



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA



---

David Maykon Krepsky Silva  
João Luis Grizinsky de Brito

## Sinalização PAM duobinário

Data de realização do experimento:

19 de janeiro de 2016

Série/Turma:

1000/1011

Prof. Jaime Laelson Jacob

Londrina, 2 de fevereiro de 2016

---

# Sumário

<b>Resumo</b>	<b>2</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>3</b>
<b>2 Revisão da Teoria</b>	<b>4</b>
2.1 Sinalização duobinário . . . . .	4
2.2 Sinalização duobinário modificado . . . . .	5
<b>3 Metodologia Experimental</b>	<b>6</b>
3.1 Materiais . . . . .	6
3.2 Métodos . . . . .	6
3.2.1 Simulação do PAM Duobinário . . . . .	6
3.2.2 Simulação do PAM Duobinário Modificado . . . . .	7
3.2.3 Desempenho para o PAM Duobinário em um Receptor Simples no Canal AWGN . . . . .	8
3.2.4 Desempenho para o PAM Duobinário Modificado em um Receptor Simples no Canal AWGN . . . . .	10
3.2.5 Densidade Espectral de Potência (PSD) dos PAM Duobinários . . . . .	12
<b>4 Resultados</b>	<b>14</b>
4.1 Simulação do PAM Duobinário . . . . .	14
4.2 Simulação do PAM Duobinário Modificado . . . . .	14
4.3 Desempenho para o PAM Duobinário em um Receptor Simples no Canal AWGN	15
4.4 Desempenho para o PAM Duobinário Modificado em um Receptor Simples no Canal AWGN . . . . .	15
4.4.1 Densidade Espectral de Potência (PSD) dos PAM Duobinários . . . . .	17
<b>5 Discussão e Conclusão</b>	<b>19</b>

## Resumo

Neste trabalho foram analisados os sistemas com modulação PAM e formatação de pulso duobinário e duobinário modificado. Foi observado o funcionamento dos dois tipos de sinalização. Para comparar a eficiência de ambos os métodos, foi realizada uma simulação com a ferramenta Simulink (parte do software MATLAB) onde foi testado a taxa de erro de bit (BER) dos sistemas em um esquema de transmissão com canal AWGN e receptor simples. Os resultados obtidos mostraram que o sistema com sinalização duobinário simples possui uma menor taxa de erro de bit, quando comparado com o sistema com sinalização duobinário modificado. Foi possível observar também o espectro de ambas sinalizações, ficando evidente o relaxamento em torno de 0Hz para o sistema duobinário modificado.

# 1 Introdução

A modulação PAM (*Pulse Amplitude Modulation*) é uma das formas mais simples de modulação digital. Seu funcionamento consiste em inserir a informação codificada na amplitude do sinal portador. A demodulação é feita detectando-se o nível de amplitude do sinal da portadora, para cada período de símbolo.

Existem dois tipos de PAM: polaridade única e dupla polaridade. Na polaridade única é adicionado um *offset* DC para garantir que todos os pulsos estão acima de 0V. Já polaridade dupla, os pulsos podem assumir valores positivos ou negativos[1].

Apesar de simples, a modulação PAM é bastante utilizada[2]. Abaixo segue uma lista com as suas aplicações:

- **Ethernet:** Algumas versões do protocolo Ethernet utilizam a modulação PAM.
- **Lâmpadas de LED:** A modulação PAM é utilizada para controlar o brilho de algumas lâmpadas de LED.
- **TV Digital:** É utilizada no protocolo *8VSB* pelos padrões do *Advanced Television System Committee* para transmissão em tv digital.
- **Foto biologia:** O conceito é utilizado em equipamentos que fazem medidas espectrofluorométricas, sendo empregado no estudo da fotossíntese em plantas.

Obviamente, a modulação PAM é utilizadas em outras situações além das listadas acima. Deste modo, este trabalho explorar a modulação PAM, com sistema de codificação duobinário.

## 2 Revisão da Teoria

### 2.1 Sinalização duobinário

Nos sistemas de comunicação com modulação por amplitude de pulso (PAM) sinc binário, não há interferência inter-simbólica ISI [3], possuindo um desempenho máximo da taxa de sinalização. Porém, um problema apresentado é que a resposta em frequência do canal deve ser plana de 0 a  $r_b/2$  Hz.

De modo a contornar esse problema, o PAM duobinário insere um ISI conhecido para ser interpretado do receptor de uma maneira determinística [4]. O pulso duobinário satisfaz o critério de Nyquist, pois possui amplitude  $A$  em  $t = 0$  e  $t = T_b$ , com cruzamento em zero em  $\pm nT_b$  ( $n \neq 0, 1$ ). Esse pulso duobinário ( $p_{db}(t)$ ) pode ser obtido a partir soma de dois pulsos sinc que são mostramos no tempo por  $T_b$  segundos, de acordo com a equação 1.

$$p_{db}(t) = A \text{sinc}\left(\frac{\pi t}{T_b}\right) + A \text{sinc}\left(\frac{\pi(t - T_b)}{T_b}\right) \quad (1)$$

O módulo do espectro de tensão  $P_{db}(f)$  dos pulsos duobinários é dado pela equação 2

$$P_{db}(f) = \begin{cases} 2AT_b \cos(\pi f T_b), & -\frac{1}{2T_b} \leq f \leq \frac{1}{2T_b} \\ 0, & \text{outros casos} \end{cases} \quad (2)$$

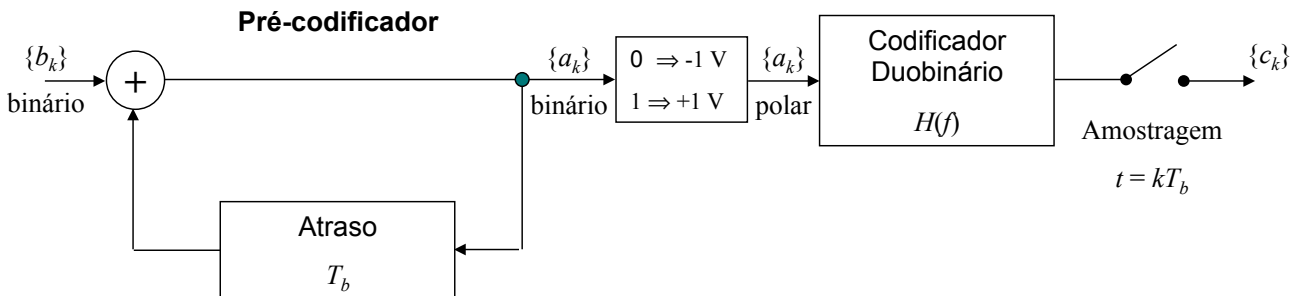
A densidade espectral de energia bilateral ( $E_{db}(f)$ ) e a densidade espectral de potência bilateral ( $PSD_{db}(f)$ ) são dadas pelas equações 3 e 4 [5], respectivamente.

$$E_{db}(f) = \begin{cases} \frac{2nA^2T_b^2}{R_L} \cos^2(\pi f T_b), & -\frac{1}{2T_b} \leq f \leq \frac{1}{2T_b} \\ 0, & \text{outros casos} \end{cases} \quad (3)$$

$$PSD_{db}(f) = \begin{cases} \frac{2A^2T_b^2}{R_L} \cos^2(\pi f T_b), & -\frac{1}{2T_b} \leq f \leq \frac{1}{2T_b} \\ 0, & \text{outros casos} \end{cases} \quad (4)$$

A figura 1 traz uma representação em diagrama de blocos de um modulador PAM com sinalização duobinário.

