

# AE3 - Sistemas de comunicação

## *Transmissão em banda base*

Leticia Coelho

Abril 2018

## 1 Introdução

Este relatório demonstra os experimentos efetuados para entendimento de conceitos de transmissão binária com sinalização NRZ (unipolar e bipolar), análise de desempenho de erros e filtro casado. Os experimentos foram realizados utilizando o software MATLAB com o objetivo de simular cenários reais descritos nas sessões posteriores.

### 1.1 Modulação PCM

A modulação PCM (Pulse Code Modulation) é um processo utilizado para efetuar a transmissão de sinais, o qual através do processo de amostragem, quantização e codificação representa amostras de sinais analógicos de forma digital para realizar a transmissão. Assim, as informações são quantizadas e demonstram a magnitude do sinal analógico regularmente em intervalos uniformes.

As codificações possuem diferentes técnicas, dentre as quais utilizam-se modulação unipolar, que possui um nível de tensão, polar que possui dois níveis de tensão e modulação bipolar que possui três níveis de tensão (positivo, negativo e zero). Desta forma, as sinalizações auxiliam para a transmissão do sinal pelo meio através de diferenças discretas de tensão. Assim, podemos classificar a informação digital como codificação de linha baseada em NRZ, RZ e entre outros, considerando seus diferentes níveis de tensão. Na Figura 1 é possível verificar uma simples representação do processo de codificação. [? ]

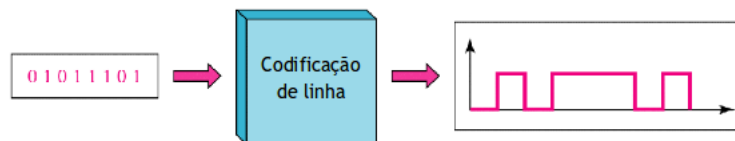


Figure 1: Codificação de linha[? ]

## 1.2 Sinalização NRZ

A modulação PCM possui diferentes técnicas de sinalização, dentre elas a sinalização NRZ (Non Return to Zero) possui o objetivo de transmitir dados analógicos de forma digital. Nas atividades a seguir utilizamos a sinalização NRZ. Na Figura 2 podemos verificar uma demonstração dos modos de sinalização NRZ, e seus diferentes níveis de tensão.

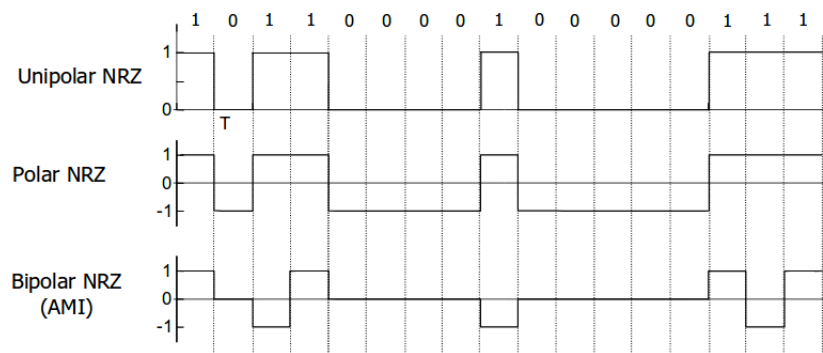


Figure 2: Codificação de linha - NRZ[? ]

## 1.3 Ruído Térmico

O ruído térmico é causado pelo movimento aleatório dos elétrons em elementos que dissipam energia[1]. Com base no teorema do limite central, é possível concluir que o ruído térmico tem distribuição Gaussiana com média zero. O ruído possui propriedades que serão demonstradas nas sessões seguintes.

### 1.3.1 Densidade espectral

A densidade espectral do ruído é  $N_0$ , constante em praticamente toda a faixa de frequência é utilizada em sistemas de comunicação. Possui alteração para os diferentes tipos de sinalização, conforme podemos verificar na Figura 3.

