



Experimento 03

Laboratório de Princípios de Comunicação

Autoria	Matrícula
Pedro Henrique Dornelas Almeida	18/0108140

Engenharia de Redes de Comunicação
Universidade de Brasília

10 de Março de 2021

Versão do GNU Radio Companion: 3.8.1.0 (Python 3.8.5).

1 Introdução

O objetivo do experimento é lidar com filtros, bem como ampliar os conhecimento práticos de construção de transmissores e receptores utilizando diferentes técnicas de modulação de sinais em amplitude em um canal de comunicação. Para isso é necessário entender sobre *mixers*, sobre filtros de variadas formas, também é necessário entender da modelagem matemática de sinais do domínio da frequência.

2 Desenvolvimento

AR 01

O objetivo da atividade é utilizar da modulação QAM dentro de um canal de comunicação, conseguindo tanto gerar um sinal QAM, quanto recuperá-lo em um receptor. Para isso, um sinal QAM é da forma:

$$s(t) = A_c[x_1(t)\cos(2\pi f_c t) + x_Q(t)\sin(2\pi f_c t)]$$

Note que ele permite transmitir dois sinais no mesmo canal, com frequências iguais, porém, fica claro que a complexidade ficará por conta dos receptores para separar estes sinais.

a)

- O primeiro passo é montar a área de trabalho pedido e foi montado segundo a figura abaixo:

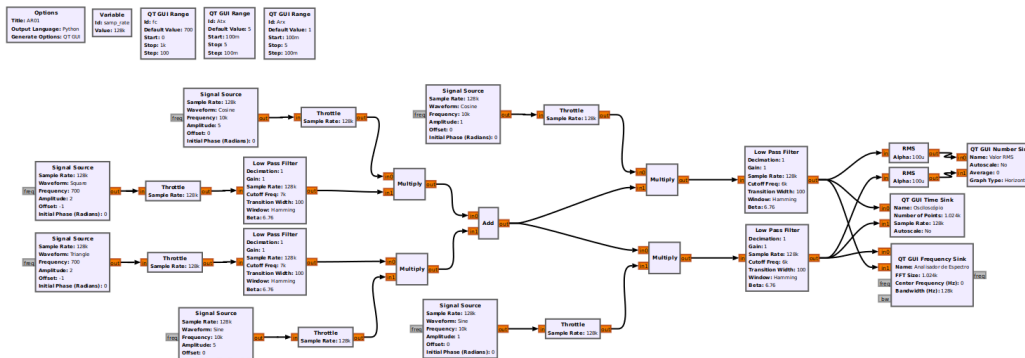


Figura 1: Área de Trabalho

- Após ter a área de trabalho montada passa-se a verificar os pontos pedidos na figura 1 do roteiro. Será feito desabilitando os blocos a frente do ponto pedido e colocando os visualizadores Osciloscópio, Analisador de Espectro e o medidor RMS para o ponto referente.

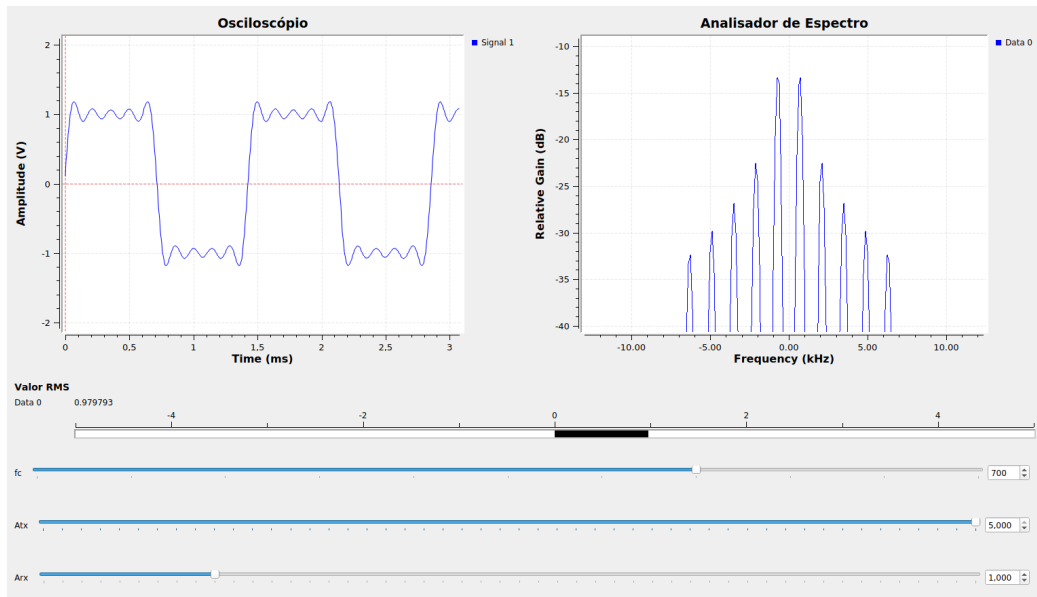


Figura 2: Ponto A

- No ponto A acima pode-se ver o sinal $x_1(t)$, uma onda quadrada que deve ser modulada e depois demodulada.

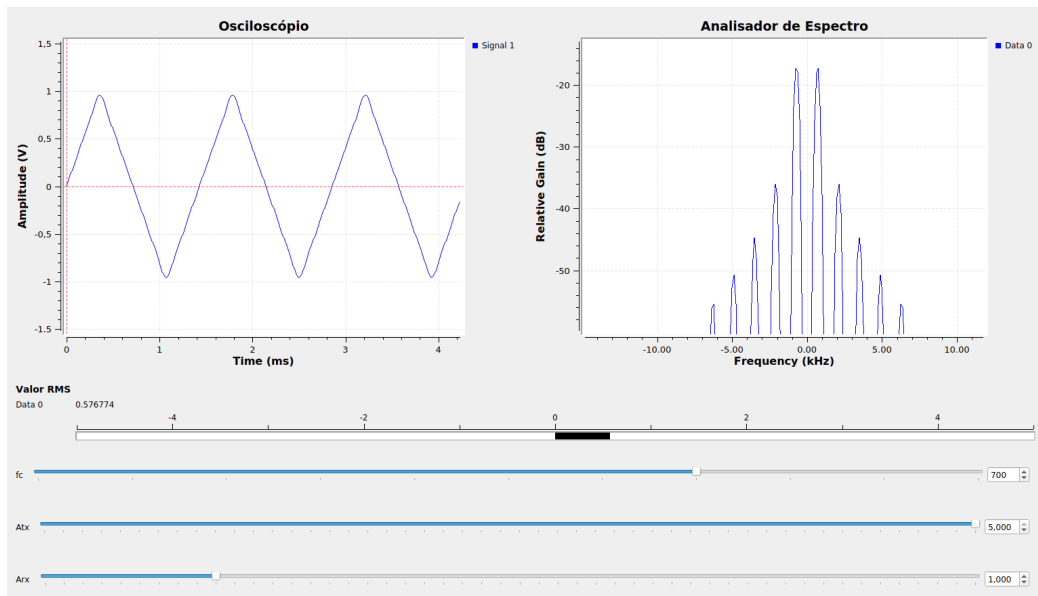


Figura 3: Ponto B

- No ponto B acima pode-se observar o sinal $x_Q(t)$, uma onda triangular que também será transmitida no canal, modulada e demodulada no receptor.

