

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

CAMILLA BARRETO DE SOUSA

**SISTEMA DE COMUNICAÇÃO I**  
**RELATÓRIO III**

São José - SC

março/2021

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>CONCEITOS TEÓRICOS</b>	<b>3</b>
2.1	Sinalização RZ	3
2.2	Sinalização NRZ - bipolar	3
2.3	Relação sinal-ruído (SNR)	3
2.4	Filtro casado	4
<b>3</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>5</b>
3.1	Simulação 1 - Sinalização RZ unipolar e os efeitos do uso de filtro casado	5
3.2	Simulação 2 - Desempenho de erro	6
3.2.1	RZ (1V) X RZ (2V)	6
3.2.2	RZ (1V) X RZ (1V) com filtro casado	6
3.2.3	RZ (1V) com filtro casado X NRZ (1V) com filtro casado	7
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>9</b>
<b>A</b>	<b>SCRIPTS</b>	<b>10</b>

# 1 DESCRIÇÃO

Em sistemas de comunicação os sinais transmitidos por um canal sofrem distorções causadas pela presença do ruído térmico. Quanto maior a potência do ruído mais significativa é a distorção. A detecção do sinal na recepção nesses casos é prejudicada, aumentando a probabilidade de erro de bit. Para reduzir esses efeitos são usadas algumas estratégias, tanto na transmissão quanto na recepção do sinal, como por exemplo a escolha da potência do sinal, o tipo de sinalização e o uso de filtro casado.

Este relatório apresenta resultados de simulações feitas no software GNU Octave que comparam o desempenho dos tipos de sinalização e o uso de filtro casado em sistemas de comunicação. No [Capítulo 2](#) são apresentados conceitos teóricos que amparam o restante do relatório e no [Capítulo 3](#) as simulações e os resultados obtidos são relatados. Por fim, as conclusões são feitas no [Capítulo 4](#) e no [Apêndice A](#) estão os códigos usados nas simulações.

## 2 CONCEITOS TEÓRICOS

Nesse capítulo foram reunidos conceitos teóricos importantes para a realização das simulações, são eles: tipos de sinalização, relação sinal-ruído (SNR), probabilidade de erro e filtro casado.

### 2.1 Sinalização RZ

A sinalização de linha RZ (*Return-to-Zero*), ou *on-off*, consiste em representar os bits com um nível de tensão, sendo o bit 1 mapeado para uma tensão específica ( $AV$ ) e o bit 0 representado pela ausência de tensão ( $0V$ ).

Na transmissão os bits são mapeados para valores de tensão estabelecidos pela sinalização escolhida e na recepção do sinal acontece o inverso, os valores de tensão amostrados são mapeados para os bits correspondentes. Durante a transmissão o sinal acaba sofrendo distorções, então as tensões podem variar em torno do valor originalmente transmitido. Por esse motivo na recepção é estabelecido um critério de escolha, para definir um bit como 0 ou 1, esse critério é chamado de limiar. O limiar é definido como a tensão intermediária, ou seja, se  $A = 1V$  o limiar será  $0.5V$ .

### 2.2 Sinalização NRZ - bipolar

A sinalização de linha NRZ (*Non-Return-to-Zero*) do tipo bipolar, consiste em representar os bits com dois níveis de tensão, sendo o bit 1 mapeado para uma tensão positiva específica ( $AV$ ) e o bit 0 para a tensão oposta ( $-AV$ ).

As transmissões com esse tipo de sinalização também podem sofrer com distorções, então na recepção é estabelecido um critério de mapeamento dos valores de tensão amostrados para valores binários. O limiar é definido como a tensão intermediária, que nesse tipo de sinalização para qualquer valor de  $A$  o limiar sempre será  $0V$ .