Figura 1: Modulador PAM duobinário.



O pulso duobinário tem uma resposta em frequência que não é plana, o que relaxa a necessidade de filtros complexos. Assim, pode-se implementar filtros simples que se aproximam deste espectro.

## 2.2 Sinalização duobinário modificado

Um outro desafio apresentado tanto pelos pulsos do tipo sinc e duobinários é que os mesmos requerem um canal de comunicação que tem uma boa resposta em baixa frequência para 0 Hz. Para contornar esse problema é utilizado o pulso duobinário modificado. O pulso duobinário modificado.

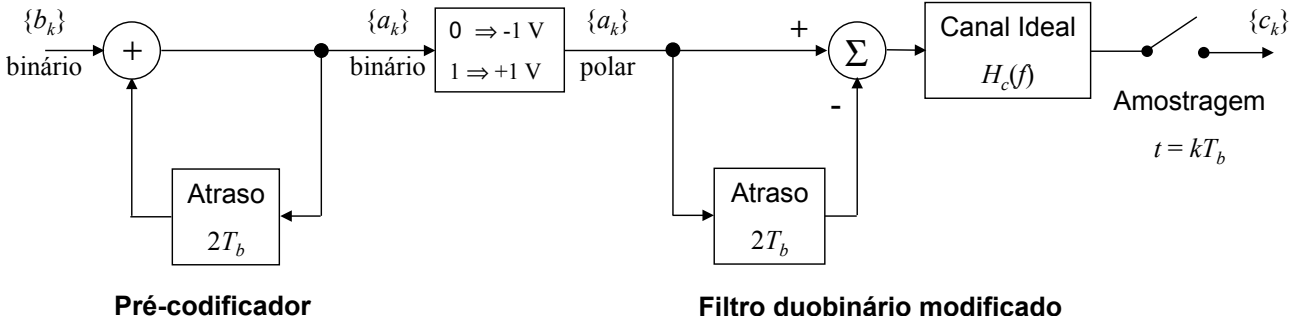
O pulso duobinário modificado ( $p_{mdb}(t)$ ) elimina esta preocupação [6, 5], podendo ser obtido através da diferença de dois pulsos sinc que são mostrados em  $2T_b$  segundos, de acordo com a equação 5.

$$p_{mdb}(t) = \text{Asinc}\left(\frac{\pi t}{T_b}\right) - \text{Asinc}\left(\frac{\pi(t - 2T_b)}{T_b}\right) \quad (5)$$

O pulso duobinário modificado satisfaz o critério de Nyquist para não haver ISI, pois possui amplitude  $A$  em  $t = 0$  e  $t = T_b$ , com cruzamento em zero em  $\pm nT_b (n \neq 0, 1)$ .

A figura 2 traz uma representação em diagrama de blocos do modulador PAM com sinalização duobinário modificado.

Figura 2: Modulador PAM duobinário modificado.



O módulo do espectro de tensão  $P_{mdb}(f)$  dos pulsos duobinários modificados é dado pela equação 6 [7].

$$P_{mdb}(f) = \begin{cases} 2AT_b \text{sinc}(\pi f T_b), & -\frac{1}{2T_b} \leq f \leq \frac{1}{2T_b} \\ 0, & \text{outros casos} \end{cases} \quad (6)$$

A densidade espectral de potência bilateral ( $PSD_{mdb}(f)$ ) é dada de forma similar ao duobinário e está descrita na equação 7.

$$PSD_{mdb}(f) = \begin{cases} \frac{2A^2 T_b^2}{R_L} \cos^2(\pi f T_b), & -\frac{1}{2T_b} \leq f \leq \frac{1}{2T_b} \\ 0, & \text{outros casos} \end{cases} \quad (7)$$

## 3 Metodologia Experimental

### 3.1 Materiais

Para a realização do experimento foi utilizado o software Simulink do pacote Matlab.

### 3.2 Métodos

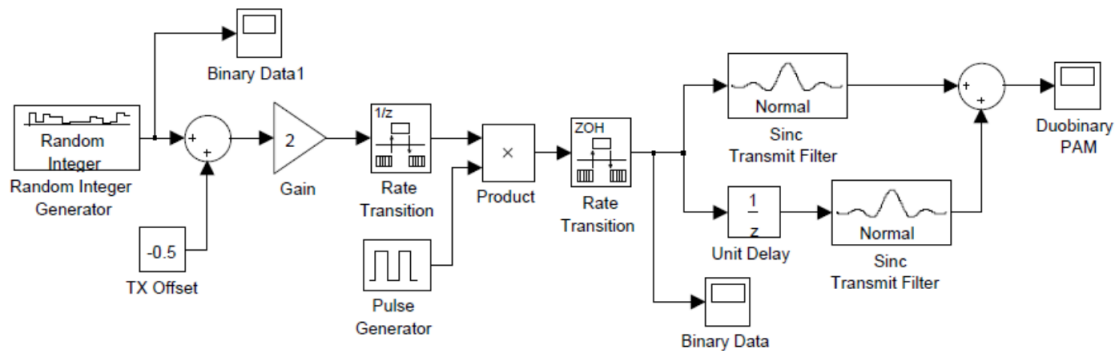
O experimento foi realizado em simulações. De início, foi estudado o comportamento da modulação PAM com sinalização duobinário. Em seguida, foi analisada a modulação PAM com sistema duobinário modificado.

O próximo passo foi obter o desempenho de ambos os métodos em um canal AWGN simples. Por ultimo, foi obtido a densidade espectral de potência para as duas técnicas de sinalização. As seções seguintes dão mais detalhes sobre o procedimento.

#### 3.2.1 Simulação do PAM Duobinário

Na primeira atividade, foi montado o circuito da figura 3. Os parâmetros de cada bloco são apresentados logo abaixo.