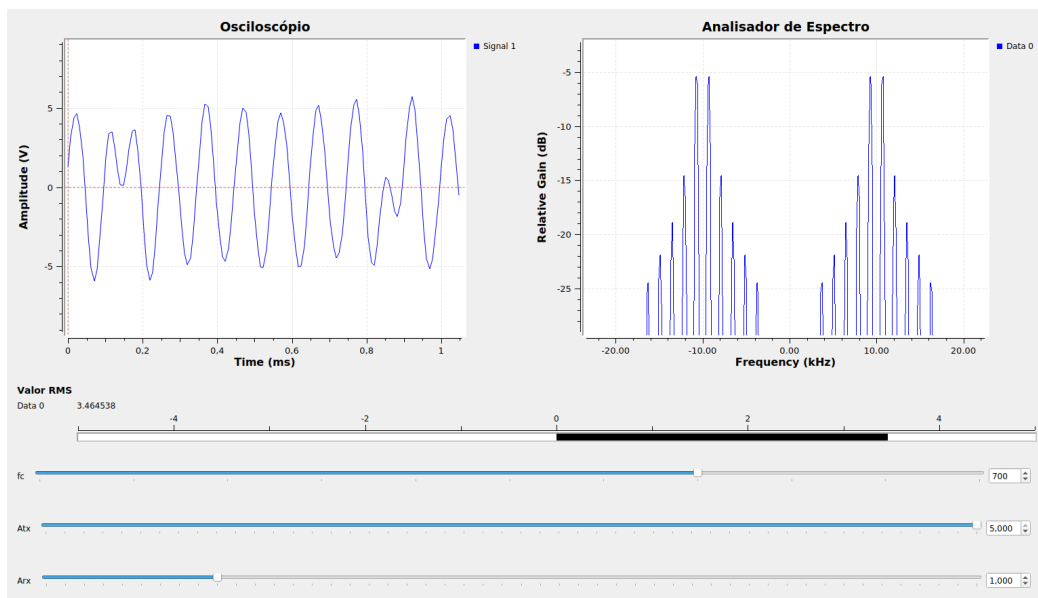


Figura 4: Ponto C

- No ponto C acima pode-se observar o sinal $x_1(t)$ misturado com uma cossenóide, aqui o sinal foi modulado e está pronto para ser colocado no canal, porém, ainda deve ser somado ao sinal modulado de $x_Q(t)$ para ser enviado no canal de comunicação para chegarem ao receptor. Note que no espectro de frequência é possível observar que as harmônicas foram deslocadas para perto da frequência da cossenóide, o que era de se esperar da modulação AM.

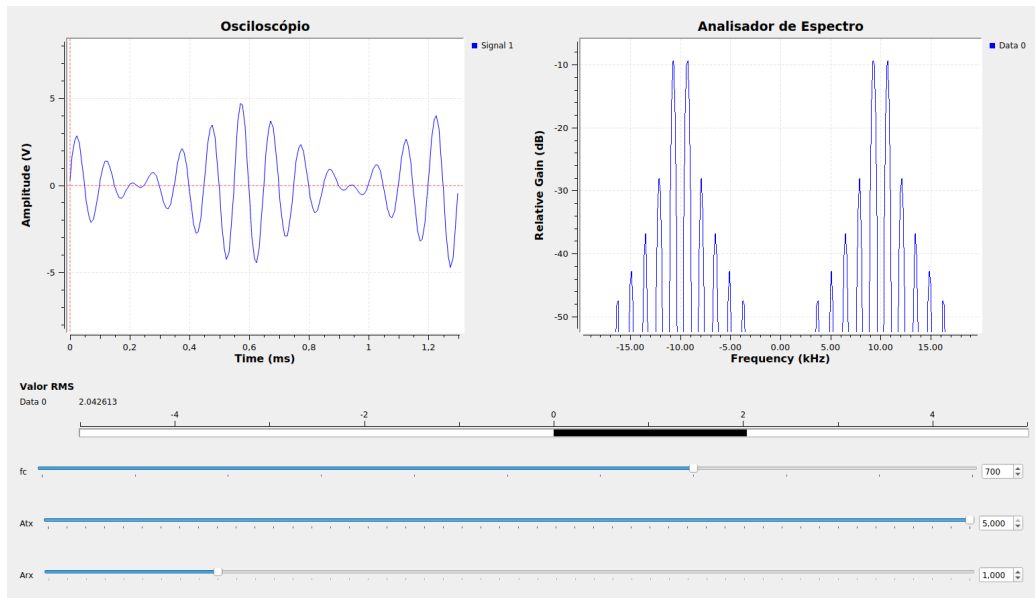


Figura 5: Ponto D

- No ponto D acima é possível ver o sinal $x_Q(t)$ que foi modulado por uma senóide, este será somado com $x_1(t)$ e o sinal total está pronto para ser enviado no canal de comunicação. Note que neste ponto é possível observar no espectro de frequência que as harmônicas foram deslocadas para perto da frequência da senóide.

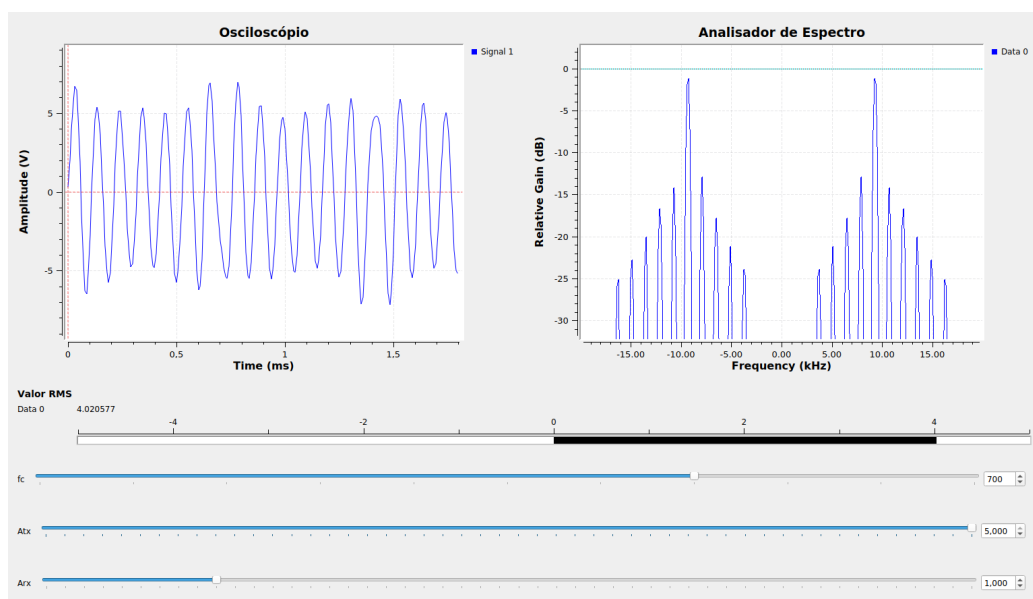


Figura 6: Ponto E

- No ponto E acima os sinais mensagem modulados foram somando e estão entrando no canal de comunicação para chegar até os receptores. Note que as frequências observadas no espectro de frequência contem as frequências de ambos os sinais, note porém que a intensidade dos picos foram alteradas.