### 2.3 Relação sinal-ruído (SNR)

A relação sinal-ruído (SNR – *Signal-to-noise ratio*) é a terminologia usada relacionar a potência do sinal transmitido ( $S$ ) em razão da potência do ruído no sistema ( $N$ ). Normalizando a equação pela largura de banda e taxa de transmissão de bits temos uma representação da SNR em função da energia de bit:

$$SNR = \frac{S}{N} \left( \frac{W}{R} \right) = \frac{Eb}{No} \quad (2.1)$$

Quanto menor a SNR, ou seja, quanto maior a potência do ruído em relação a potência do sinal transmitido, maior será a distorção da informação, portanto na recepção maiores serão as chances de erros de detecção de bit. A SNR é utilizada para o cálculo da probabilidade de erro de bit ( $Pb$ ) em canais AWGN. Para sinalização RZ a probabilidade é dada por:

$$Pb = Q \left( \sqrt{\frac{Eb}{No}} \right) \quad (2.2)$$

e para sinalização NRZ:

$$Pb = Q \left( \sqrt{\frac{2Eb}{No}} \right) \quad (2.3)$$

## 2.4 Filtro casado

Os filtros casados são filtros lineares projetados para uma determinada forma de onda de símbolo transmitido com a intensão de maximizar a relação sinal ruído no instante  $t=T$ . O filtro casado portanto é definido como o complexo conjugado do sinal que será transmitido, de forma que a correlação entre o filtro e o sinal na recepção será máxima no instante de amostragem.

$$h(t) = \begin{cases} kS(T-t) & , 0 \leq t \leq 1 \\ 0 & , elsewhere \end{cases} \quad (2.4)$$

## 3 RESULTADOS

### 3.1 Simulação 1 - Sinalização RZ unipolar e os efeitos do uso de filtro casado

A primeira simulação consistiu em realizar a transmissão de uma informação binária com sinalização RZ unipolar ( $A = 1V$ ) por um canal AWGN ( $SNR = 10dB$ ). Para essa transmissão foram analisados dois estágios de recepção: o sinal antes e após receber o tratamento com um filtro casado.

A informação binária escolhida para a simulação foi: 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1 0, que foi super amostrada com  $N = 10$  amostras por bit. A taxa de transmissão de bit definida foi  $Rb = 10KHz$ .