Figura 3: Diagrama do sistema com modulação PAM duobinário.



**A – Random Integer Generator** – Communications blockset; Comm Sources

PARÂMETROS: - M-ary number: 2; Initial seed: randseed; Sample time: 1e-3; Output data type: double.

**B – Sum** – Simulink blockset; Math Operations

PARÂMETROS: - Main: Icon shape: rectangular; List of signs: I++; Sample time (-1 for inherited): -1.

**C – Constant** – Simulink blockset; Source

PARÂMETROS: - Main: Constant value: -0.5; [x] Interpret vector parameters as 1-D; Sample time: inf.

**D – Gain** – Simulink blockset; Math Operations

PARÂMETROS: - Main: Gain: 2; Multiplication: Element-wise(k.\*u); Sample time (-1 for inherited): -1.

**E – Rate Transition** – Simulink Blockset; Signal Attributes

PARÂMETROS: [x] Ensure data ....; [x] Ensure deterministic...; Initial Conditions: 0; Output port sample time options: Specify; Output port Sample time: 2e-5.

**F – Pulse Generator** – Simulink Blockset; Sources

PARÂMETROS: Pulse type: Time based; Time (t): Use simulation time; Amplitude: 1; Period (secs): 1e-3; Pulse Width(% of period): 2; Phase Delay(s): 0; [x] Interpret vector parameters as 1-D.

**G – Product Block** – Simulink Blockset; Math Operations.

PARÂMETROS: Main: Number of inputs:2; Multiplication: Element-wise; Sample time: -1.

**H – Rate Transition** – Simulink Blockset; Signal Attributes

PARÂMETROS: [x] Ensure data .....; [x] Ensure deterministic...; Initial Conditions: 0; Output port sample time options: Specify; Output port Sample time: 1e-3.

**I – Raised Cosine Transmitter Filter** – Communication Blockset; Comm Filters

PARÂMETROS: Main: Filter type: Normal; Group delay (number of symbols): 4; Rollof factor (0 to 1): 0; Upsampling factor (N): 50; Input processing: Inherited (this choi.....); Rate options: Allow multirate processing; Filter gain: User-specified; Linear amplitude filter gain: 5.

**J – Unit Delay** – Simulink blockset; Math Operations

PARÂMETROS: - Main: Initial conditions: 0; Input processing: Inherited; Sample time (-1 for inherited): -1.

**K – Raised Cosine Transmitter Filter** – Communication Blockset; Comm Filters

PARÂMETROS: Main: Filter type: Normal; Group delay (number of symbols): 4; Rollof factor (0 to 1): 0; Upsampling factor (N): 50; Input processing: Inherited (this choi.....); Rate options: Allow multirate processing; Filter gain: User-specified; Linear amplitude filter gain: 5 (ou (5)\*rcfiltgaincompat(gcbh) novas versões).

**L – Sum** – Simulink blockset; Math Operations

PARÂMETROS: - Main: Icon shape: round; List of signs: I++; Sample time (-1 for inherited): -1.

Os parâmetros de simulação são:

```
1 Configuration Parameters:
2 Start time: 0;
3 Stop time: 0.05;
4 Type: Fixed-step;
5 Solver: ode3;
6 Fixed-step size: 2e-5;
7 Periodic sample time constraint: Unconstrained;
8 Tasking mode for periodic sample times: Auto.
```

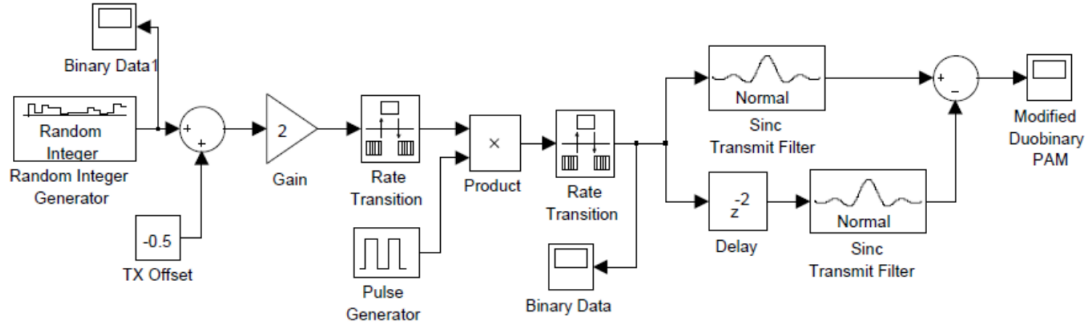
Foram obtidos os gráficos nos pontos com osciloscópio e foi analisado o funcionamento do sistema.

### 3.2.2 Simulação do PAM Duobinário Modificado

Na segunda atividade, foi montado o circuito da figura 4. Os parâmetros de cada bloco são apresentados logo abaixo.



Figura 4: Diagrama do sistema com modulação PAM duobinário modificado.



**A – Delay** – Signal Processing blockset; Signal Operations

PARÂMETROS: - Input processing: Inherited; Delay units: Samples; Delay (samples): 2; Initial conditions: 0; Reset port: None.

**B – Sum** – Simulink blockset; Math Operations

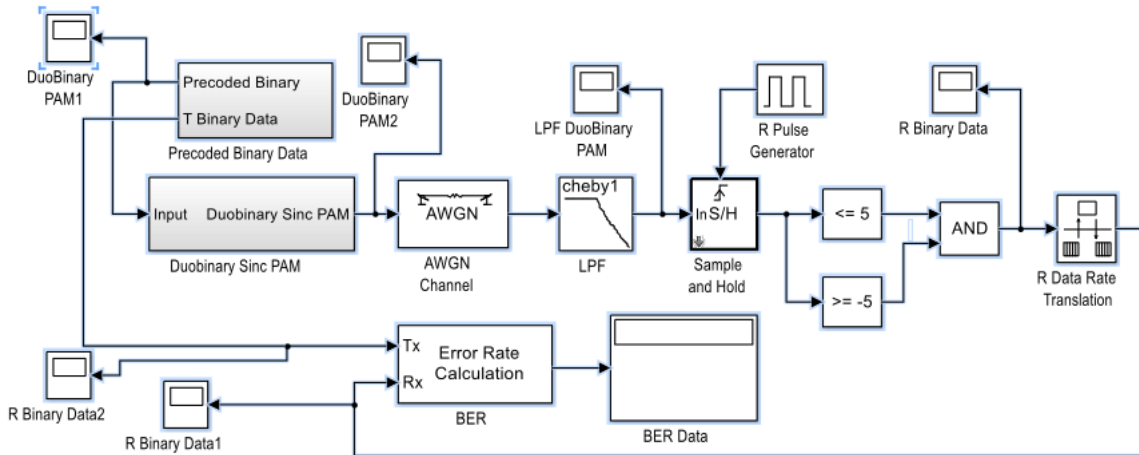
PARÂMETROS: - Main: Icon shape: round; List of signs: I+-; Sample time (-1 for inherited): - 1.