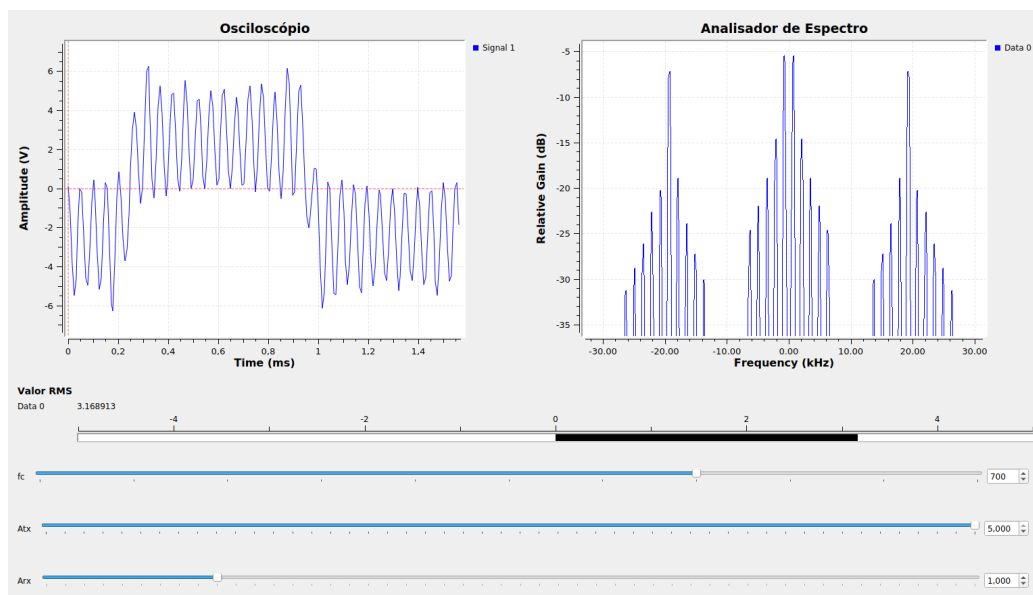


Figura 7: Ponto F

- No ponto F acima, o sinal começa a ser demodulado e foi multiplicado por uma cossenóide igual a que foi usada para modular o sinal no transmissor, porém, aqui utilizamos uma amplitude diferente ao do receptor. Aqui já é possível observar que a amplitude do sinal da portadora se parece muito com o sinal a ser recuperado, $x_1(t)$, o que começa a nos indicar que a demodulação está sendo feita corrente, e só nos resta filtrar as frequências altas da portadora. Note pelo espectro da frequência que as harmônicas de frequências mais baixas se parecem muito com as harmônicas do sinal mensagem, mudando basicamente a intensidade dos pulsos, o que nos mostra que as harmônicas do sinal mensagem está presente.

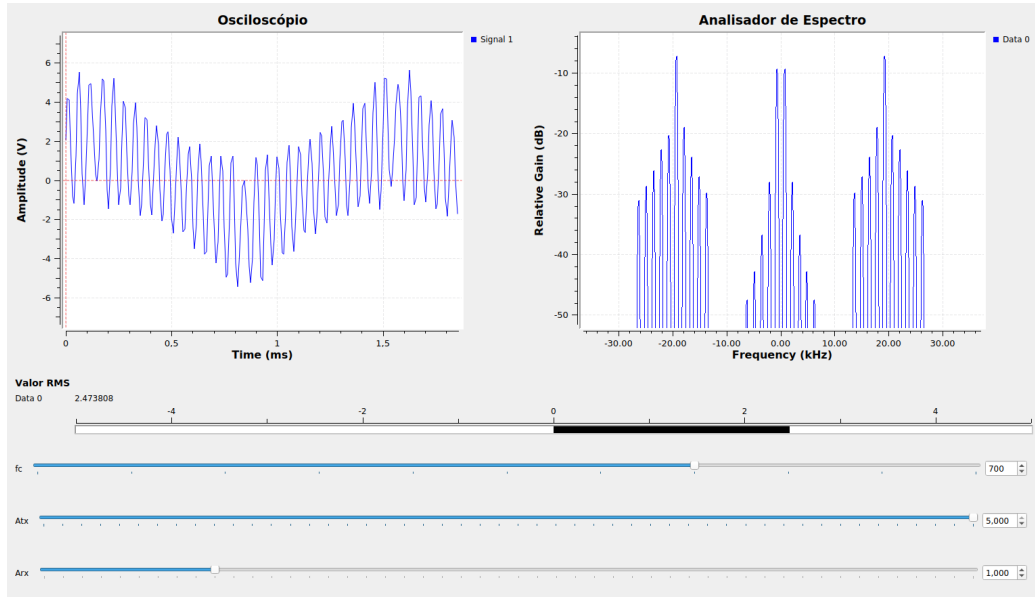


Figura 8: Ponto G

- No ponto G acima é possível visualizar o sinal que começa a ser demodulado, este foi multiplicado por uma senóide assim como quando o sinal foi modulado. Note que aqui também é possível observar na amplitude do sinal da portadora algo que se parece com o sinal original $x_Q(t)$, basta no próximo ponto retirar as frequências altas da portadora e teremos o sinal recuperado. Assim como no ponto F foi dito, note que as harmônicas de frequências mais baixas se parece muito com as harmônicas do sinal mensagem, somente com a intensidade dos pulsos diferentes, o que mostra que o sinal mensagem está presente.
- Neste momento foi necessário implementar os filtros passa-baixas nos receptores, para isso foi necessário calcular a partir de qual harmônica contém 98% da energia do sinal. Para isso

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
RMS	0,9797	0,5767	3,4645	2,0456	4,0205	3,1689	2,4738	0,0000	0,0000
Potência	0,9598	0,3325	12,0027	4,1844	16,1644	10,0419	6,1196		

Tabela 1: Valor RMS e Potência

b)

Nesta parte o objetivo era ajustar a amplitude nos receptores para os sinais terem mesma amplitude que o sinal mensagem, ajustados, ficaram assim:

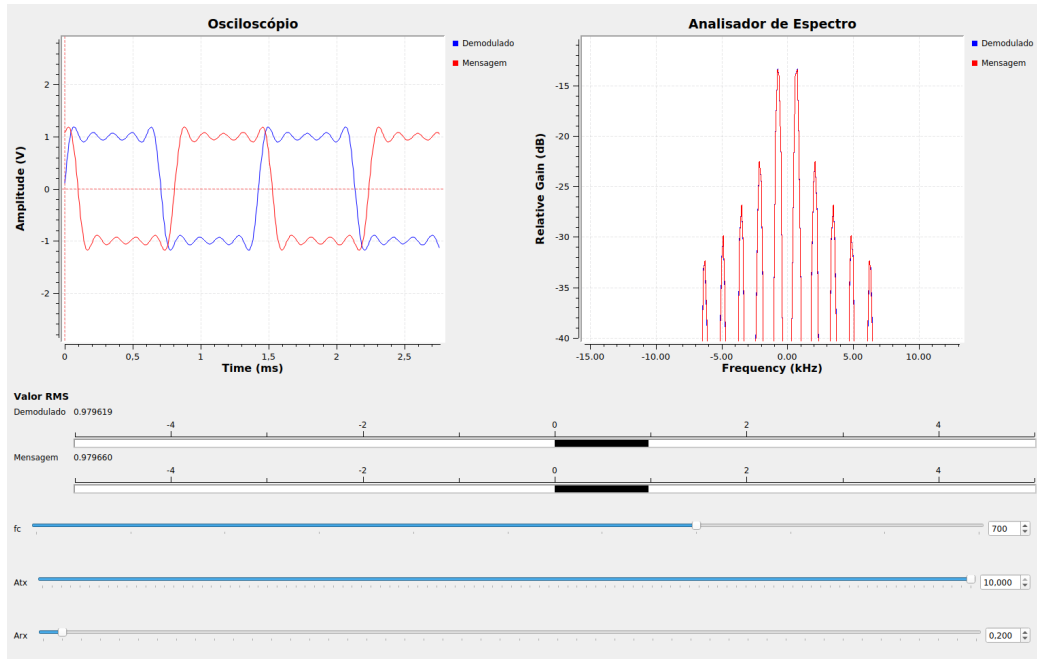


Figura 9: Sinal $x_1(t)$

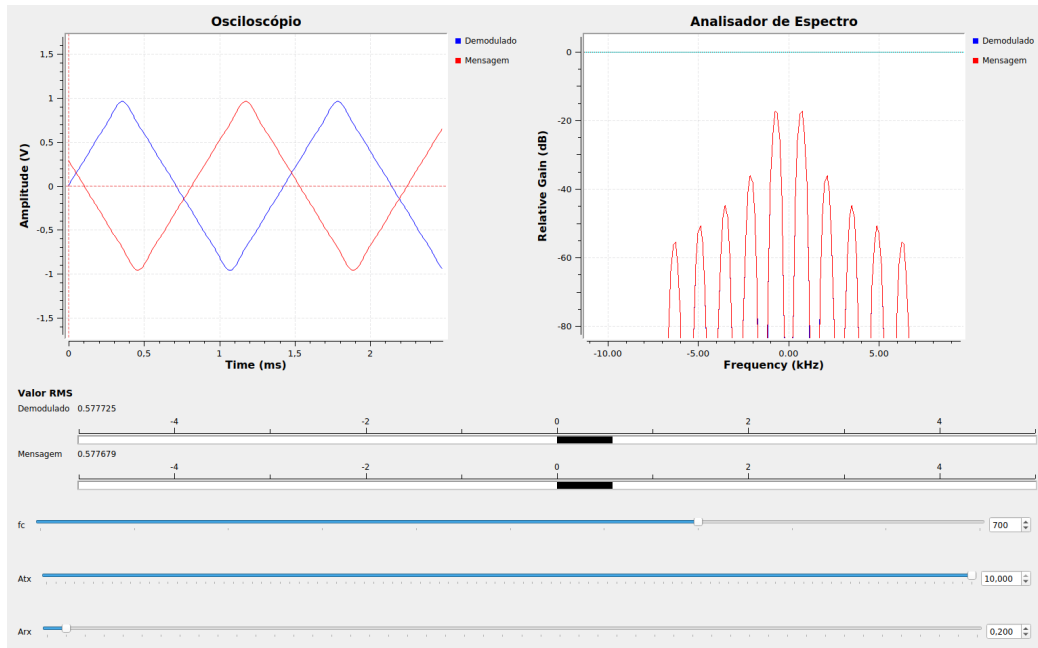


Figura 10: Sinal $x_q(t)$

A relação entre A_{tx} e A_{rx} é de 50 para este caso.

AR 02

O objetivo desta atividade é aprender outro tipo de modulação, aqui iremos explorar a modulação SSB. Iremos implementar este modulador utilizando o método Weaver, descrito na figura 3 no roteiro do experimento. Aqui não é o objetivo demodular o sinal, somente criaremos o sinal que será colocado no canal de comunicação.

- O primeiro passo é criar a área de trabalho implementando o que temos na figura 3, após isso, iremos verificar o que acontece em cada ponto pedido.

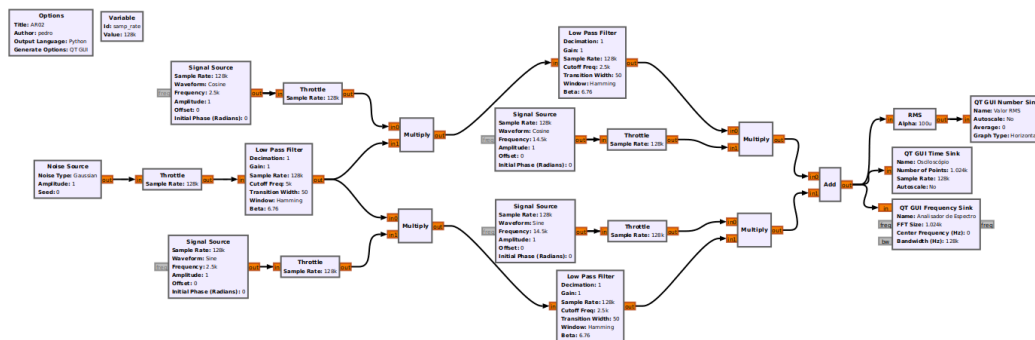


Figura 11: Área de Trabalho AR02

- Após criar a área de trabalho precisamos analisar o que acontece nos pontos da figura 3.

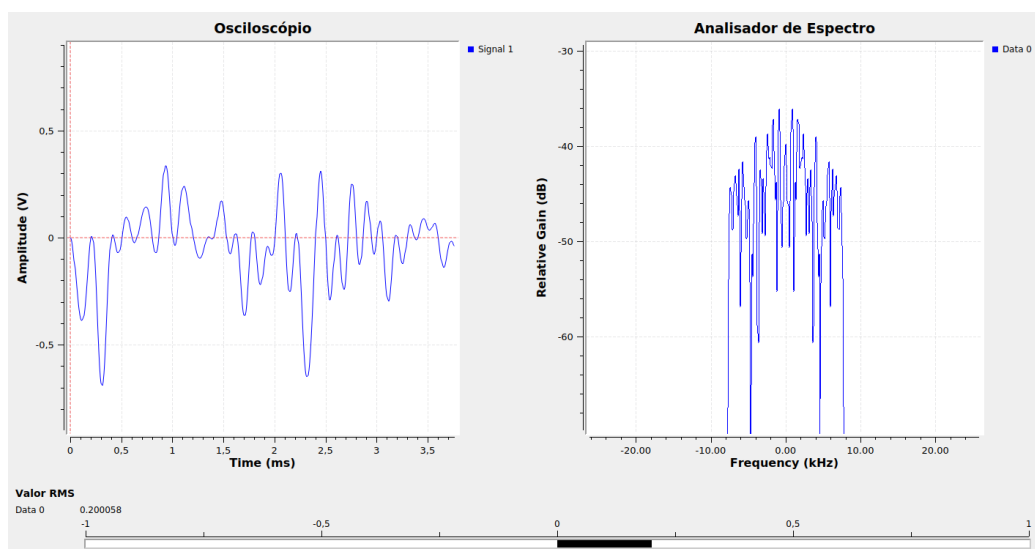


Figura 12: Ponto A

- O que ocorreu foi que após o primeiro passa-baixas de 5kHz esse sinal foi multiplicado por uma cossenóide de 2,5kHz, o que desloca o sinal para o entorno da cossenóide, de forma que a banda do sinal se localiza entre 7,5kHz e -2,5kHz para o lado positivo, o mesmo para o lado negativo, entre -7,5kHz e +2,5kHz, pelo fato da banda passante ser de 10kHz após o primeiro passa-baixas.
- Note que aqui o espectro se sobrepõe, ou seja, as frequências que se sobrepõem vão se somar, note que elas vão se somar contendo partes

da informação de cada um dos espectros positivos e negativos e isto garante que nenhuma informação seja perdida quando passarmos pelo passa-baixas.

- Note também que neste momento, as informações contidas entre -2,5kHz e 2,5kHz contém toda a informação existente entre -5kHz e 5kHz, porém, estão somadas.