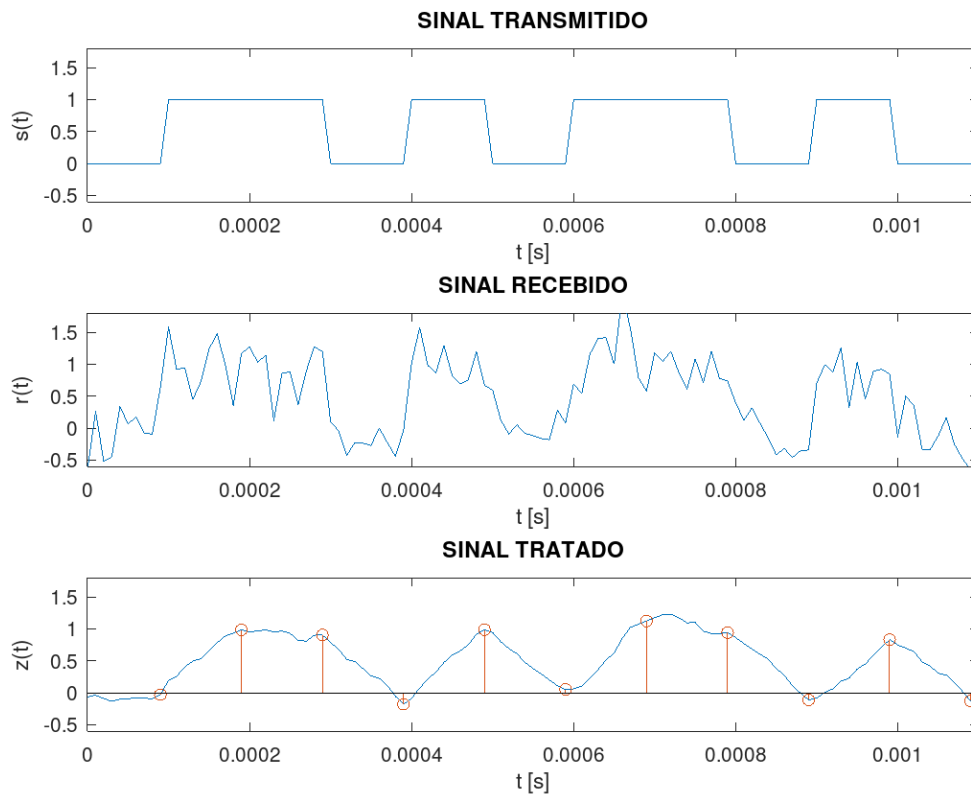


Figura 1 – Etapas do sinal em um sistema de comunicação

A [Figura 1](#) mostra as etapas do sinal no sistema, onde  $s(t)$  é a informação binária codificada para sinalização RZ e transmitida,  $r(t)$  é o sinal recebido e  $z(t)$  é o sinal amostrado após o tratamento com o filtro casado. O sinal recebido tem muita distorção se comparado com o sinal transmitido por conta da SNR ([seção 2.3](#)). Por exemplo, em aproximadamente 2.25ms, onde a tensão do sinal original era 1V, na recepção foi detectado valores próximos de 0V. Se na recepção o sinal fosse amostrado naquele instante, considerando o limiar 0.5V, ocorreria um erro de bit. A relação sinal ruído desse sistema é baixa, o que significa que a potência do ruído pode ocasionar erros na recepção.

Para minimizar o erro de bit na recepção pode ser usado um filtro casado. A intensão é maximizar a relação sinal ruído no instante  $T$ , como explicado na [seção 2.4](#), portanto a amostragem do sinal deve ser feita nesse momento. No sinal tratado com filtro casado  $z(t)$  da [Figura 1](#), é possível perceber que se a amostragem for feita no instante  $T$ , a probabilidade de erro de bit será baixa.

### 3.2 Simulação 2 - Desempenho de erro

Na segunda simulação foram gerados gráficos de desempenho de erro para comparar diferentes tipos de sinalização. O gráfico de desempenho de erro mostra a probabilidade de erro de bit (Pb - BER) em função da relação sinal ruído (SNR).

#### 3.2.1 RZ (1V) X RZ (2V)

A primeira comparação foi feita entre sinalizações RZ unipolares, porem com diferentes valores de tensão. Na sinalização RZ (1V), o bit 0 é representado por 0V e o bit 1 por 1V. Na sinalização RZ (2V), o bit 0 é representado com 0V e o bit 1 com 2V. Nos dois cenários o sinal recebido não recebeu tratamento com filtro casado.

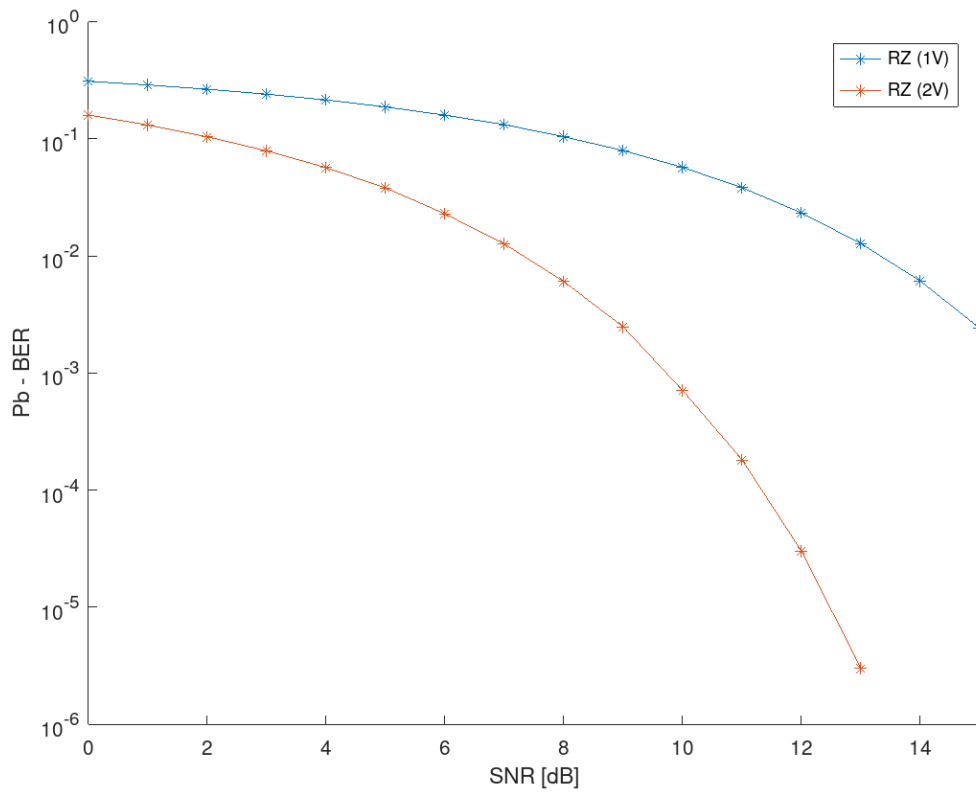


Figura 2 – Comparação de desempenho de erro entre as sinalizações RZ (1V) e RZ (2V)