Foram obtidos os gráficos nos pontos com osciloscópio e foi analisado o funcionamento do sistema.

### 3.2.3 Desempenho para o PAM Duobinário em um Receptor Simples no Canal AWGN

Em seguida foi analisado o desempenho do PAM duobinário em um receptor simples no canal AWGN. Para isso foi montado o sistema da figura 5

Figura 5: Diagrama do sistema com modulação PAM duobinário e receptor simples.



Os parâmetros dos blocos são:

**A – AWGN** – Communications Blockset; Channels

PARÂMETROS: Input processing: Inherited; Initial seed: randseed; Mode: Variance from mask; Variance: 200.

**B - Analog Filter Design** – Signal Processing Blockset; Filters Designs

PARÂMETROS: Design method: Chebyshev I; Filter type: Lowpass; Filter order: 9; Passband edge frequency (rad/s):  $2\pi \cdot 600$ ; Passband ripple in dB: 0.1.

**C – Sample and Hold** – Signal Processing Blockset; Signal Operations

PARÂMETROS: Trigger type: Rising edge; Initial condition: 0.

**D – Pulse Generator** – Simulink Blockset; Sources

PARÂMETROS: Pulse type: Time based; Time (t): Use simulation time; Amplitude: 1; Period (secs): 1e-3; Pulse Width(% of period): 2; Phase Delay(s): 0; [x] Interpret vector parameters as 1-D.

**E – Compare to Constant** – Simulink Blockset; Logic and Bitwise Operations

PARÂMETROS: Operator:  $\leq$ ; Constant value: 5; Output data type mode: Boolean.

**F – Compare to Constant** – Simulink Blockset; Logic and Bitwise Operations

PARÂMETROS: Operator:  $\geq$ ; Constant value: -5; Output data type mode: Boolean.

**G – Logical Operator** – Simulink blockset; Logic and Bitwise Operations

PARÂMETROS: Main: Operator: AND; Number of input ports: 2; Icon shape: rectangular; Sample time (-1 for inherited): -1. Signal Attributes: Output data type: Boolean.

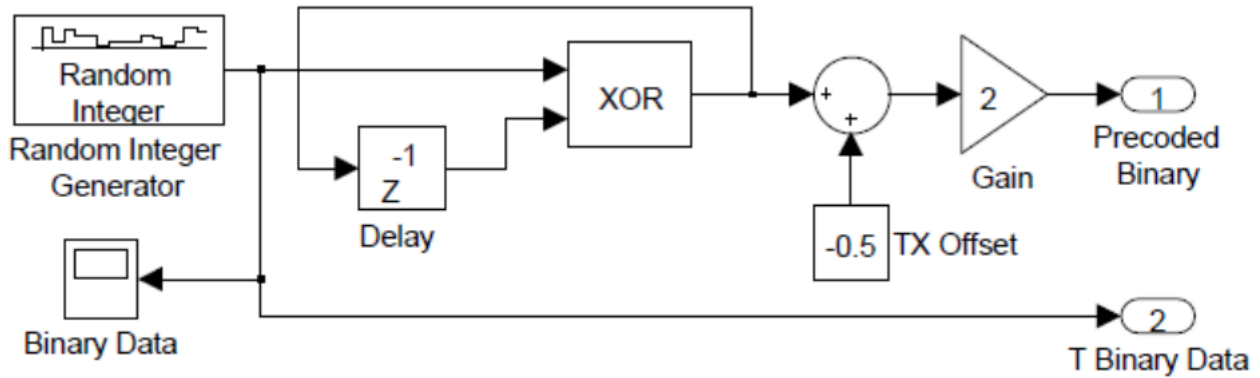
**H – Rate Transition** – Simulink Blockset; Signal Attributes

PARÂMETROS: [x] Ensure data .....; [x] Ensure deterministic...; Initial Conditions: 0; Output port sample time options: Specify; Output port Sample time: 1e-3.

**I – Error Rate Calculation** – Communications Blockset – Comm Sinks

PARÂMETROS: Receive Delay: 8; Computation delay: 1; Computation mode: Entire frame; Output data: Port.

Figura 6: Pré-codificação dobrinário.



O sistema de pré-codificação da figura 6 tem os parâmetros descritos abaixo.

**A – Random Integer Generator** – Communications blockset; Comm Sources

PARÂMETROS: - M-ary number: 2; Initial seed: randseed; Sample time: 1e-3; Output data type: boolean.

**B – Integer Delay** – Signal Processing blockset; Signal Operations

PARÂMETROS: - Number of delays: 1; Input processing: Inherited; Initial conditions: 0.0; Sample time: -1.

**C – Logical Operator** – Simulink blockset; Logic and Bitwise Operations

PARÂMETROS: Main: Operator: XOR; Number of input ports: 2; Icon shape: rectangular; Sample time (-1 for inherited): -1. Signal Attributes: Output data type: Boolean.

Os parâmetros de simulação são:

```

1 Configuration Parameters:
2 Start time: 0;
3 Stop time: 0.05;
4 Type: Fixed-step;
5 Solver: ode3;
6 Fixed-step size: 2e-5;
7 Periodic sample time constraint: Unconstrained;
8 Tasking mode for periodic sample times: Auto.

```

Obeter:

1. gráfico nos pontos onde possui o osciloscópio. Explicar o seu funcionamento através da comparação entre gráficos;
2. verificar o atraso no sinal recebido em relação ao transmitido;
3. preencher a tabela 1 com os dados da simulação;
4. plotar o gráfico BERxSNR com um LPF (9 polos Chebyshev, 0,1 dB de ripple, freq. Corte de 600 Hz) em um sistema de comunicação digital PAM sinc duobinário precodificado com potência do sinal normalizada 50,6W.