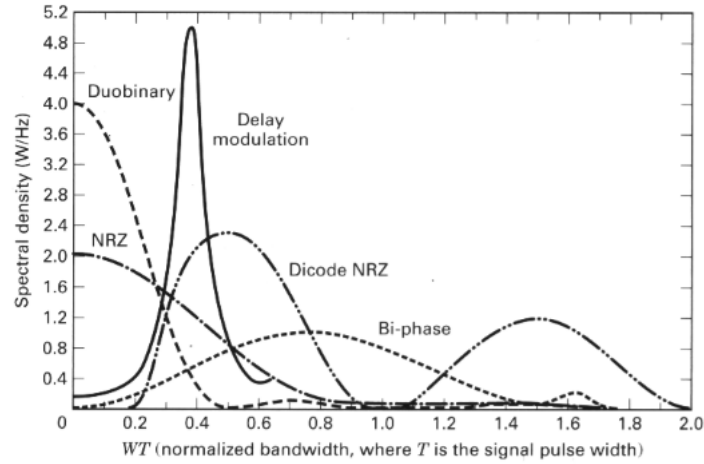


Figure 2.23 Spectral densities of various PCM waveforms.

Figure 3: Densidade espectral de potência[1]

### 1.3.2 Canal AWGN

O canal AWGN (Additive White Gaussian Noise) é um modelo matemático que reflete as principais características dos meios de transmissão de sinais e das alterações necessárias introduzidas nos sinais que para transmissão. Este modelo apresenta uma probabilidade de erro que decai de maneira exponencial com o aumento da SNR ( Relação sinal ruído - Energia do bit dividida pela densidade espectral do ruído). [? ]

### 1.4 Filtro casado

Considerando um ruído branco, com característica de densidade espectral de potência constante, a solução mais eficiente para um filtro de pré-seleção do sinal é um filtro casado, pois este filtro possui caracterização casada com o sinal componente da onda recebida, assim maximiza a razão sinal/ruído de saída.[? ]

Com a presença do ruído no canal de comunicação o problema de detecção do pulso é gerado. Para solução deste problema é necessário utilizar um filtro otimizado que ressalta a detecção do pulso. Para este fim o filtro casado torna-se eficiente pois destaca a amplitude dos sinais recebidos, devido ao SNR maximizado. A Figura 4, demonstra a representação gráfica do filtro casado, onde  $s(T - t)$  é a forma de onda do sinal original invertida e deslocada em  $T$ .

$$h(t) = \begin{cases} ks(T-t) & 0 \leq t \leq T \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases}$$

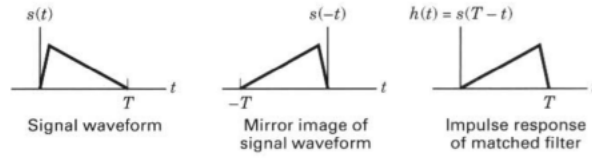


Figure 4: Representação de filtro casado [1]

Assim sendo, para realizar a detecção dos dados transmitidos e determinar as probabilidades de erro de transmissão, faz-se uso do limiar de decisão que pode ser verificado na Figura 5. As sinalização utilizada influencia na probabilidade de maior ou menor detecção incorreta. Também é possível verificar através das equações 1 e 2 a probabilidade de erro relacionada.

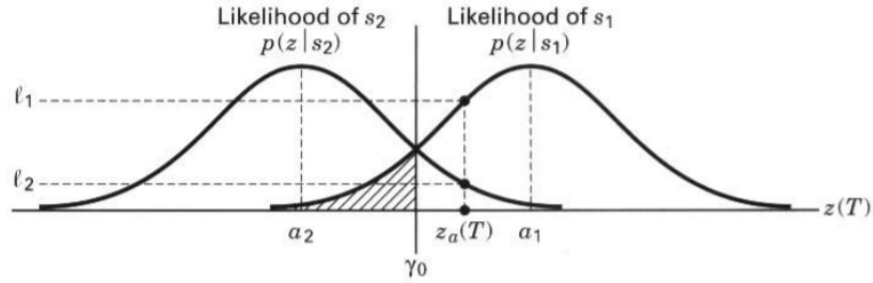


Figure 3.2 Conditional probability density functions:  $p(z|s_1)$  and  $p(z|s_2)$ .

