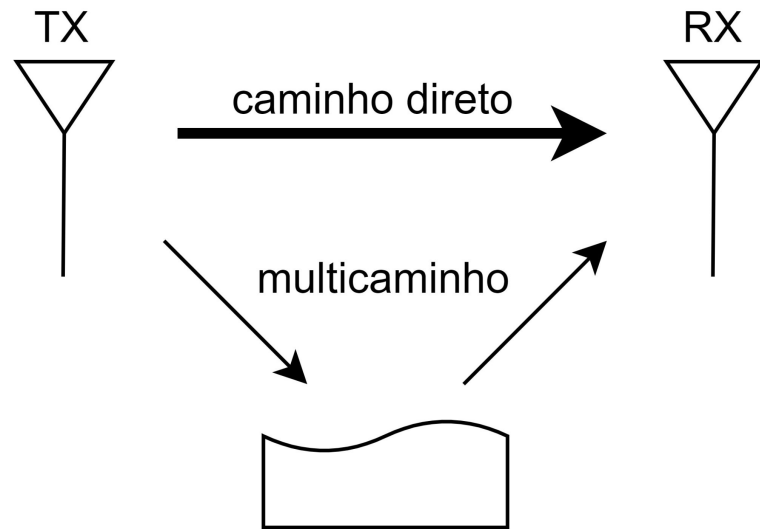


# Geração de sinais OFDM **ATRAVÉS DA IFFT**

**Disc.** Levy Gabriel e Thiago Maia  
**Doc.** Prof. Dr. José Silveira Júnior

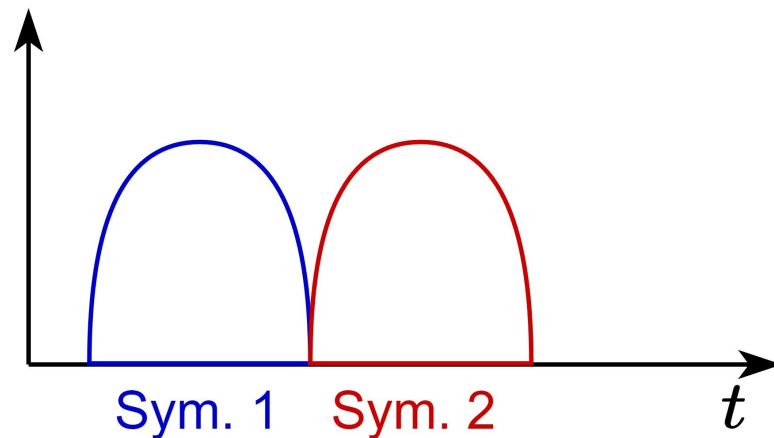
# Complexidades em canais de comunicação sem fio

- **Desvanecimento multicaminho;**
- Interferência intersimbólica (ISI);
- Interferência intercanal (ICI);
- Seletividade de frequência;
- Escassez de banda.



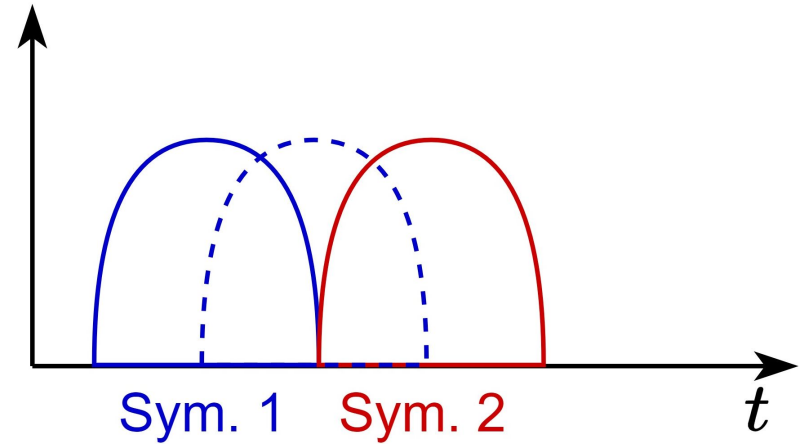
# Complexidades em canais de comunicação sem fio

- Desvanecimento multicaminho;
- **Interferência intersimbólica (ISI);**
- Interferência intercanal (ICI);
- Seletividade de frequência;
- Escassez de banda.