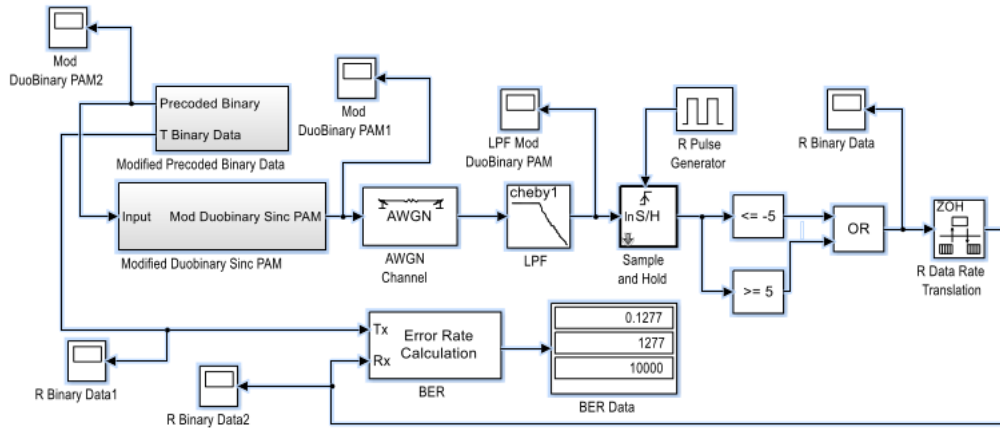
Tabela 1: Tabela BER x Eb/No para PAM duobinário.

SNR (dB)	AWGN $\sigma^2(V^2)$	BER
7,04	10	0
	50	0.0243
	100	
	200	
	300	
	400	
	500	

### 3.2.4 Desempenho para o PAM Duobinário Modificado em um Receptor Simples no Canal AWGN

O transmissor PAM sinc duobinário modificado, o canal de comunicação e o receptor PAM simples são similares ao do sistema de comunicação PAM sinc duobinário precodificado. A figura 7 mostra o diagrama de blocos simulado.

Figura 7: Diagrama do sistema com modulação PAM duobinário modificado e receptor simples.



Os parâmetros dos blocos são:

**A – Compare to Constant** – Simulink Blockset; Logic and Bitwise Operations

PARÂMETROS: Operator:  $\leq$ ; Constant value: -5; Output data type mode: Boolean.

**B – Compare to Constant** – Simulink Blockset; Logic and Bitwise Operations

PARÂMETROS: Operator:  $\geq$ ; Constant value: 5; Output data type mode: Boolean.

**C – Logical Operator** – Simulink blockset; Logic and Bitwise Operations

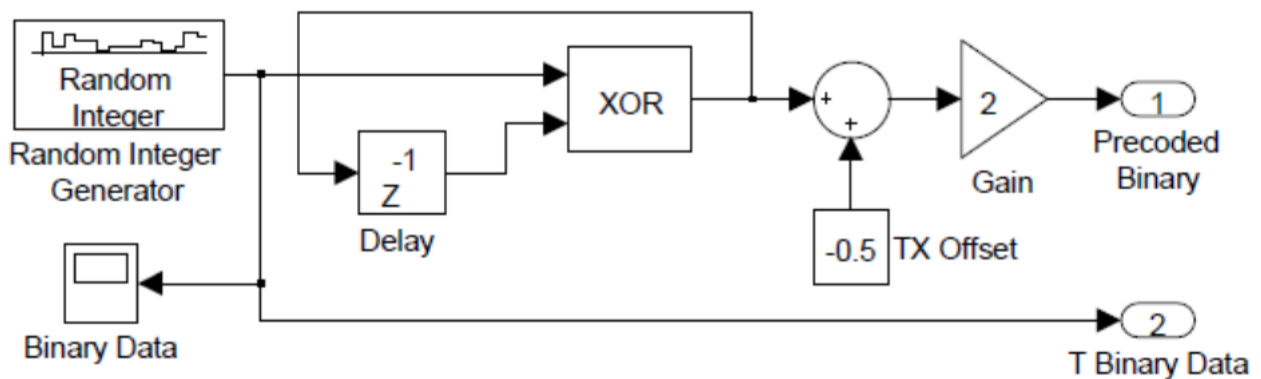
PARÂMETROS: Main: Operator: OR; Number of input ports: 2; Icon shape: rectangular;

Sample time (-1 for inherited): -1. Signal Attributes: Output data type: Boolean.

**D – Error Rate Calculation** – Communications Blockset – Comm Sinks

PARÂMETROS: Receive Delay: 8; Computation delay: 2; Computation mode: Entire frame; Output data: Port.

Figura 8: Pré-codificação duobinário modificado.



O sistema de pré-codificação modificado da figura 8 tem os parâmetros descritos abaixo.

**A – Integer Delay** – Signal Processing blockset; Signal Operations

PARÂMETROS: - Number of delays: 2; Input processing: Inherited; Initial conditions: 0.0; Sample time: -1.

Os parâmetros de simulação são:

```

1 Configuration Parameters:
2 Start time: 0;
3 Stop time: 0.05;
4 Type: Fixed-step;
5 Solver: ode3;
6 Fixed-step size: 2e-5;
7 Periodic sample time constraint: Unconstrained;
8 Tasking mode for periodic sample times: Auto.

```

Obeter:

1. gráfico nos pontos onde possui o osciloscópio. Explicar o seu funcionamento através da comparação entre gráficos;
2. verificar o atraso no sinal recebido em relação ao transmitido;
3. preencher a tabela 4 com os dados da simulação;
4. plotar o gráfico BERxSNR com um LPF (9 polos Chebyshev, 0,1 dB de ripple, freq. Corte de 600 Hz) em um sistema de comunicação digital PAM sinc duobinário precodificado com potência do sinal normalizada 50,6W;
5. comparar o desempenho com o sistema duobinário.

Tabela 2: Tabela BER x  $E_b/N_0$  para PAM duobinário modificado.

SNR (dB)	AWGN $\sigma^2(V^2)$	BER
7,01	10	0
	50	
	100	0.0058
	200	
	300	
	400	
	500	

### 3.2.5 Densidade Espectral de Potência (PSD) dos PAM Duobinários

Obter a densidade espectral de potência (PSD) para os sistemas PAM duobinário e duobinário modificado (blocos das figuras 9 e 10, respectivamente).

Figura 9: PSD PAM duobinário.

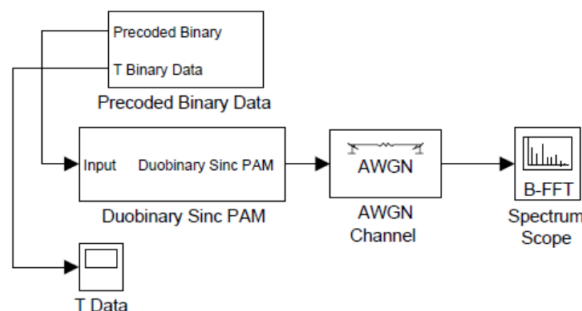
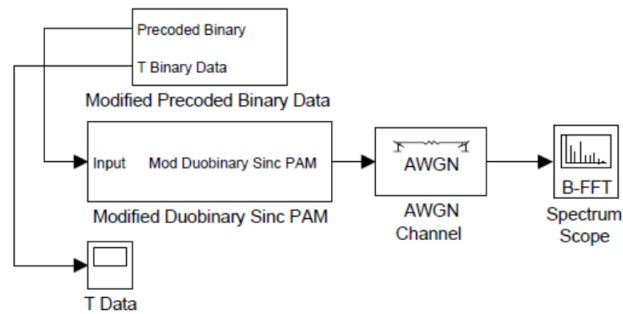


Figura 10: PSD PAM duobinário modificado.