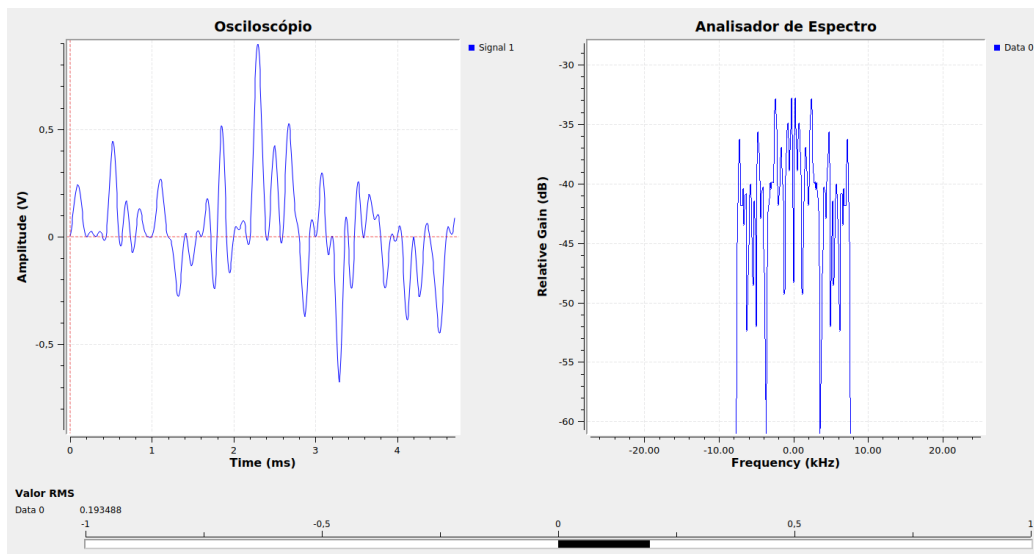


Figura 13: Ponto B

- O que ocorreu foi que após o primeiro passa baixas de 5kHz o sinal foi multiplicado por uma senóide de 2,5kHz, o que desloca o sinal para o entorno dessa senóide e como a banda passante é de 10kHz, as frequências observadas no ponto B são nas faixas de 7,5kHz e -2,5kHz para o lado positivo e o mesmo para o lado negativo, entre -7,5kHz e +2,5kHz.
- Note que neste ponto os espectros também se sobrepõem, porém, a diferença de fase proveniente do seno provoca uma subtração entre as frequências que se sobrepõem, pois as componentes que são deslocadas para a frequência negativa tem o seu sinal invertido, o que faz com que tenhamos uma componente de fase, que depois será usada para separar as informações contidas no sinal A.

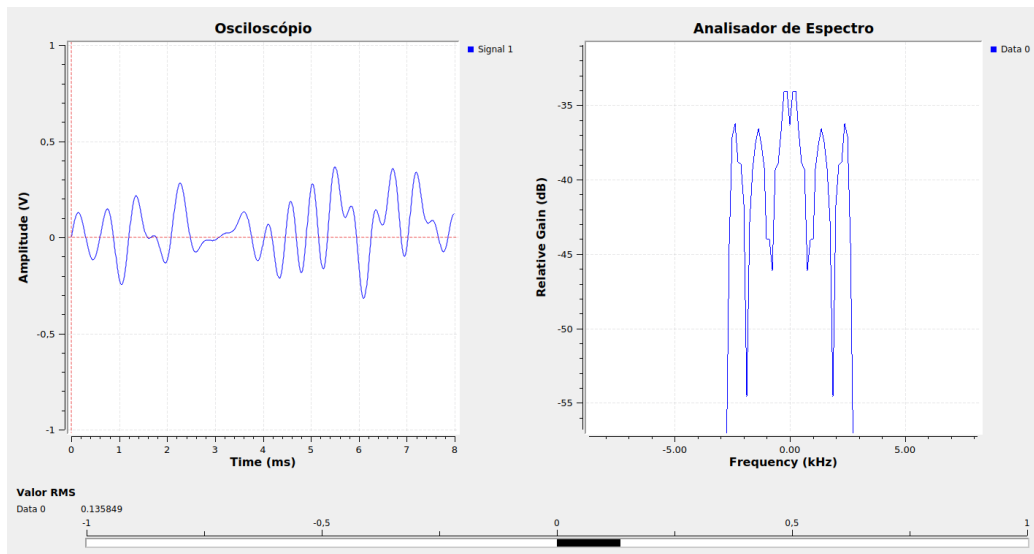


Figura 14: Ponto C

- Note neste ponto que o sinal resultante da cossenóide passou por um filtro passa-baixas de frequência de corte 2,5kHz, preservando somente as componentes de frequências baixas, como pode-se ver no espectro de frequência da imagem. Em seguida será multiplicado por uma cossenóide de frequência 14,5kHz, o que resultará em deslocar o sinal para entre 12kHz e 17kHz, e para -12kHz e 17kHz.

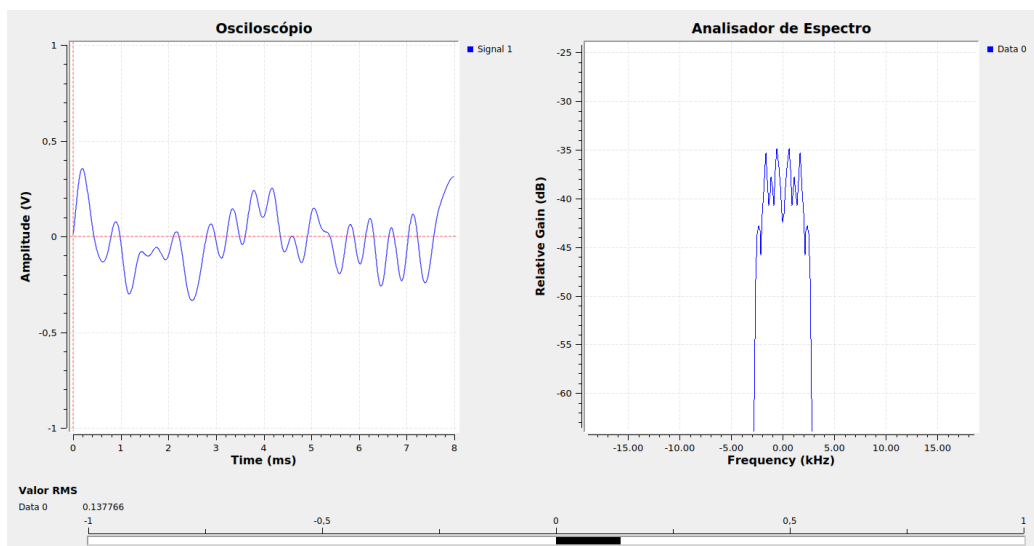


Figura 15: Ponto D

- Neste ponto também o sinal proveniente da senóide passou por um filtro passa-baixas de frequência de corte de 2,5kHz, o que pode ser observado no espectro da frequência. Em seguida o sinal será deslocado novamente por uma senóide, note também que a multiplicação por um seno torna as frequências provenientes do espectro negativo com seu sinal invertido.