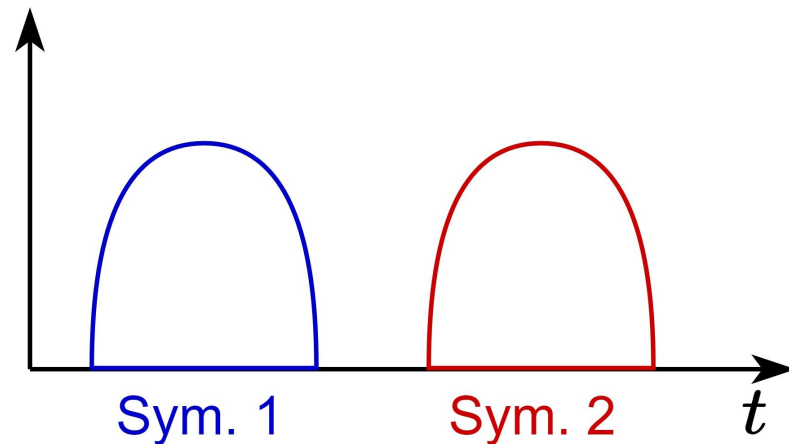
# Complexidades em canais de comunicação sem fio

- Desvanecimento multicaminho;
- **Interferência intersimbólica (ISI);**
- Interferência intercanal (ICI);
- Seletividade de frequência;
- Escassez de banda.



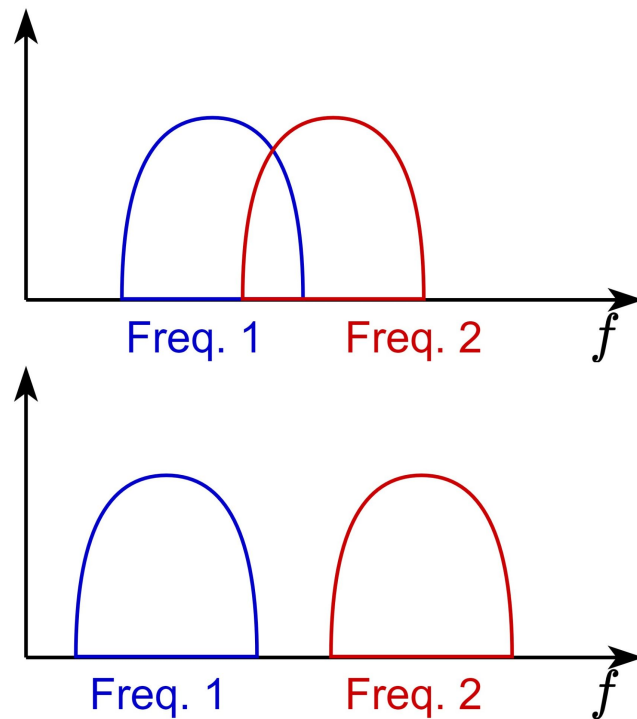
# Complexidades em canais de comunicação sem fio

- Desvanecimento multicaminho;
- **Interferência intersimbólica (ISI);**
- Interferência intercanal (ICI);
- Seletividade de frequência;
- Escassez de banda.



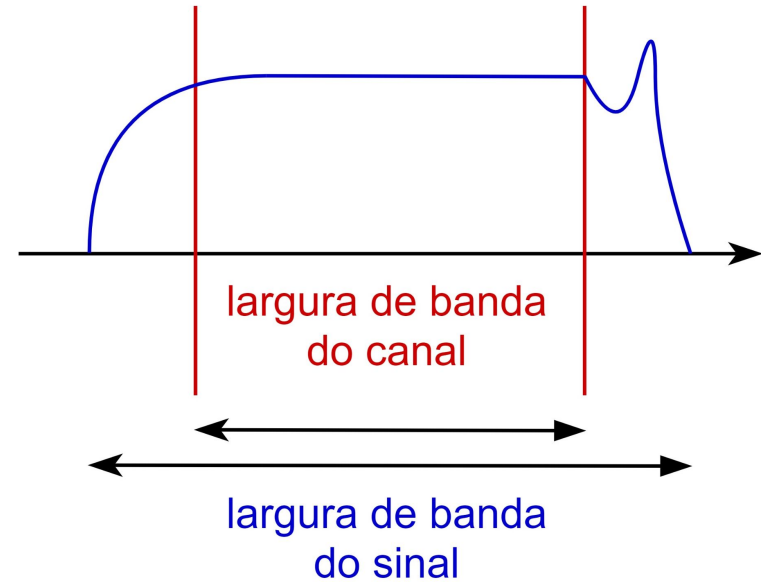
# Complexidades em canais de comunicação sem fio

- Desvanecimento multicaminho;
- Interferência intersimbólica (ISI);
- **Interferência intercanal (ICI);**
- Seletividade de frequência;
- Escassez de banda.



# Complexidades em canais de comunicação sem fio

- Desvanecimento multicaminho;
- Interferência intersimbólica (ISI);
- Interferência intercanal (ICI);
- **Seletividade de frequência;**
- Escassez de banda.