Figure 5: Limiar de decisão[1]

#### Probabilidade de erro - Unipolar

$$P_B = Q(\sqrt{E_b/N_o}) = Q(\sqrt{SNR}) \quad (1)$$

#### Probabilidade de erro - Bipolar

$$P_B = Q(\sqrt{(2E_b/N_o)}) \quad (2)$$

## 2 Experimento 1

O primeiro experimento propôs simular uma transmissão binária com os seguintes parâmetros:

- Sequência de informação [0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0];
- Sinalização NRZ unipolar com nível de amplitude de 1V;
- Canal AWGN com  $\text{SNR} = 10 \text{ dB}$ ;
- Recepção com e sem filtro casado (implementar as duas soluções)

### 2.1 Transmissão binária com sinalização NRZ

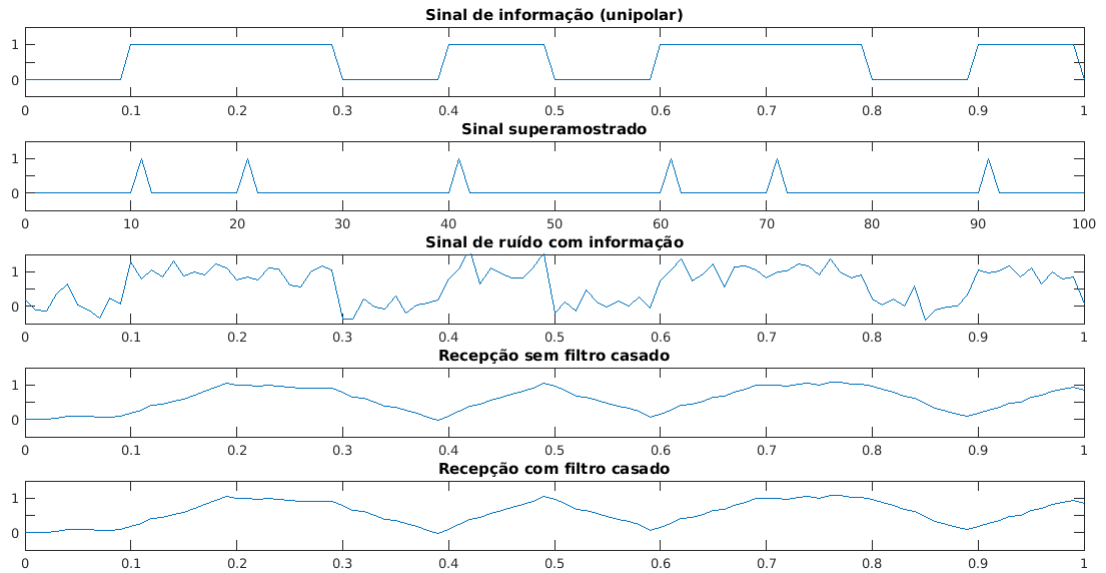


Figure 6: Transmissão com sinalização NRZ

### 3 Experimento 1 Código

---

```
% Simulação de transmissão binária.
N = 10;snr = 10;Pb = 10;

info = [0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0]; %Sinal de informação
info_superamostrado = info;% Definição dos níveis do sinal

% Filtro que formata o sinal
filtro_format = ones(1,N);
filtro_casado = filtro_format;

info_up = upsample(info_superamostrado,N);% Superamostragem do sinal
sinal_filter = filter(filtro_format,1,info_up);% Sinal filtrado

% Sinal filtrado e ruído
t = [0:length(sinal_filter)-1]/(N*Pb);
filtro = fir1(50, 2*pi*1000/2e5);
Tx_info = sinal_filter;
ruído = 0.1*randn(1,length(Tx_info));

% Canal AWGN
ruído_info = awgn(Tx_info, snr, 'measured');
ruído_filtrado = filter(filtro_format, 1,ruído_info)/N;
ruído_casado = filter(filtro_casado, 1, ruído_info)/N;
```

### 4 Experimento 2

O segundo experimento propôs simular desempenho de erro para comparar, através de um gráfico de Probabilidade de erro de bit (Pb) vs. SNR, os seguintes sistemas:

- Transmissão utilizando sinalização NRZ unipolar com amplitude de 1V e 2V, ambos sem a utilização de filtro casado;
- Transmissão utilizando sinalização NRZ unipolar com amplitude de 1V, com e sem filtro casado;
- Transmissão utilizando sinalização NRZ unipolar e bipolar, ambos com a utilização de filtro casado;
- Plote as expressões teóricas de Pb das sinalizações Polar e Bipolar (eq. 3.73 e 3.76) e compare-as com os resultados da simulação do item 3. Observe que as simulações anteriores estão em função de SNR e as expressões em função de  $E_b/N_0$ !