Os parâmetros do bloco são:

**A – Spectrum Scope** – Signal Processing Blockset; Signal Processing Sinks

PARÂMETROS: Scope Properties: Spectrum units: dBW/Hertz; Spectrum type: One-sided; [x] Buffer input; Buffer size: 262144; Buffer overlap: 0; Treat Mx1and ....: M channels; Window: Boxcar; [x] Specify FFT length; Number of spectral averages: 1; FFT length: 262144. Axis Properties: [x] Inherit sample....; Frequency display offset (Hz): 0; Frequency display limits: Auto; MinimumY-limit: -100; Maximum Y-limit: 10; Y-Axis label: Power Spectrum dB.

Os parâmetros de simulação são:

```

1 Configuration Parameters:
2 Start time: 0;
3 Stop time: 5.24288;
4 Type: Fixed-step;
5 Solver: ode3;
6 Fixed-step size: 2e-5;
7 Periodic sample time constraint: Unconstrained;
8 Tasking mode for periodic sample times: Auto.

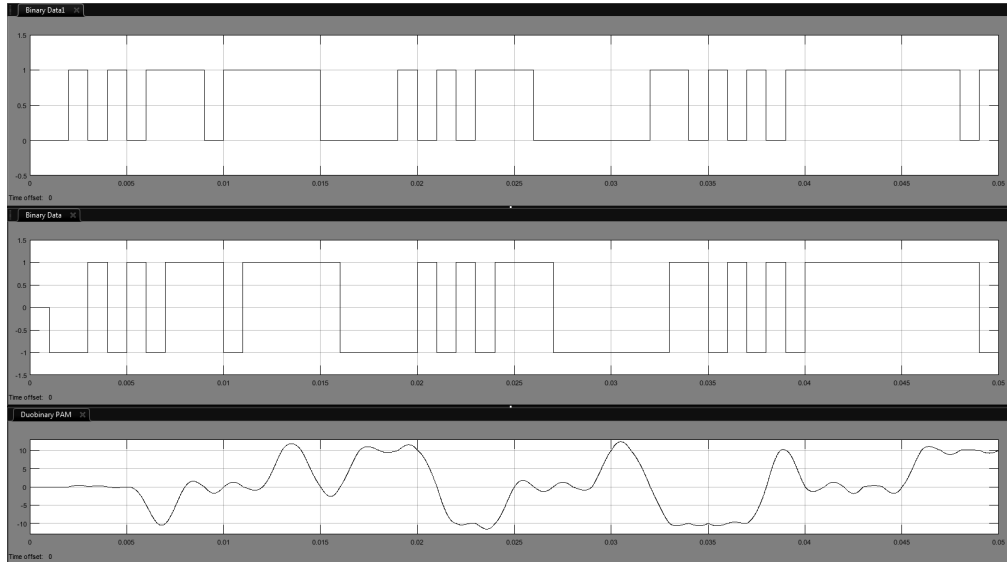
```

## 4 Resultados

### 4.1 Simulação do PAM Duobinário

Os sinais obtidos para a primeira simulação são mostrados na figura 11.

Figura 11: Simulação PAM duobinário.

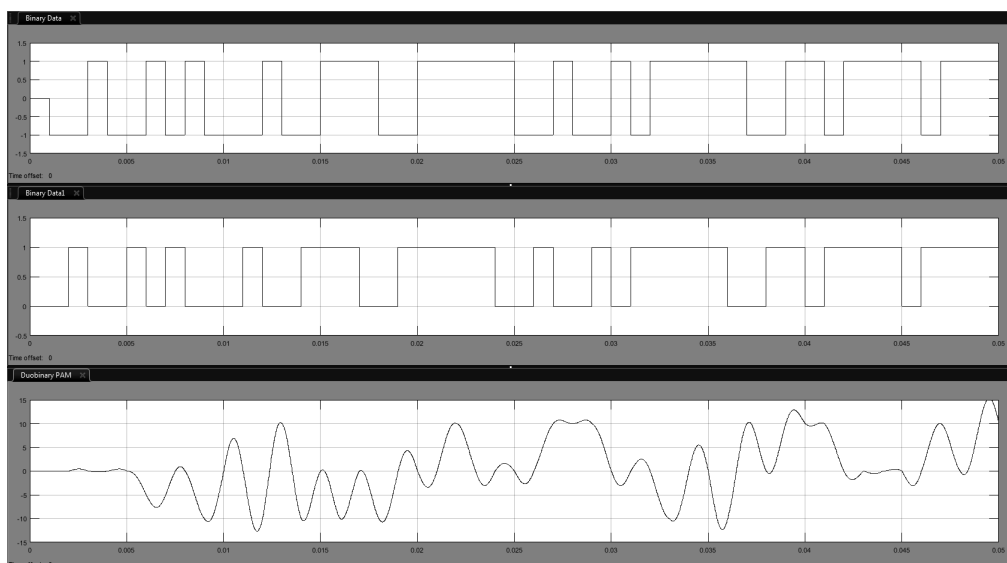


Nota-se que quando a informação fica constante em nível lógico alto, o sinal modulado fica positivo e quando a informação fica em nível lógico baixo, o sinal fica negativo, evidenciando o uso da modulação PAM duobinário.

### 4.2 Simulação do PAM Duobinário Modificado

Os sinais obtidos para a segunda simulação são mostrados na figura 12.

Figura 12: Simulação PAM duobinário modificado.

