



**INSTITUTO  
FEDERAL**

Santa Catarina

---

Câmpus  
São José

## **Modulação IQ**

Sistemas de Comunicações I

**Gabriel Luiz Espindola Pedro**

08 de Abril de 2024

# Sumário

1. Introdução .....	3
2. Fundamentação teórica .....	4
3. Análise dos resultados .....	5
4. Conclusões .....	7
Bibliografia .....	8

## 1. Introdução

Neste relatório, apresentaremos uma análise das simulações realizadas de modulação e demodulação de fase e quadratura (*IQ*). O objetivo principal é compreender o funcionamento de um modulador/demodulador *IQ*, bem como a importância da tecnologia *Software Defined Radio* (*SDR*) na implementação de sistemas de comunicação digital.

Será também sintetizado um resumo das seções pertinentes do livro *Software Defined Radio Using MATLAB & Simulink and the RTL-SDR*[1], adquirindo embasamento teórico para a compreensão dos conceitos abordados nas simulações.

## 2. Fundamentação teórica

Sabendo que podemos representar quaisquer sinais complexos em termos de senos e cossenos, relembramos a fórmula de Euler que indica que:

$$e^{j\theta} = \cos(\theta) + j \sin(\theta) \quad (1)$$

Podemos isolar tanto o cosseno quanto o seno, e assim obter a representação de um sinal complexo em termos de senos e cossenos:

$$\cos(\theta) = \frac{e^{j\theta} + e^{-j\theta}}{2} \quad (2)$$

$$\sin(\theta) = \frac{e^{j\theta} - e^{-j\theta}}{2}j \quad (3)$$

A partir destes elementos base, podemos representar qualquer sinal complexo, isto é descreve-lo matematicamente e manipula-lo de maneira a obter informações relevantes sobre o sinal analisado.

Para operar estes sinais utilizamos modulações, uma delas sendo a modulação *QAM* (*Quadrature Amplitude Modulation*), que é uma técnica de modulação digital que utiliza a amplitude de dois sinais portadores senoidais, em quadratura, para transmitir dados digitais.

De maneira simplória, multiplicamos um sinal  $x_1(t)$  por um cosseno e um sinal  $x_2(t)$  por um seno, e somamos os resultados. Assim, obtemos um sinal modulado em fase e quadratura. Transmitimos por meio de um canal essa informação e na recepção, realizamos a demodulação, que é a operação inversa da modulação. Obtendo assim os sinais originais  $x_1(t)$  e  $x_2(t)$ .

Considerando que estamos multiplicando um sinal por um cosseno e outro por um seno, podemos fazer ajustes nos sinais de maneira a trabalhar apenas com a multiplicação por um expoente complexo, simplificando a operação:

$$\begin{aligned} y(t) &= \Re\{[x_1(t) + jx_2(t)]e^{j2\pi f_c t}\} \\ &= x_1(t) \cos(2\pi f_c t) - x_2(t) \sin(2\pi f_c t) \end{aligned} \quad (4)$$

Retiramos a parte real pois é o que efetivamente é possível transmitir, com isso obtemos a modulação *QAM*. Potencialmente o sinal recebido possui uma defasagem em relação ao sinal transmitido, chamamos essa variação de  $f_\Delta$ , representamos o sinal demodulado então como:

$$x(t) = y(t)e^{j2\pi(f_c + f_\Delta)t} \quad (5)$$

Essa variação é pequena, considerando uma frequência de portadora de 90 MHz verificamos que a variação é de 100 Hz, podendo variar de acordo com os componentes utilizados e suas tolerâncias.

### 3. Análise dos resultados

Realizando a simulação de modulação *IQ* foi adquirido dois sinais de áudio. O primeiro sinal é uma música, e o segundo sinal é uma voz. A modulação *IQ* foi realizada em ambos os sinais, o primeiro sendo multiplicado por um cosseno e o segundo por um seno.