#### 4.1 Transmissão utilizando sinalização NRZ unipolar com amplitude de 1V e 2V, ambos sem a utilização de filtro casado

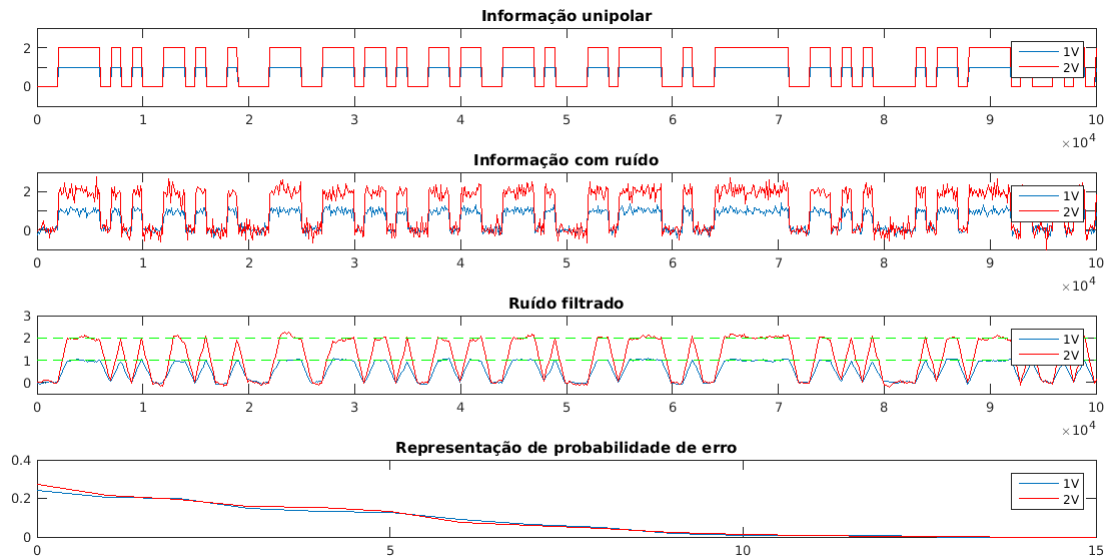


Figure 7: Sinalização NRZ unipolar

#### 4.2 Código

```
N = 10;snr=15;Rb = 1; %taxa de transmissao
filtro_nrz = ones(1,N);

unip = randi([0 1], 1, 1e3);unip_2 = unip*2;%Informação

%Superamostragem do sinal
info_up = upsample(unip,N);info_up_2 = upsample(unip_2,N);

%Filtro para modulação PCM com NRZ
Tx_unip = filter(filtro_nrz,1, info_up);Tx_unip_2 = filter(filtro_nrz,1, info_up_2);

filtro = fir1(50, 2*pi*1000/2e5);

ruído = 0.1*randn(1,length(Tx_unip));ruído = 0.1*randn(1,length(Tx_unip_2));

%Canal AWGN
r_unip = awgn(Tx_unip, snr, 'measured');r_unip_2 = awgn(Tx_unip_2, snr, 'measured');

r_filt = filter(filtro_nrz, 1, r_unip)/N;r_filt_2 = filter(filtro_nrz, 1, r_unip_2)/N;

a_unip = r_filt(N:N:end);a_unip_2 = r_filt_2(N:N:end);
info_unip = a_unip > 0.5;info_unip_2 = a_unip_2 > 0.5;
```

```
%Verificação da diferença entre o numero de bits da
%informação original e da recebida, para medir o Erro de bit.
```

```
for s = 0:snr
    v_unip = awgn(Tx_unip, s, 'measured');
    v_unip_2 = awgn(Tx_unip_2, s, 'measured');
    amostra = v_unip(N:N:end);
    amostra_2 = v_unip_2(N:N:end);
    info_h = amostra > 0.5;
    info_h_2 = amostra_2 > 1;
    [erro(s+1), taxa(s+1)] = biterr(unip, info_h);
    [erro_2(s+1), taxa_2(s+1)] = biterr(unip, info_h_2);
end
```