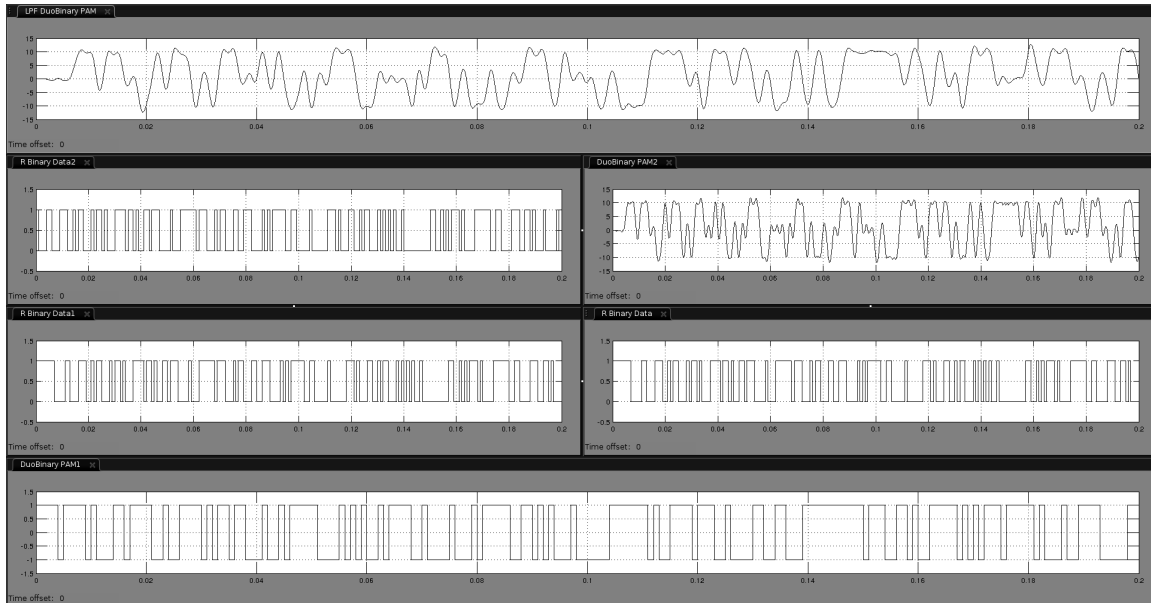


Aqui é mais difícil ver a modulação, devido ao fato que o duobinário modificado utiliza um bit com atraso para modular o sinal.

### 4.3 Desempenho para o PAM Duobinário em um Receptor Simples no Canal AWGN

Os sinais obtidos para a terceira simulação são mostrados na figura 13.

Figura 13: Simulação PAM duobinário com canal AWGN.



A tabela 3 mostra os valores obtidos com as simulações.

Tabela 3: Tabela BER x  $E_b/N_0$  para PAM duobinário.

SNR (dB)	AWGN $\sigma^2(V^2)$	BER
7.04	10	0
2.05	50	0.0015
-6.8122	100	0.0035
-13.7437	200	0.0238
-17.7983	300	0.0549
-20.6751	400	0.0888
-22.9066	500	0.1247

### 4.4 Desempenho para o PAM Duobinário Modificado em um Receptor Simples no Canal AWGN

Os sinais obtidos para a quarta simulação são mostrados na figura 14.



Figura 14: Simulação PAM duobinário modificado com canal AWGN.

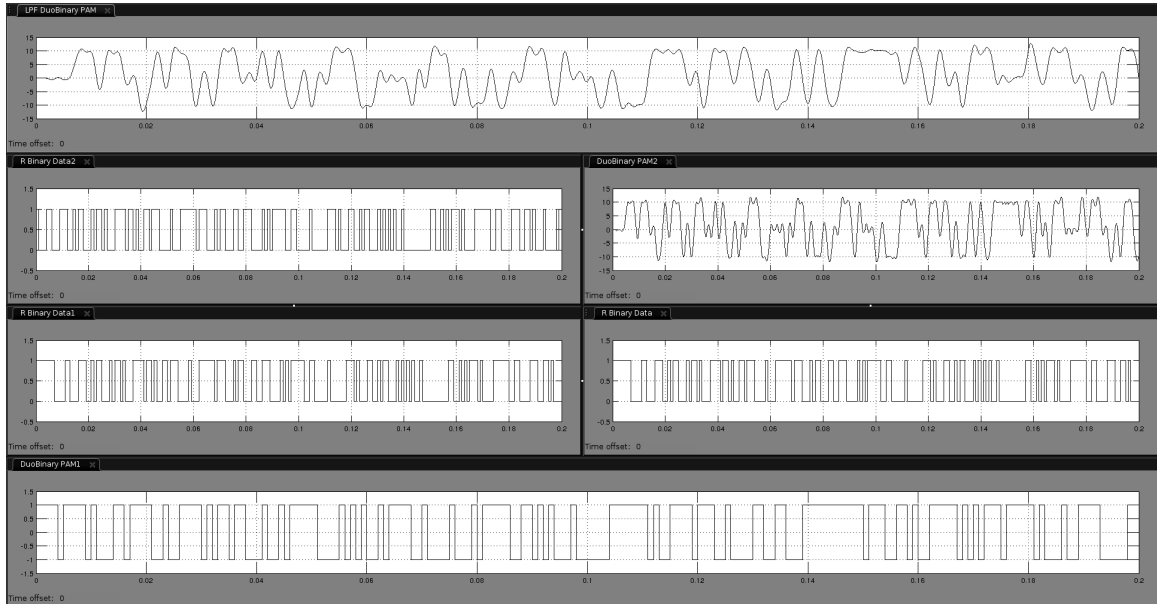
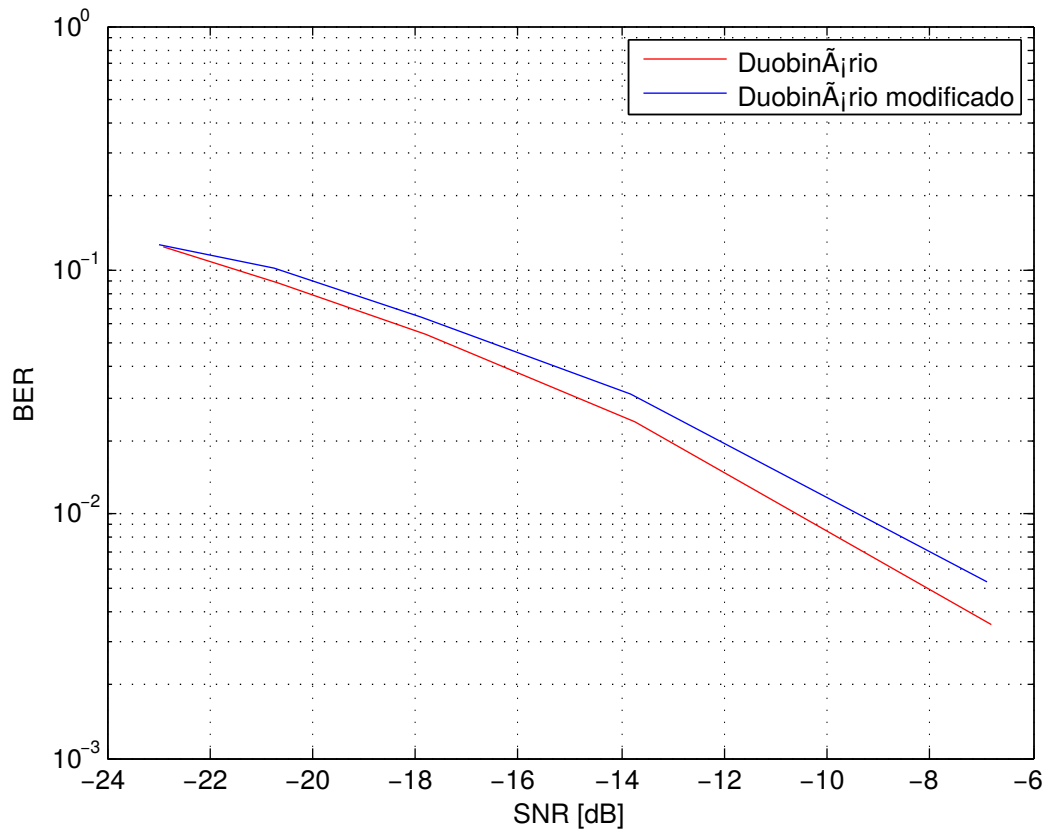