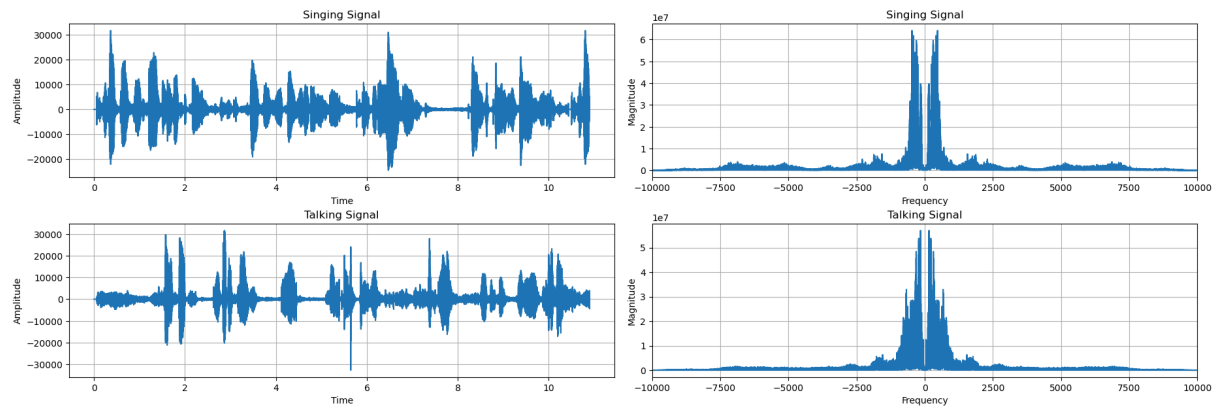


Figura 1: Sinais de áudio em banda base no tempo e na frequência

Utilizando a fórmula de modulação *IQ* foi possível obter os sinais modulados em fase e quadratura.

```
c1_t = A1 * np.cos(2 * np.pi * fc * t)
c2_t = -A2 * np.sin(2 * np.pi * fc * t)

m1_t = d1_t * c1_t # Modulação do sinal 1
m2_t = d2_t * c2_t # Modulação do sinal 2
```

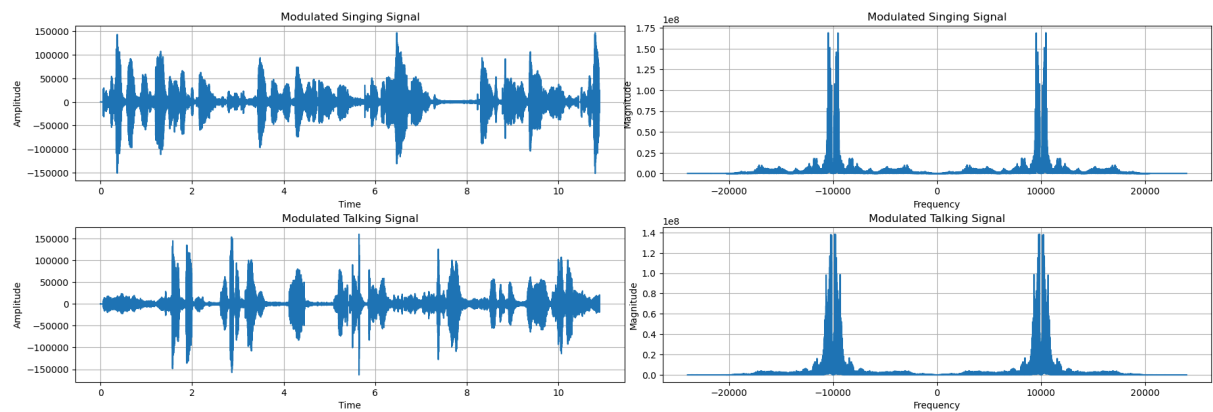


Figura 2: Sinais mutplicados pela suas portadoras

Após realizada essa operação, unificamos ambos os sinais em um único a fim de transmitir a informação.

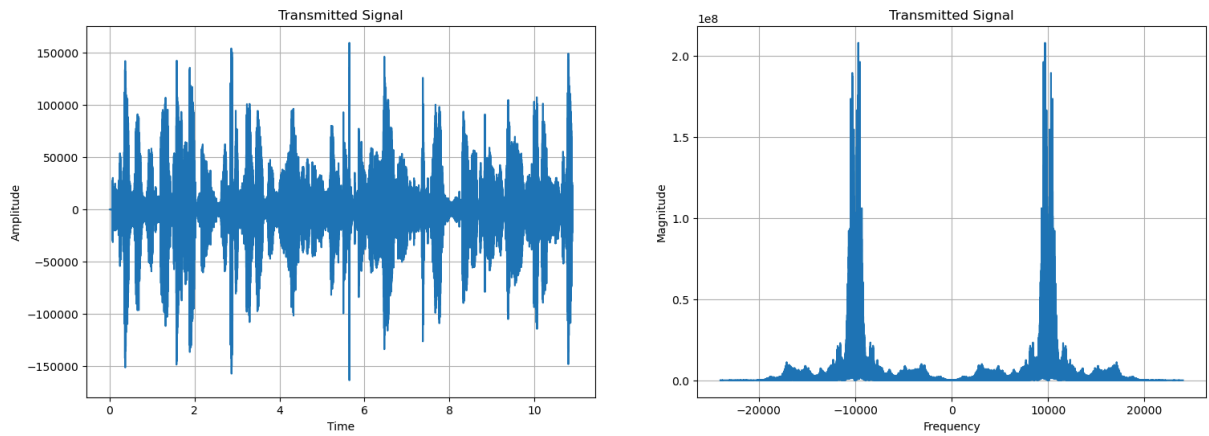


Figura 3: Sinais somados

Ao ser recebido este sinal, realizamos a demodulação, por meio do processo inverso da modulação, multiplicamos o sinal recebido por um expoente complexo, extraindo os sinais originais e mais uma componente de alta frequência.