### 4.3 Transmissão utilizando sinalização NRZ unipolar com amplitude de 1V, com e sem filtro casado

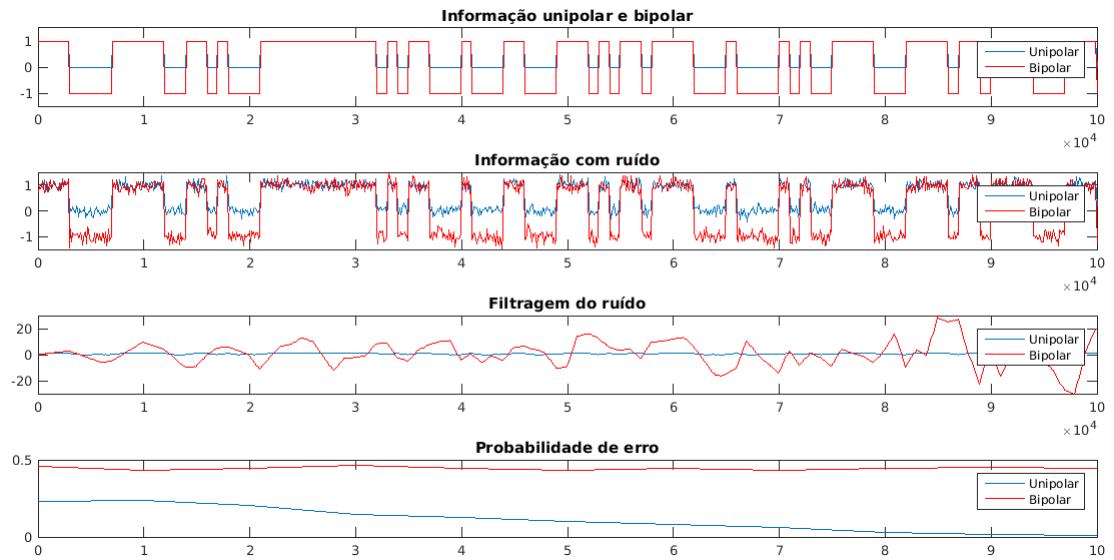


Figure 8: Sinalização NRZ



## 4.4 Código

```

N = 10;snr=15;
filtro_nrz = ones(1,N);
f_casado = filtro_nrz;
Rb = 1;

unip = randi([0 1], 1, 1e3);info_up = upsample(unip,N);
Tx_unip = filter(filtro_nrz,1, info_up);% Formata
filtro = fir1(50, 2*pi*1000/2e5);
ruído = 0.1*randn(1,length(Tx_unip));
r_unip = awgn(Tx_unip, snr, 'measured');
r_filt = filter(filtro_nrz, 1, r_unip)/N;
a_unip = r_filt(N:N:end);
info_unip = a_unip > 0.5;

for s = 0:snr
    v_unip = awgn(Tx_unip, s, 'measured');
    amostra = v_unip(N:N:end);
    info_h = amostra > 0.5;
    [erro(s+1), taxa(s+1)] = biterr(unip, info_h)
    % f. casado
    unip_filtrado = filter(f_casado, 1, v_unip)/N;
    amostra_casado = unip_filtrado(N:N:end);
    unip_casado_filtrado = amostra_casado > 0.5; %limiar para distinção entre 0 e 1
    [erro_2(s+1), taxa_2(s+1)] = biterr(unip, unip_casado_filtrado); %comparacao com o sinal original e taxa de erro de bit
end