Tabela 4: Tabela BER x  $E_b/N_0$  para PAM duobinário modificado.

SNR (dB)	AWGN $\sigma^2(V^2)$	BER
7.01	10	0
2.02	50	0
-6.8916	100	0.0053
-13.8230	200	0.0309
-17.8777	300	0.0638
-20.7545	400	0.1019
-22.9859	500	0.1278

A figura 15 mostra uma comparação entre os dois sistemas, nota-se que o sistema duobinário simples é melhor.

Figura 15: Comparação PAM duobinário com PAM duobinário modificado com canal AWGN.



#### 4.4.1 Densidade Espectral de Potência (PSD) dos PAM Duobinários

As figura 16 e 17 mostram a densidade espectral de potência para os sistemas com sinalização duobinário e duobinário modificado, respectivamente.

Nota-se a redução na PSD para frequências próximas de 0Hz no sistema duobinário modificado.

Figura 16: PSD PAM duobinários.

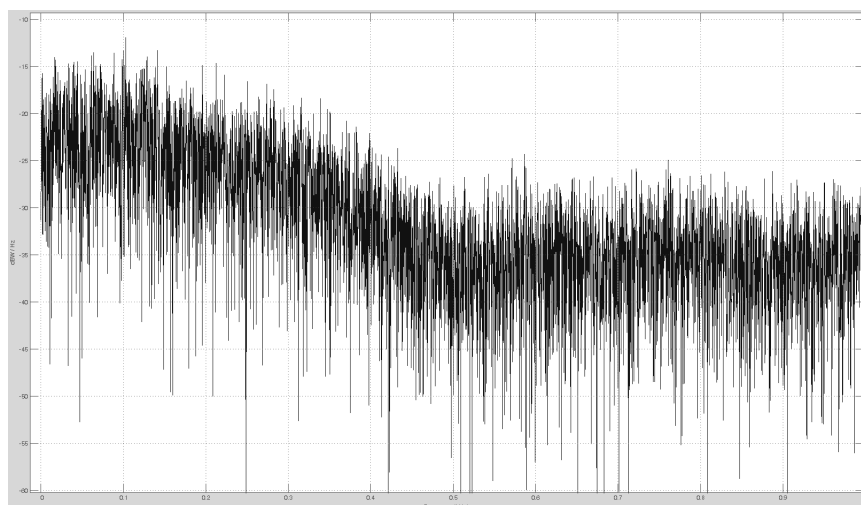
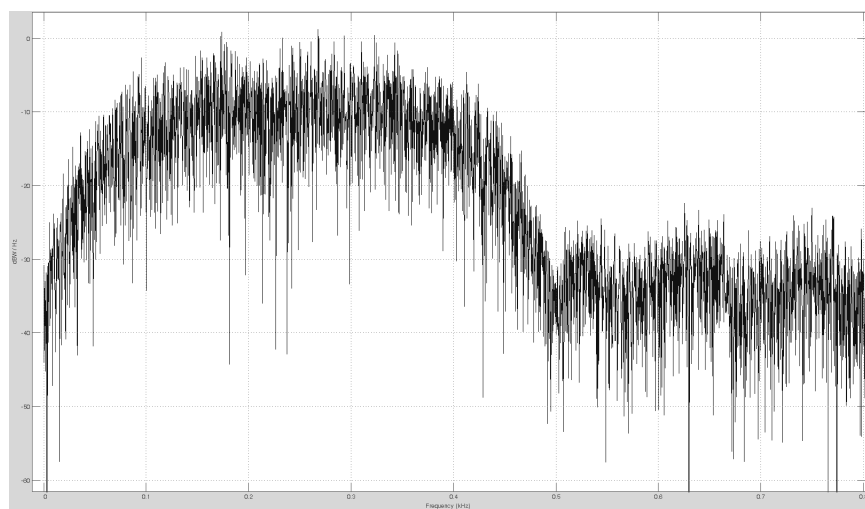


Figura 17: PSD PAM duobinários modificado.



## 5 Discussão e Conclusão

As simulações tiveram resultados condizentes com a teoria, comprovando, na prática, as características de operação da modulação PAM com codificação duobinário. É super interessante observar essa modulação na prática para ter convicção e compreensão de seu funcionamento. As primeiras imagens de cada item na parte experimental provam todos esses funcionamentos.

De acordo com as simulações, os resultados obtidos mostraram que o sistema com sinalização duobinário simples possui uma menor taxa de erro de bit, quando comparado com o sistema com sinalização duobinário simples. Contudo, os requisitos de canal próximo de 0Hz são melhores no duobinário modificado.

Também foi observado o relaxamento em torno de 0Hz para o sistema duobinário modificado, possibilitando sua utilização em canais que não possuem uma resposta em frequência adequada em torno de 0Hz.

## Referências

- [1] W. Stallings, *Comunicação de dados e computação*, 8th ed. New Jersey: Upper Saddle River, 2007.
- [2] M. S. de Alemcar, *Sistemas de comunicações*. São Paulo: Editora Érica, 2001.
- [3] B. P. Lathi, *Modern Digital and Analog Communication Systems*. Philadelphia: Holt Rineard and Winston, 1989.
- [4] L. W. Couch, *Digital and Analog Communication Systems*. New Jersey: Prentice Hall Inc, 2001.
- [5] J. Proakis and M. Salehi, *Contemporary Communication Systems Using Matlab*. New Jersey: Prentice Hall, 1997.
- [6] B. C. Carlson, *Princípios de Comunicações*. McGraw Hill, 1991.
- [7] J. C. D. O. Medeiros, *Princípios de Telecomunicações - Teoria e Prática*. São Paulo: Editora Érica, 2005.