# Complexidades em canais de comunicação sem fio

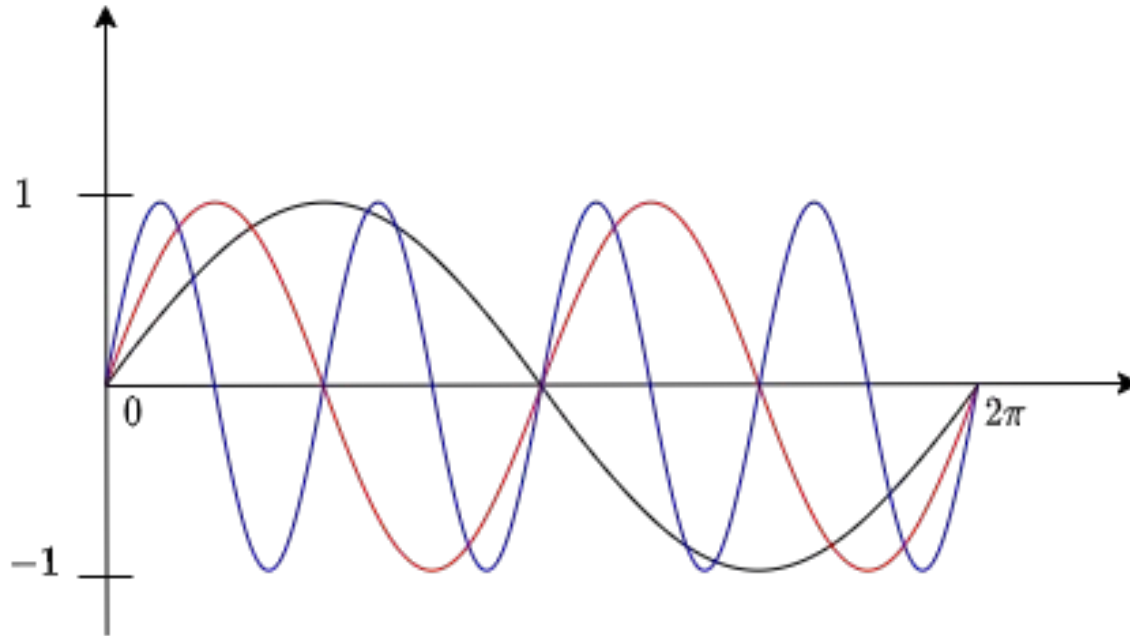
- Desvanecimento multicaminho;
- Interferência intersimbólica (ISI);
- Interferência intercanal (ICI);
- Seletividade de frequência;
- **Escassez de banda.**



# O que é o OFDM?

- *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM);
- Estratégia de modulação multiportadora;
- Um sinal OFDM contém múltiplas portadoras **pouco** espaçadas;
- Divisão do fluxo de dados em fluxos de **taxa de dados menor e tempo de símbolo maior**;

# Ortogonalidade entre portadoras



## DFT/IDFT

DFT:

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j \frac{2\pi}{N} kn}$$

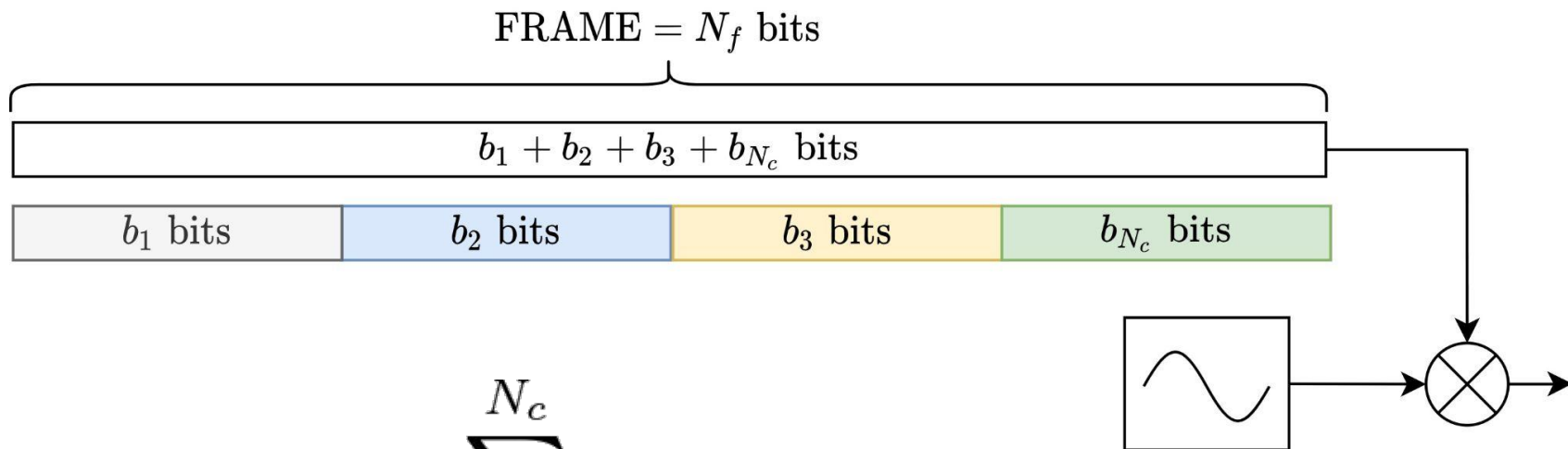
IDFT:

$$x[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X[k] e^{j \frac{2\pi}{N} kn}$$

# Geração de sinais OFDM

1. Conversão série-paralelo do fluxo de bits de entrada;
2. Mapear os bits de cada subgrupo em uma constelação M-QAM;
3. Garantir a propriedade da simetria conjugada da sequência de pontos da constelação M-QAM para que uma série temporal derivada dessa sequência seja real;
4. Modular cada ponto de constelação gerado por uma diferente portadora:
  - a. As portadoras devem obedecer a ortogonalidade;
  - b. Do ponto de vista digital, essa modulação se dá por uma IDFT (eficiência com a IFFT);
  - c. Naturalmente a aplicação da IDFT vai gerar símbolos OFDM que contém  $N$  símbolos M-QAM;
5. Inserir o prefixo cíclico ao bloco de amostras do símbolo OFDM para mitigar os efeitos da ISI.

# OFDM: conversão série-paralelo



$$\sum_{i=1}^{N_c} b_i = N_f$$

$N_f$  = numero de bits no frame

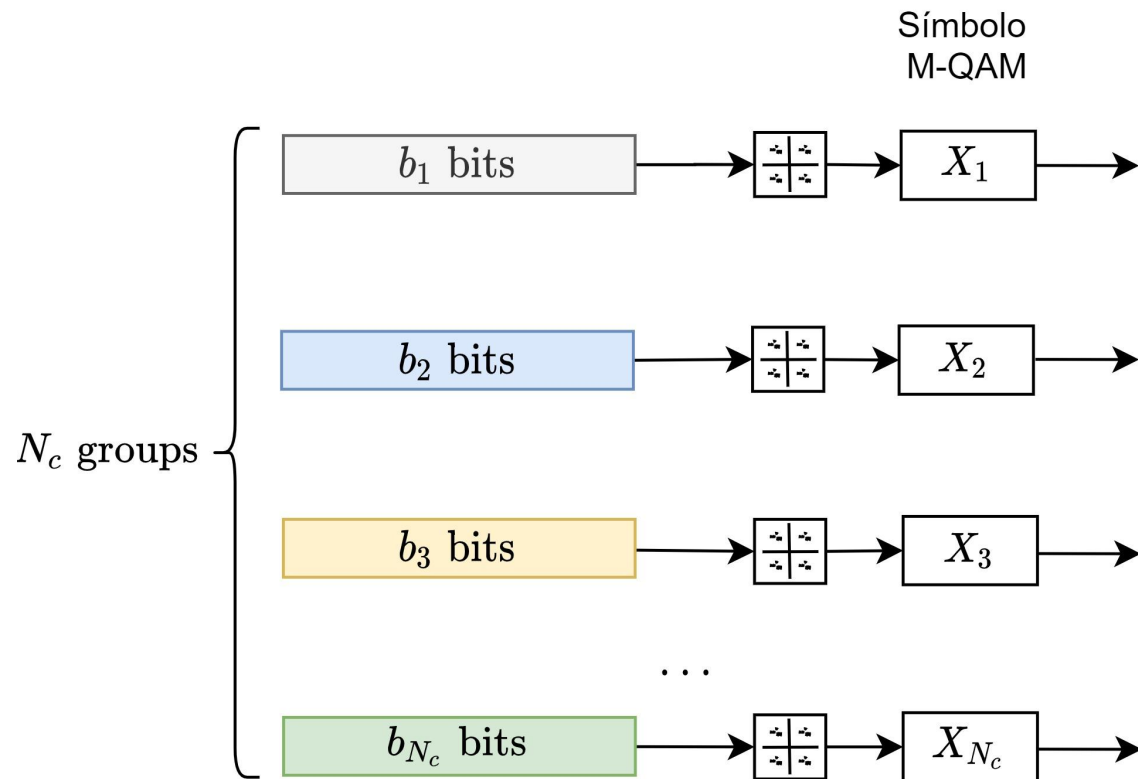
$N_c$  = numero de canais

$b_i$  = numero de bits no i-esimo canal

# Geração de sinais OFDM

1. Conversão série-paralelo do fluxo de bits de entrada;
2. Mapear os bits de cada subgrupo em uma constelação M-QAM;
3. Garantir a propriedade da simetria conjugada da sequência de pontos da constelação M-QAM para que uma série temporal derivada dessa sequência seja real;
4. Modular cada ponto de constelação gerado por uma diferente portadora:
  - a. As portadoras devem obedecer a ortogonalidade;
  - b. Do ponto de vista digital, essa modulação se dá por uma IDFT (eficiência com a IFFT);
  - c. Naturalmente a aplicação da IDFT vai gerar símbolos OFDM que contém  $N$  símbolos M-QAM;
5. Inserir o prefixo cíclico ao bloco de amostras do símbolo OFDM para mitigar os efeitos da ISI.