```

## 4.5 Transmissão utilizando sinalização NRZ unipolar e bipolar, ambos com a utilização de filtro casado

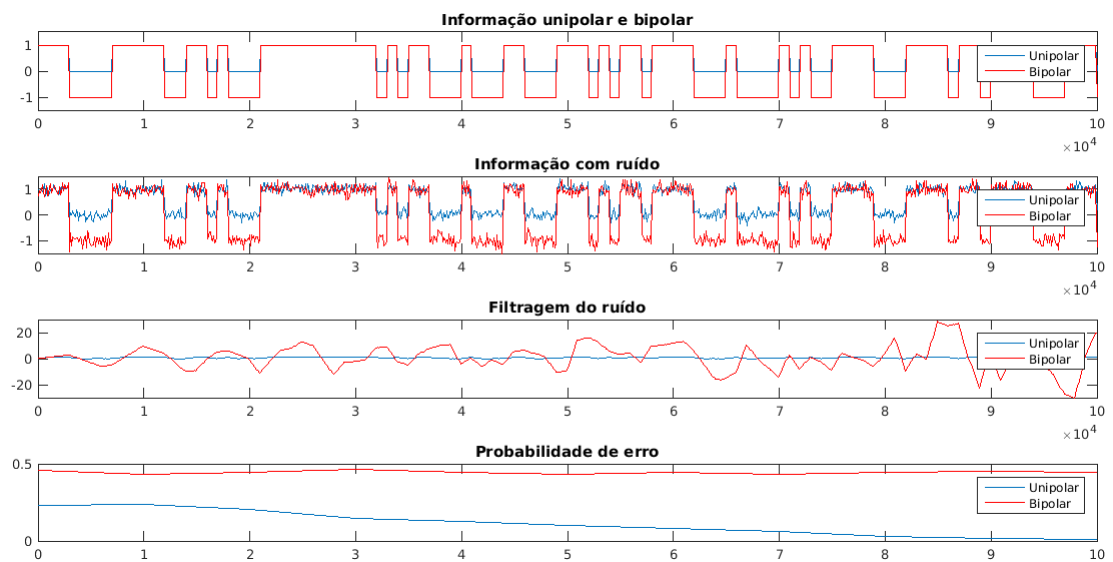


Figure 9: Sinalização NRZ unipolar e bipolar

## 4.6 Código

```
N = 10;snr=15;
filtro_nrz = ones(1,N);
f_casado = filtro_nrz;
Rb = 1; %taxa de transmissao

unip = randi([0 1], 1, 1e3);info_up = upsample(unip,N);
Tx_unip = filter(filtro_nrz,1, info_up);
filtro = fir1(50, 2*pi*1000/2e5);
ruído = 0.1*randn(1,length(Tx_unip));
r_unip = awgn(Tx_unip, snr, 'measured');
r_filt = filter(filtro_nrz, 1, r_unip)/N;
a_unip = r_filt(N:N:end);
info_unip = a_unip > 0.5;

for s = 0:snr
    v_unip = awgn(Tx_unip, s, 'measured');
    amostra = v_unip(N:N:end);
    info_h = amostra > 0.5;
    [erro(s+1), taxa(s+1)] = biterr(unip, info_h);
    % f. casado
    unip_filtrado = filter(f_casado, 1, v_unip)/N;
    amostra_casado = unip_filtrado(N:N:end);
    unip_casado_filtrado = amostra_casado > 0.5; %limiar para distinção entre 0 e 1
    [erro_2(s+1), taxa_2(s+1)] = biterr(unip, unip_casado_filtrado); %comparacao com o sinal original e taxa de erro de bit
end

bip = unip*2 - 1;
info_up_bip = upsample(bip, N);
Tx_bip = filter(filtro_nrz, 1, info_up_bip);

%Vetor de tempo de acordo com a taxa de transmissão
t2 = [0:length(Tx_bip)-1]/(N*Rb);

%Processo de normalização para amostragem (-1 = 0)
bipolar_n = bip;
find_0 = bipolar_n == -1;
pos_0 = find(find_0);
bipolar_n(pos_0) = 0;

for snr = 0:15
    v_bip = awgn(Tx_bip, snr, 'measured');
    bipolar_filtrado = filter(Tx_bip, 1, v_bip)/N;
    amostra_bipolar = bipolar_filtrado(N:N:end);
    info_hat_bipolar = amostra_bipolar > 0;
    [n_erro_bipolar(snr+1), taxa_bipolar(snr+1)] = biterr(bipolar_n, info_hat_bipolar);
end
```

## References

- [1] Michael. Haykin, Simon; Moher. *Introdução aos Sistemas de Comunicação*. -, 4ª Edição.