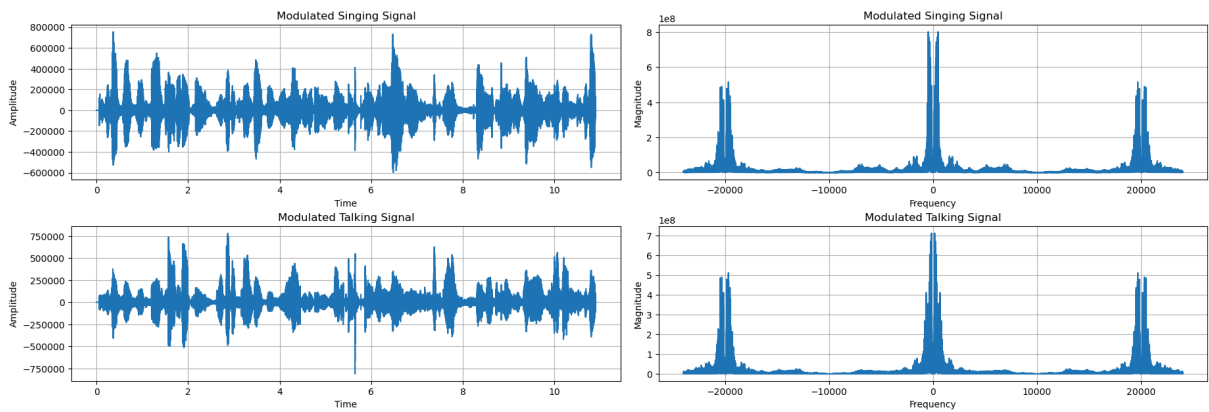


Figura 4: Sinais demodulados com componente de alta frequência

Realizando um filtro passa baixa podemos por fim recuperar completamente o sinal original.

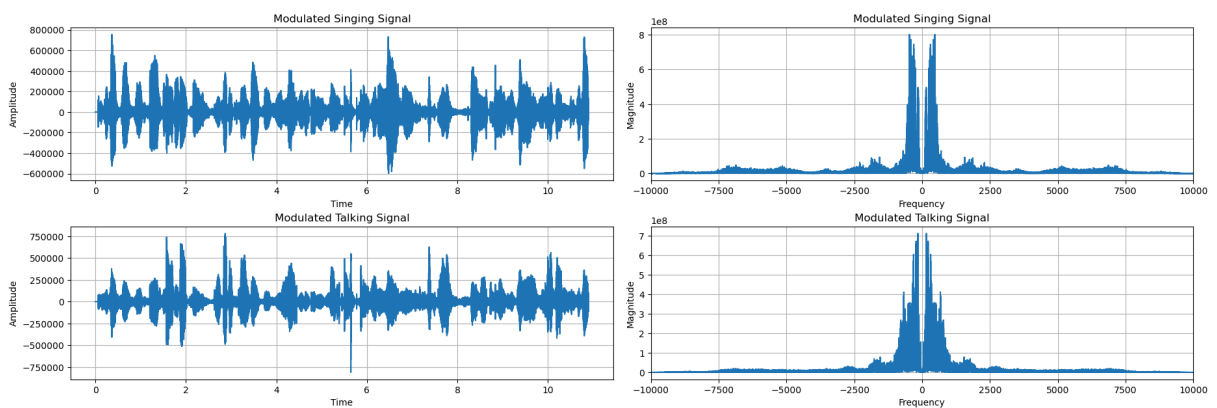


Figura 5: Sinal demodulado

## 4. Conclusões

Neste estudo, exploramos a técnica de modulação e demodulação de fase e quadratura (IQ) em sistemas de comunicação digital. Através da análise das simulações realizadas e da revisão da literatura pertinente, destacamos algumas conclusões importantes:

1. Versatilidade da Modulação IQ: A técnica de modulação IQ oferece uma abordagem flexível e eficaz para a transmissão de sinais complexos, permitindo a representação e manipulação de sinais em fase e quadratura de forma eficiente.
2. Importância do SDR na Implementação de Sistemas de Comunicação: O uso de Software Defined Radio (SDR) desempenha um papel crucial na implementação prática de sistemas de comunicação digital, proporcionando uma plataforma flexível e adaptável para experimentação e desenvolvimento.
3. Princípios Matemáticos Fundamentais: A compreensão dos princípios matemáticos subjacentes, como a representação de sinais complexos em termos de senos e cossenos, é essencial para a manipulação eficaz de sinais durante a modulação e demodulação IQ.
4. Processo de Modulação e Demodulação: Através do processo de modulação IQ, os sinais de áudio foram combinados em sinais modulados em fase e quadratura, facilitando a transmissão eficiente da informação. Na demodulação, a inversão desse processo permitiu a recuperação dos sinais originais, juntamente com uma componente de alta frequência, que foi posteriormente filtrada para obter o sinal original.
5. Eficiência do Sistema: A eficácia do sistema de modulação e demodulação IQ foi demonstrada pela capacidade de transmitir e recuperar os sinais de áudio com sucesso, mesmo diante de variações de frequência e outros desafios do canal de comunicação.

## Bibliografia

- [1] R. W. Stewart, K. W. Barlee, and D. S. W. Atkinson, *Software Defined Radio using MATLAB & Simulink and the RTL-SDR*, Paperback. Strathclyde Academic Media, 2015, p. 672–673. [Online]. Available: <https://lead.to/amazon/com/?op=bt&la=en&cu=usd&key=0992978718>