# OFDM: mapeamento da constelação

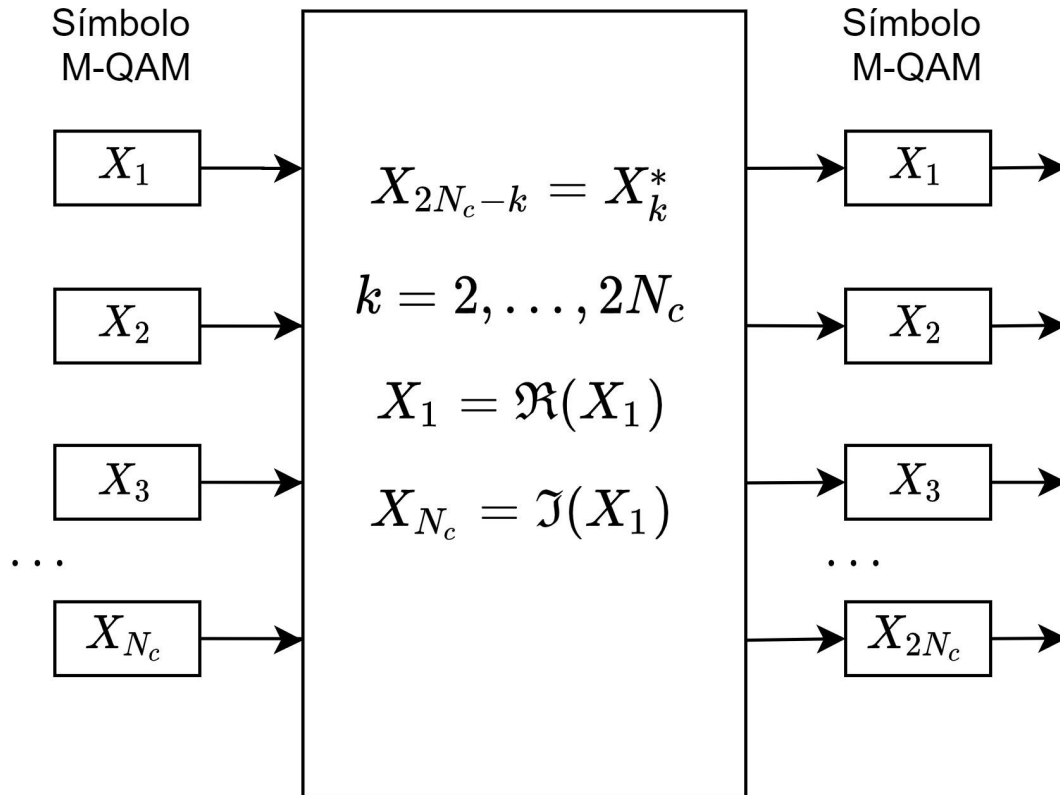


# Geração de sinais OFDM

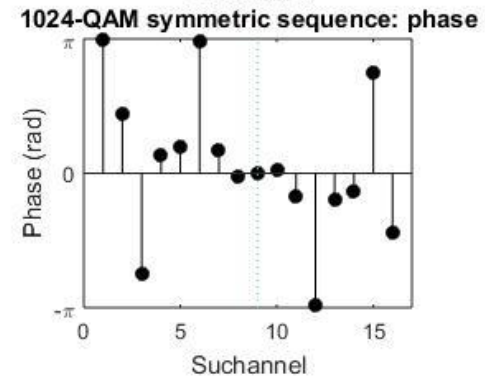
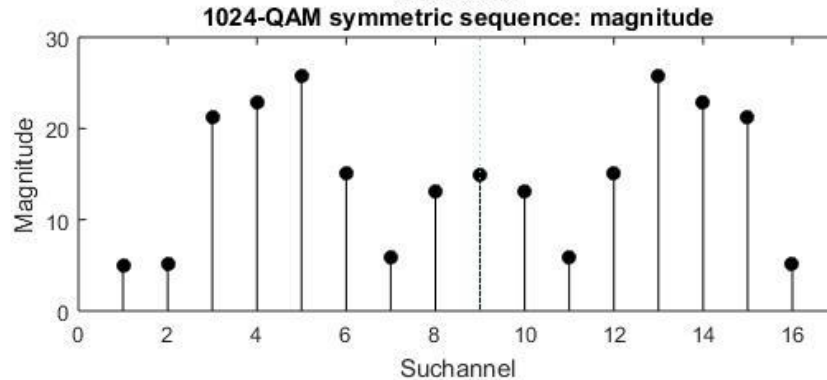
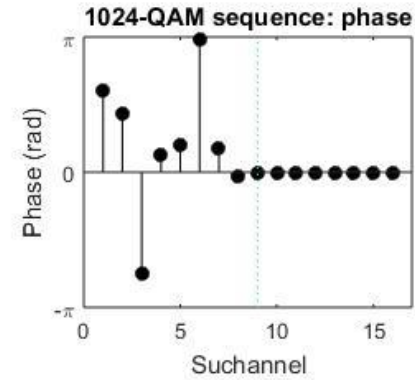
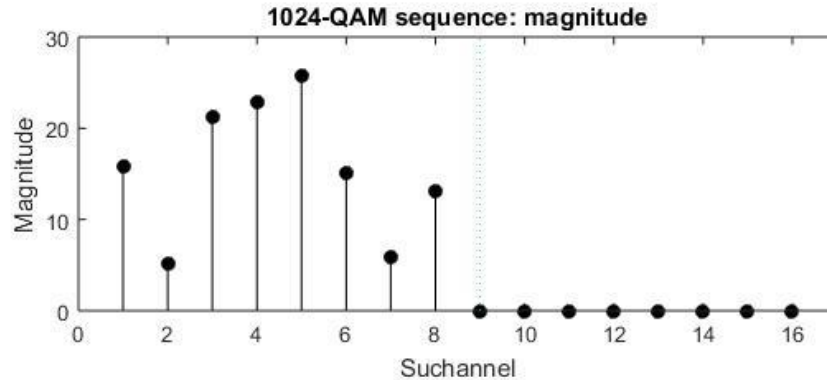
1. Conversão série-paralelo do fluxo de bits de entrada;
2. Mapear os bits de cada subgrupo em uma constelação M-QAM;
3. Garantir a propriedade da simetria conjugada da sequência de pontos da constelação M-QAM para que uma série temporal derivada dessa sequência seja real;
4. Modular cada ponto de constelação gerado por uma diferente portadora:
  - a. As portadoras devem obedecer a ortogonalidade;
  - b. Do ponto de vista digital, essa modulação se dá por uma IDFT (eficiência com a IFFT);
  - c. Naturalmente a aplicação da IDFT vai gerar símbolos OFDM que contém  $N$  símbolos M-QAM;
5. Inserir o prefixo cíclico ao bloco de amostras do símbolo OFDM para mitigar os efeitos da ISI.



