del*2+1:length(pam_rx_Q)-del*2);

pam_rx_I_sem=downsample(sinal_rx_casado_I_sem,oversampling);
pam_rx_Q_sem=downsample(sinal_rx_casado_Q_sem,oversampling);
pam_rx_I_sem=pam_rx_I_sem(del*2+1:length(pam_rx_I_sem)-del*2);
pam_rx_Q_sem=pam_rx_Q_sem(del*2+1:length(pam_rx_Q_sem)-del*2);

pam_rx_I_G=downsample(sinal_rx_casado_I_G,oversampling);
pam_rx_Q_G=downsample(sinal_rx_casado_Q_G,oversampling);
pam_rx_I_G=pam_rx_I_G(del*2+1:length(pam_rx_I_G)-del*2);
pam_rx_Q_G=pam_rx_Q_G(del*2+1:length(pam_rx_Q_G)-del*2);

%Estimacao dos simbolos PAM recebidos (fase e quadratura)

alphabet=[-3 -1 1 3];
symbols_rx_quant_I=quantalph(pam_rx_I,alphabet);
symbols_rx_quant_Q=quantalph(pam_rx_Q,alphabet);

symbols_rx_quant_I_sem=quantalph(pam_rx_I_sem,alphabet);
symbols_rx_quant_Q_sem=quantalph(pam_rx_Q_sem,alphabet);

symbols_rx_quant_I_G=quantalph(pam_rx_I_G,alphabet);
symbols_rx_quant_Q_G=quantalph(pam_rx_Q_G,alphabet);

%_____________________________________________________
a=[0 1 2 3];
symbols_rx_I=(symbols_rx_quant_I+3)/2+1;
symbols_rx_Q=(symbols_rx_quant_Q+3)/2+1;
symbols_rx=zeros(1,length(pam));
symbols_rx(1:2:length(pam))=symbols_rx_I;
symbols_rx(2:2:length(pam))=symbols_rx_Q;
symbols_rx=a(symbols_rx);
bit_symbols_rx=de2bi(symbols_rx);
bit_matrix_rx=reshape(bit_symbols_rx, im_size, L);
im_vec_rx=bi2de(bit_matrix_rx);
%im_vec=reshape(im_in,1,im_size);
im_in_rx=reshape(im_vec_rx,size_r,size_c);
%_____________________________________________________________

symbols_rx_I_sem=(symbols_rx_quant_I_sem+3)/2+1;
symbols_rx_Q_sem=(symbols_rx_quant_Q_sem+3)/2+1;
symbols_rx_sem=zeros(1,length(pam));
symbols_rx_sem(1:2:length(pam))=symbols_rx_I_sem;
symbols_rx_sem(2:2:length(pam))=symbols_rx_Q_sem;
symbols_rx_sem=a(symbols_rx_sem);
bit_symbols_rx_sem=de2bi(symbols_rx_sem);
bit_matrix_rx_sem=reshape(bit_symbols_rx_sem, im_size, L);
im_vec_rx_sem=bi2de(bit_matrix_rx_sem);
im_in_rx_sem=reshape(im_vec_rx_sem,size_r,size_c);

%_____________________________________________________________

symbols_rx_I_G=(symbols_rx_quant_I_G+3)/2+1;
symbols_rx_Q_G=(symbols_rx_quant_Q_G+3)/2+1;
symbols_rx_G=zeros(1,length(pam));
symbols_rx_G(1:2:length(pam))=symbols_rx_I_G;
symbols_rx_G(2:2:length(pam))=symbols_rx_Q_G;
symbols_rx_G=a(symbols_rx_G);
bit_symbols_rx_G=de2bi(symbols_rx_G);
bit_matrix_rx_G=reshape(bit_symbols_rx_G, im_size, L);
im_vec_rx_G=bi2de(bit_matrix_rx_G);
im_in_rx_G=reshape(im_vec_rx_G,size_r,size_c);

[num_erros(k),BER(k)]=symerr(bit_matrix_rx,bit_matrix);
[num_erros_sem(k),BER_sem(k)]=symerr(bit_matrix_rx_sem,bit_matrix);
```

```
[num_erros_G(k),BER_G(k)]=symerr(bit_matrix_rx_G,bit_matrix);
end

figure(2);

subplot(2,1,1);        %Visualizacao da imagem transmitida
colormap(gray);
h=image(im_in);
set(h,'CDataMapping','scaled')
axis('equal');
title('Imagem Transmitida');
hold;

subplot(2,1,2);                                %Visualizacao da imagem recebida
colormap(gray);
h=image(im_in_rx);
set(h,'CDataMapping','scaled')
axis('equal');
title('Imagem Recebida');

x=sinal_rx_casado_I+j*sinal_rx_casado_Q;
eyediagram(x(1,5000:10000),2*oversampling)             %Diagrama de olho
%scatterplot(symbols_rx_quant_I+j*symbols_rx_quant_Q)

scatterplot(pam_rx_I+j*pam_rx_Q)

figure(5);
semilogy(ebn0,BER,'LineWidth',2)
grid on
hold on
semilogy(ebn0,BER_sem,'LineWidth',2)
semilogy(ebn0,BER_G,'LineWidth',2)
legend('Canal com Equilização', 'Canal sem Equalização', 'Canal Gaussiano');

xlabel('E_b/N_0 (dB)');
ylabel('BER');
title('Taxa de Erro de Bits');
axis([0 15 1e-6 1]);
```

```
Current plot held
```