A [Figura 2](#) mostra que a probabilidade de erro das duas sinalizações cai conforme o valor de SNR aumenta, porem a sinalização RZ (2V) teve melhor desempenho. Isso acontece porque a potência da sinalização RZ (2V), e consequentemente a Energia de bit ( $E_b$ ), é maior do que a da sinalização RZ (1V). A energia de bit aumenta a razão usada como parâmetro para calcular a probabilidade de erro de bit (Pb) (ver [Equação 2.2](#)). Quanto maior o parâmetro passado para a função  $Q$ , menor será a probabilidade de erro.

#### 3.2.2 RZ (1V) X RZ (1V) com filtro casado

A segunda comparação foi feita entre sinalizações RZ unipolares, as duas com a mesma representação de bit (0V  $\rightarrow$  bit 0, 1V  $\rightarrow$  bit 1), porem o segundo sinal recebeu tratamento com filtro casado.

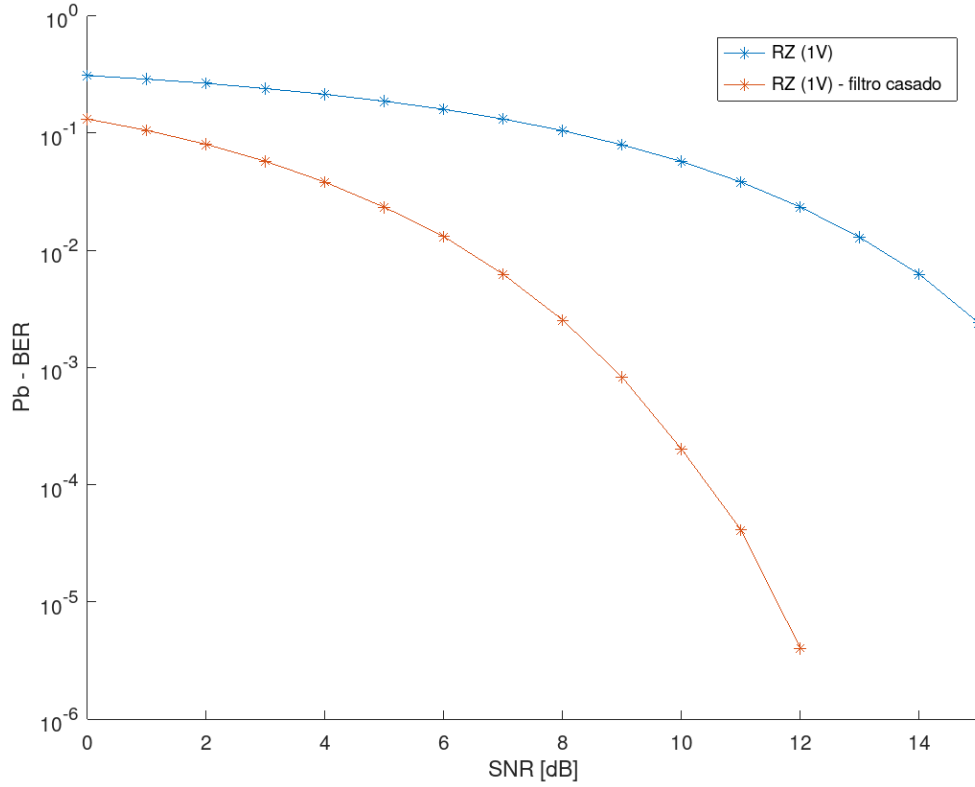


Figura 3 – Comparação de desempenho de erro entre as sinalizações RZ (1V) e RZ (1V) com filtro casado

Nessa comparação a potência das sinalizações transmitidas é a mesma, porem a sinalização que recebeu o tratamento do filtro casado teve melhor desempenho. Isso aconteceu porque convenientemente o sinal foi amostrado em  $t=T$ , momento em que o sinal resultante do tratamento com o filtro casado tinha uma SNR maximizada (ver [seção 2.4](#)).

### 3.2.3 RZ (1V) com filtro casado X NRZ (1V) com filtro casado

A última comparação foi feita entre sinalizações RZ e NRZ, as duas tratadas com filtro casado, porem com representações de bit diferentes. Na sinalização RZ (1V), o bit 0 é representado por 0V e o bit 1 por 1V. Na sinalização NRZ (1V), o bit 0 é representado por -1V e o bit 1 por 1V.