# OFDM: garantindo simetria



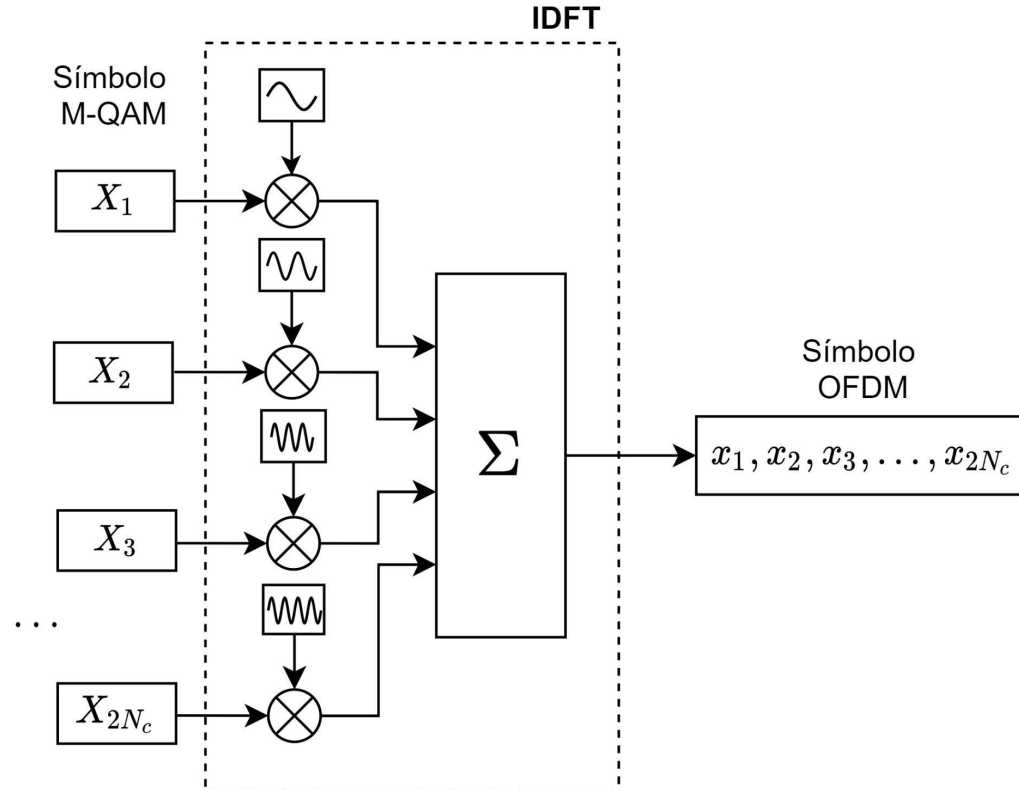
# OFDM: garantindo simetria



# Geração de sinais OFDM

1. Conversão série-paralelo do fluxo de bits de entrada;
2. Mapear os bits de cada subgrupo em uma constelação M-QAM;
3. Garantir a propriedade da simetria conjugada da sequência de pontos da constelação M-QAM para que uma série temporal derivada dessa sequência seja real;
4. Modular cada ponto de constelação gerado por uma diferente portadora:
  - a. As portadoras devem obedecer a ortogonalidade;
  - b. Do ponto de vista digital, essa modulação se dá por uma IDFT (eficiência com a IFFT);
  - c. Naturalmente a aplicação da IDFT vai gerar símbolos OFDM que contém  $N$  símbolos M-QAM;
5. Inserir o prefixo cíclico ao bloco de amostras do símbolo OFDM para mitigar os efeitos da ISI.

# OFDM: modulação com multi portadoras (IDFT)



## OFDM: modulação com multi portadoras (IDFT)

$$x_n = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=1}^{2N_c} X_k e^{j2\pi n(k-1)/(2N_c)}$$