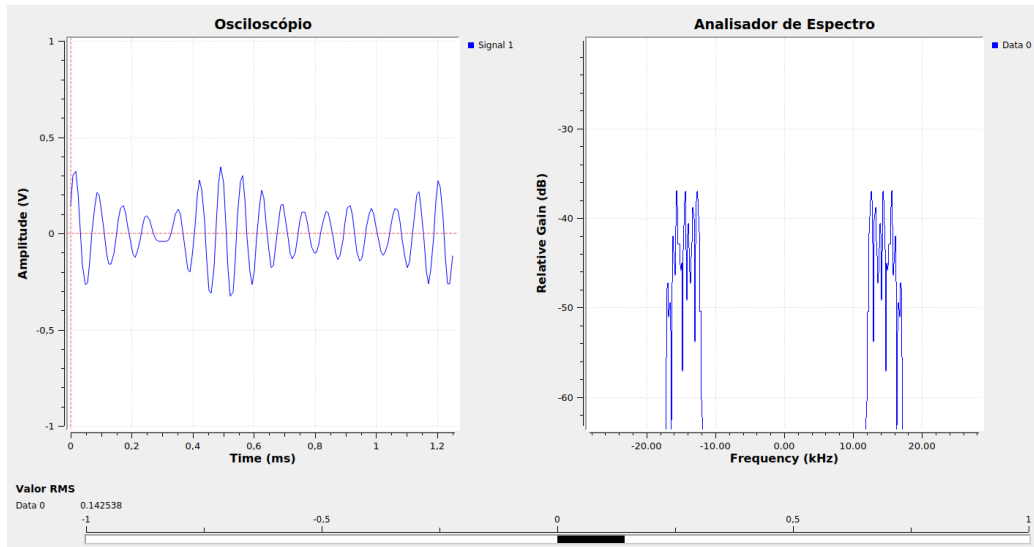


Figura 16: Ponto E

- O que podemos ver aqui é que ocorreu uma soma entre as componentes que compõem o sinais depois dos misturadores. E a soma separa as informações duplicadas em cada frequência, provenientes do cosseno, por meio do comportamento ímpar da senóide. Deixando informações conjugadas no espectro negativo e positivo, assim, a banda passante foi reduzida para 10kHz, o que cumpre com os objetivos propostos.
- Note que neste ponto a parte do sinal presente nas frequências positivas é a parte do sinal mensagem presente nas frequências negativas. O contrário também vale, o sinal visto em E nas frequências negativas é a parte do sinal que estava presente em frequências positivas do sinal mensagem.

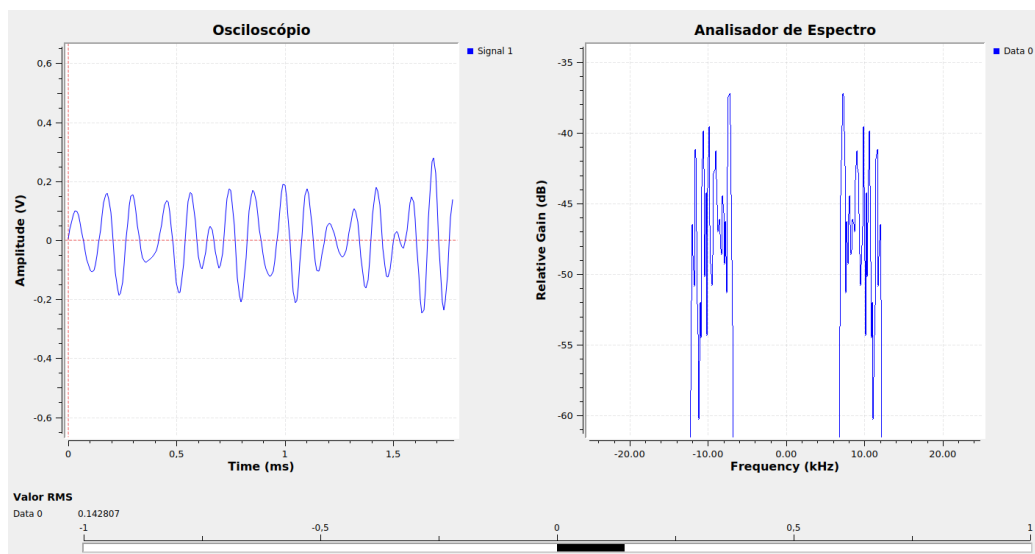


Figura 17: Ponto E - Subtração

- Neste momento o projeto foi trocado para subtrair os sinais, e algo semelhante acontece quando se somava, porém a parte positiva do sinal mensagem ainda ficará nas frequências positivas, o que não acontecia quando se somava os sinais. O mesmo ocorre para as frequências negativas, a parte do sinal mensagem que se localizava nas frequências negativas permanece nas frequências negativas no sinal a entrar no canal de comunicação.

AR 03

Aqui o objetivo é mostrar como um canal de comunicação acontece na vida real, de forma a mostrar como os efeitos fase e de frequência alteram no sinal recebido após passar por um canal de comunicação, faremos isso simulando uma assincronia entre o canal transmissor e o receptor. Para experimento a área de trabalho implementada foi:

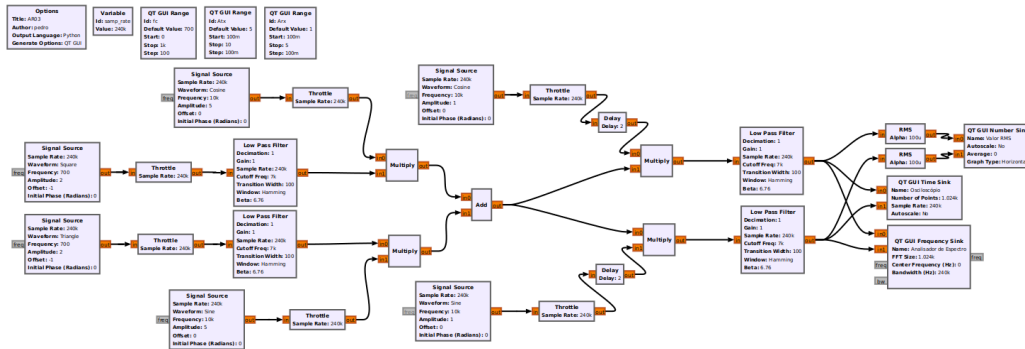


Figura 18: Área de Trabalho

a)

O objetivo aqui é ver como os efeitos de mudança de fase podem fazer com que o sinal não seja visto corretamente no receptor.

Para isso implementamos um bloco de delay para simular a fase, primeiro usamos um delay de 2 amostras, simulando um atraso de fase de 30° no receptor:

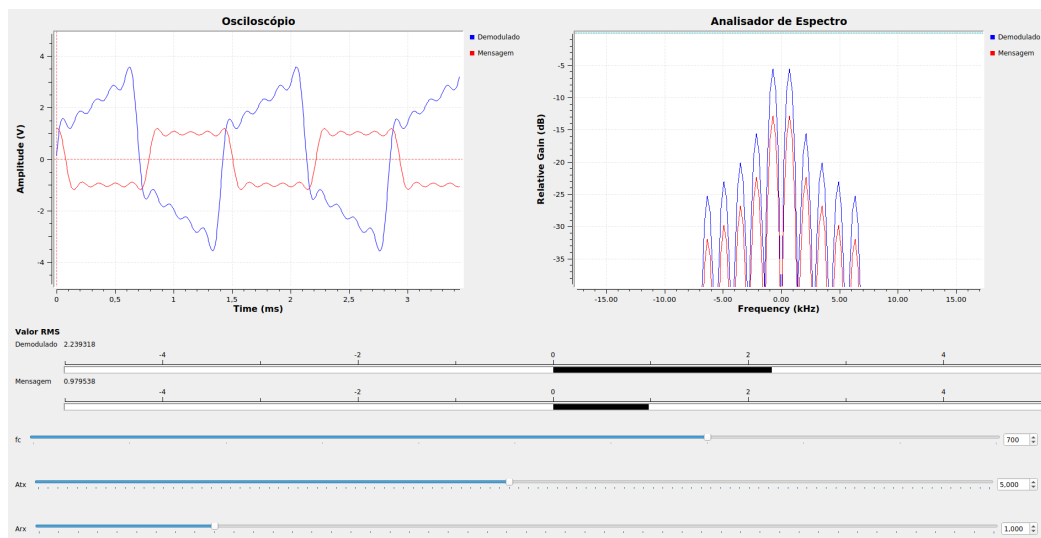


Figura 19: Sinal $x_1(t)$

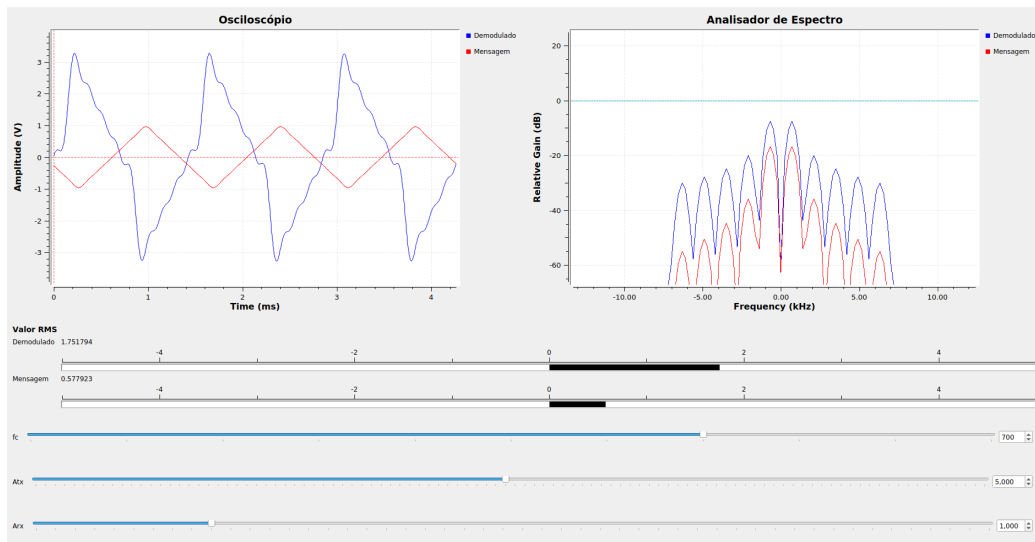


Figura 20: Sinal $x_Q(t)$

Depois fizemos o experimento com um atraso de fase de 90° :

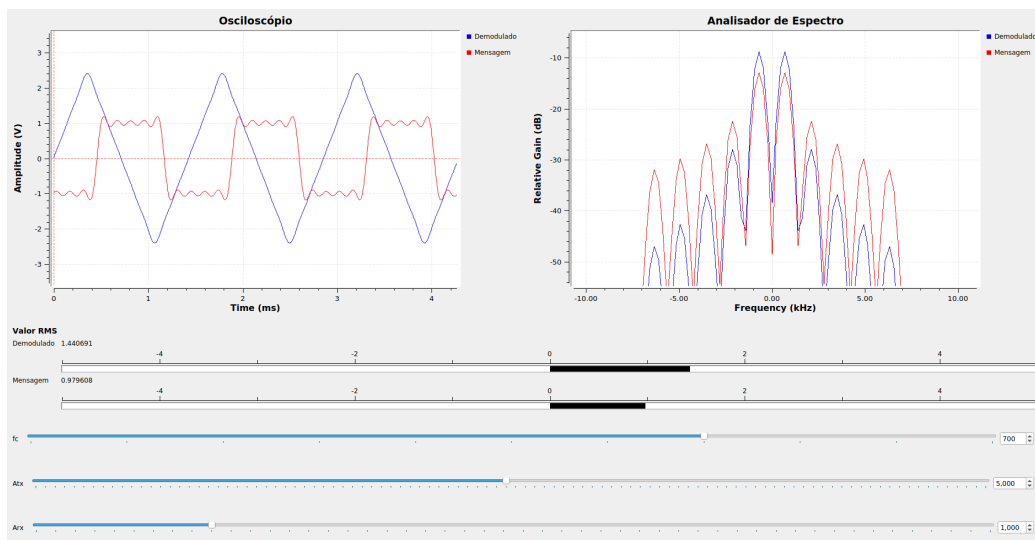


Figura 21: Sinal $x_1(t)$

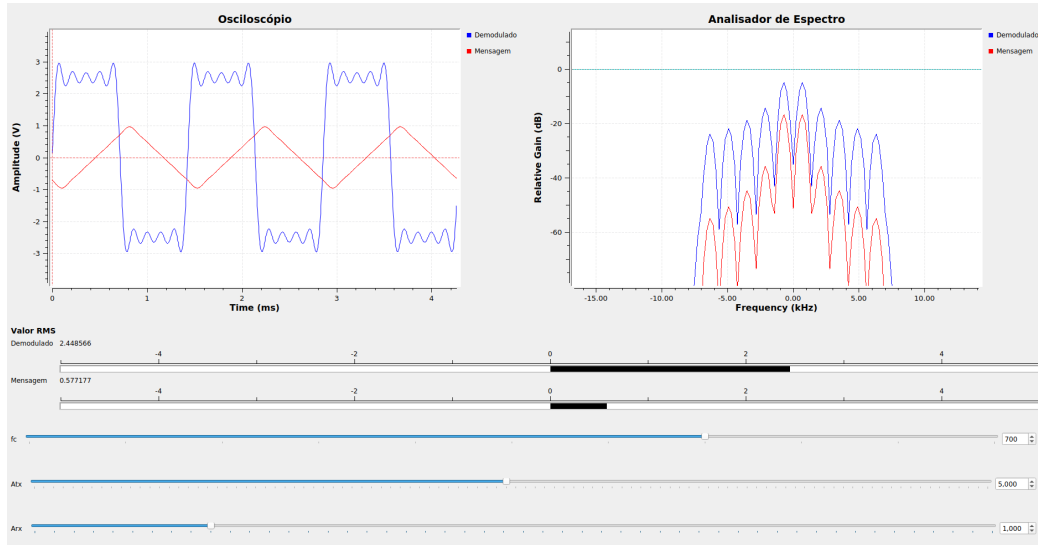


Figura 22: Sinal $x_Q(t)$

Podemos ver nos pontos acima que os sinais inverteram, pois o seno com fase de 90° se transforma em um cosseno e o cosseno com fase de 90° se transforma em um seno, logo, as figuras acima estão mostrando isso.

b)

O objetivo nesta parte é simular uma assincronia de frequência, esta pode ser provocada por diversos fatores no meio, como interferências eletromagnéticas no canal. Por diversos motivos é importante simular esse tipo de situação.