Os dois sinais foram amostradas em  $t=T$ , onde o resultado do tratamento com filtro casado tem SNR maximizada, porem o que diferenciou os desempenhos foi a influência a energia de bit ( $E_b$ ) das sinalizações. No cálculo da  $P_b$  da sinalização NRZ o fator  $E_b$  tem influencia dobrada em comparação com a sinalização RZ (ver [Equação 2.1](#) e [Equação 2.2](#)), o que aumenta o fator passado como parâmetro para a função  $Q$ , resultando em menor probabilidade de erro de bit.



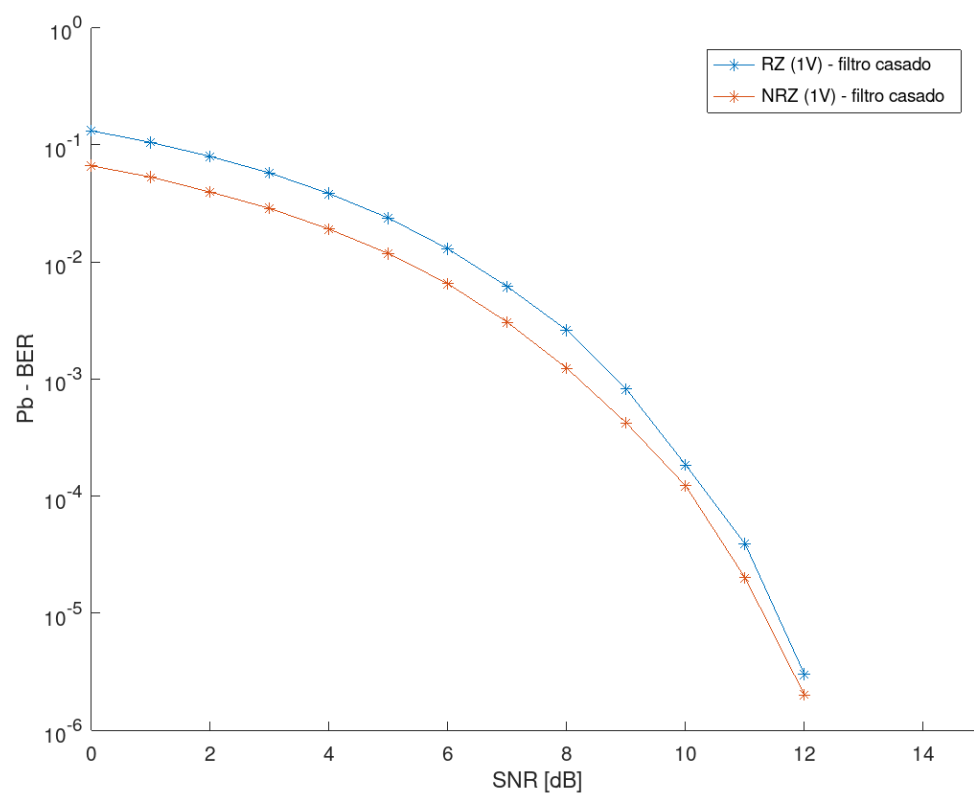


Figura 4 – Comparação de desempenho de erro entre as sinalizações RZ (1V) com filtro casado e NRZ (1V) com filtro casado

## 4 CONCLUSÕES

Este trabalho mostrou o resultado do uso de diferentes tipos de sinalização, do uso de filtro casado e o quanto esses dois conceitos influenciam no desempenho de erro de um sistema de comunicação.

Os resultados das simulações mostraram que quanto maior a potência do sinal transmitido, menor será a distorção do sinal pelo ruído térmico, diminuindo os erros de detecção. Além disso, a probabilidade de erro de bit também será menor se o sinal receber tratamento com filtro casado na recepção. Outra escolha que influencia positivamente o desempenho do sistema é a escolha pela sinalização NRZ.

Por fim, é possível concluir que o pior desempenho das simulações foi o cenário com sinalização RZ (1V) sem o tratamento com filtro casado. Os melhores resultados foram obtidos com a sinalização NRZ (1V) com uso do filtro casado.

## A *SCRIPTS*

Códigos das simulações citadas neste relatório:

- [Simulação 1](#)
- [Simulação 2](#)