Colocando uma diferença de frequência de 0,1Hz entre transmissores e receptores e assim, é possível visualizar um efeito bem interessante, que no caso do cosseno é ele se transformando em um seno, e retornando a sua forma original, por meio de uma transformação de uma sua forma de onda no domínio do tempo, para exemplificar, as figuras abaixo foram tirados em instantes de tempo diferentes:

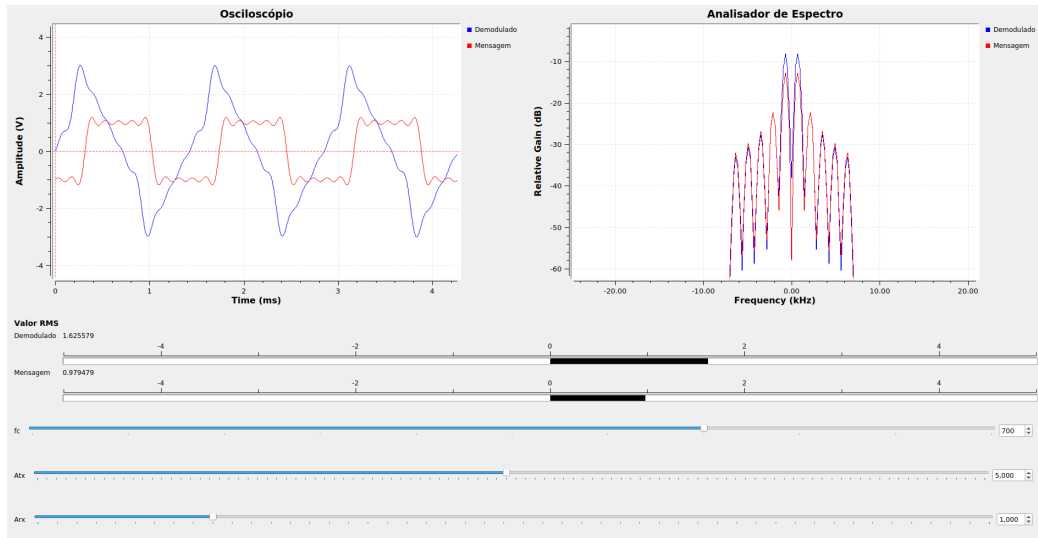


Figura 23: Sinal $x_1(t)$

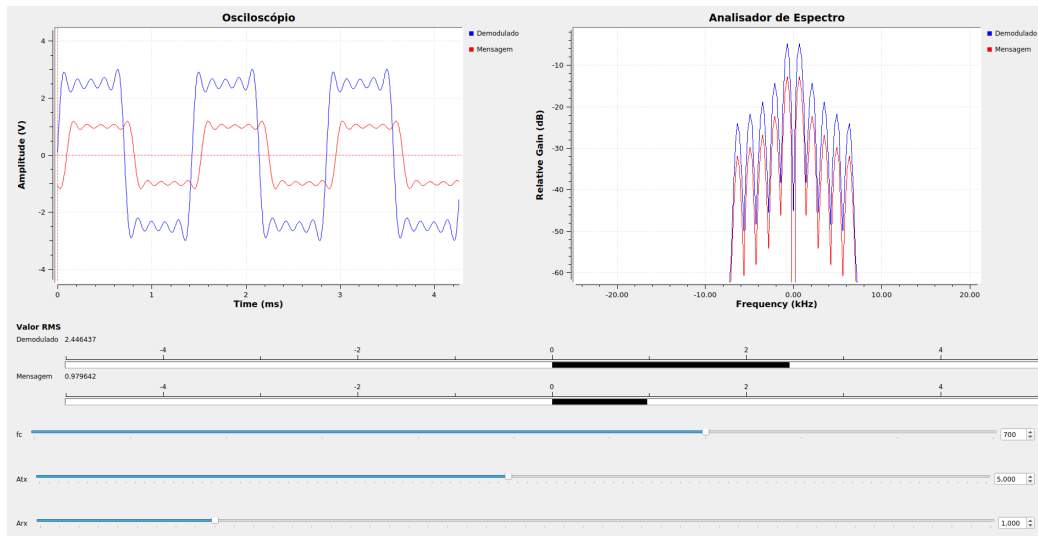


Figura 24: Sinal $x_1(t)$

Algo parecido acontece com o seno, ele se transforma em um cosseno e depois retorna a sua forma original. O processo não acontece instantaneamente, é possível observar a transição de um sinal para o outro. Para tentar exemplificar, as figuras abaixo tentam mostrar essa variação:

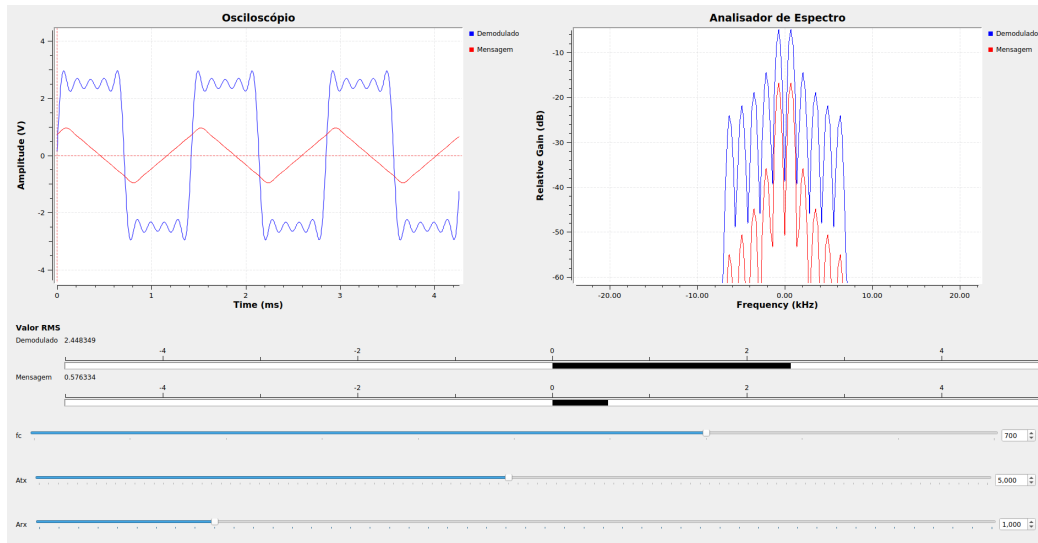


Figura 25: Sinal $x_Q(t)$

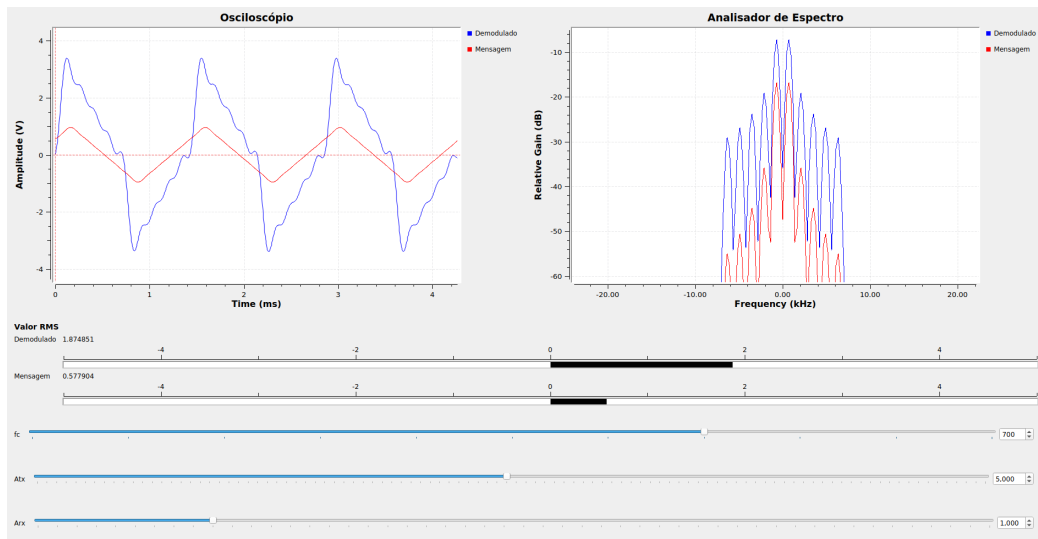


Figura 26: Sinal $x_Q(t)$

3 Conclusão

Concluimos com sucesso o experimento, realizando diferentes técnicas de modulação e verificando os efeitos de assincronia entre transmissores e receptores. Praticando os conceitos de utilização de filtros de multiplicação de sinais, tudo com apoio na teoria matemática sobre espectro de frequência.