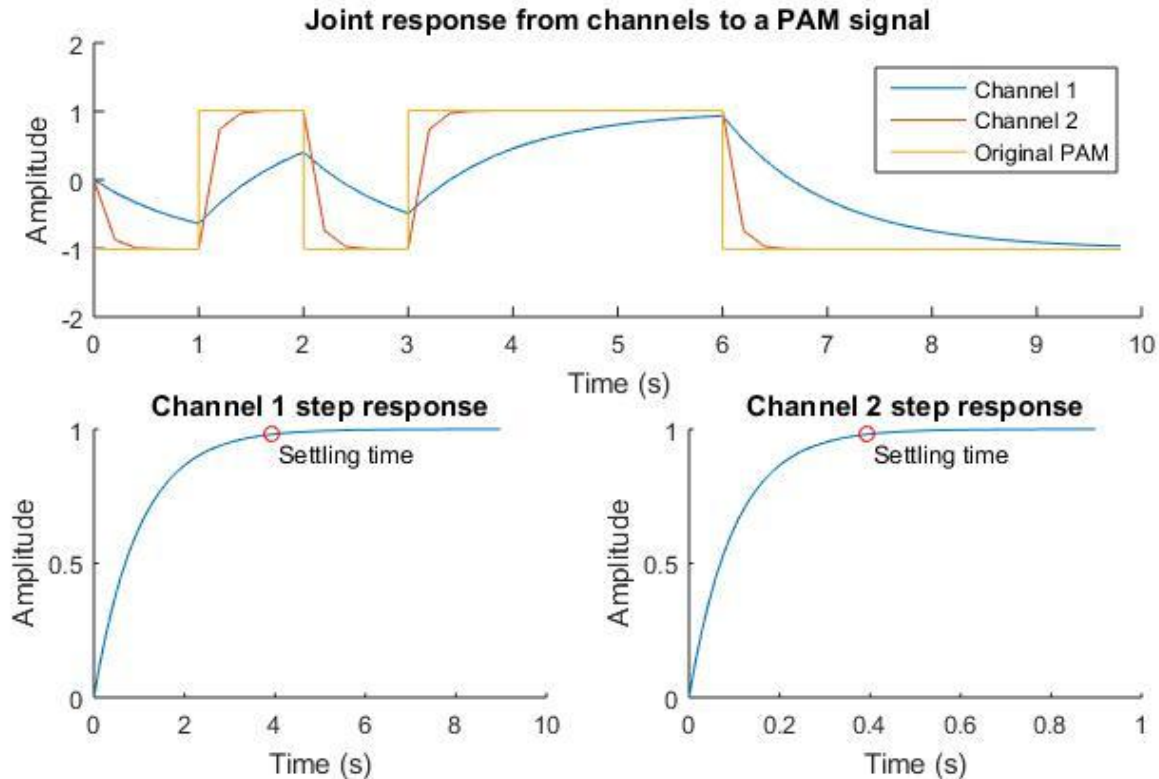
$$n = 0, 1, \dots, 2N_c - 1$$

$$\{x_n, 0 \leq n \leq 2N_c - 1\}$$

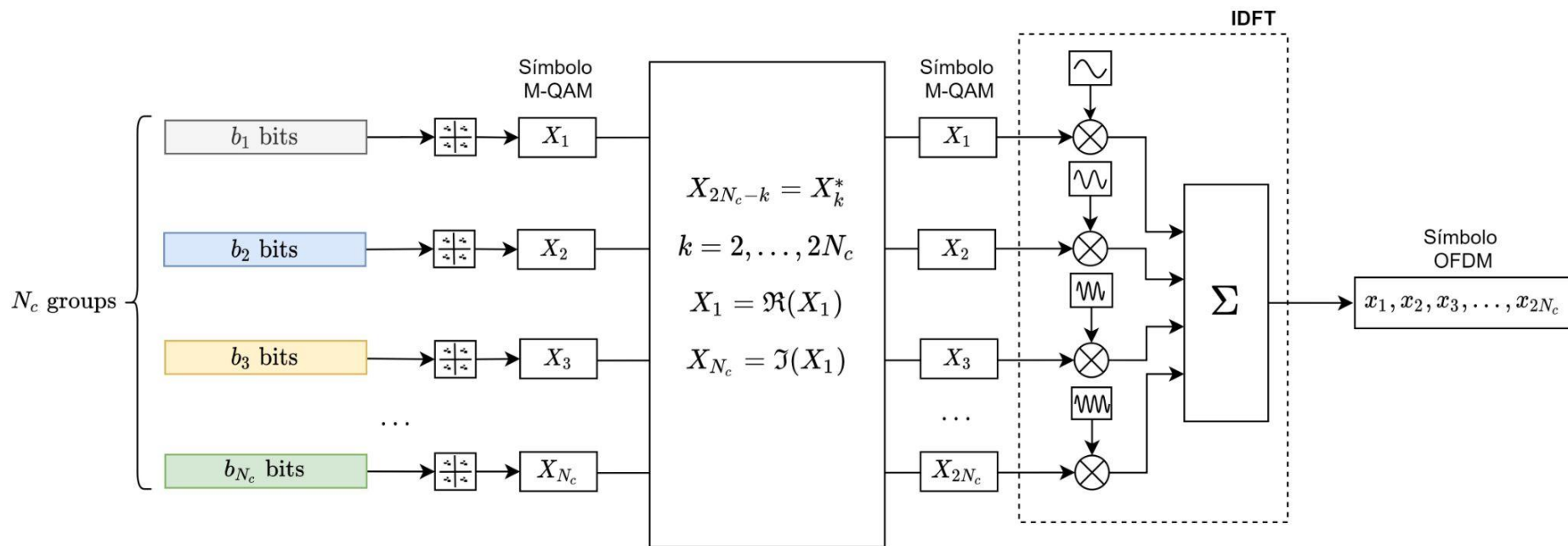
# Geração de sinais OFDM

1. Conversão série-paralelo do fluxo de bits de entrada;
2. Mapear os bits de cada subgrupo em uma constelação M-QAM;
3. Garantir a propriedade da simetria conjugada da sequência de pontos da constelação M-QAM para que uma série temporal derivada dessa sequência seja real;
4. Modular cada ponto de constelação gerado por uma diferente portadora:
  - a. As portadoras devem obedecer a ortogonalidade;
  - b. Do ponto de vista digital, essa modulação se dá por uma IDFT (eficiência com a IFFT);
  - c. Naturalmente a aplicação da IDFT vai gerar símbolos OFDM que contém  $N$  símbolos M-QAM;
5. Inserir o prefixo cíclico ao bloco de amostras do símbolo OFDM para mitigar os efeitos da ISI.

# OFDM: prefixo cíclico

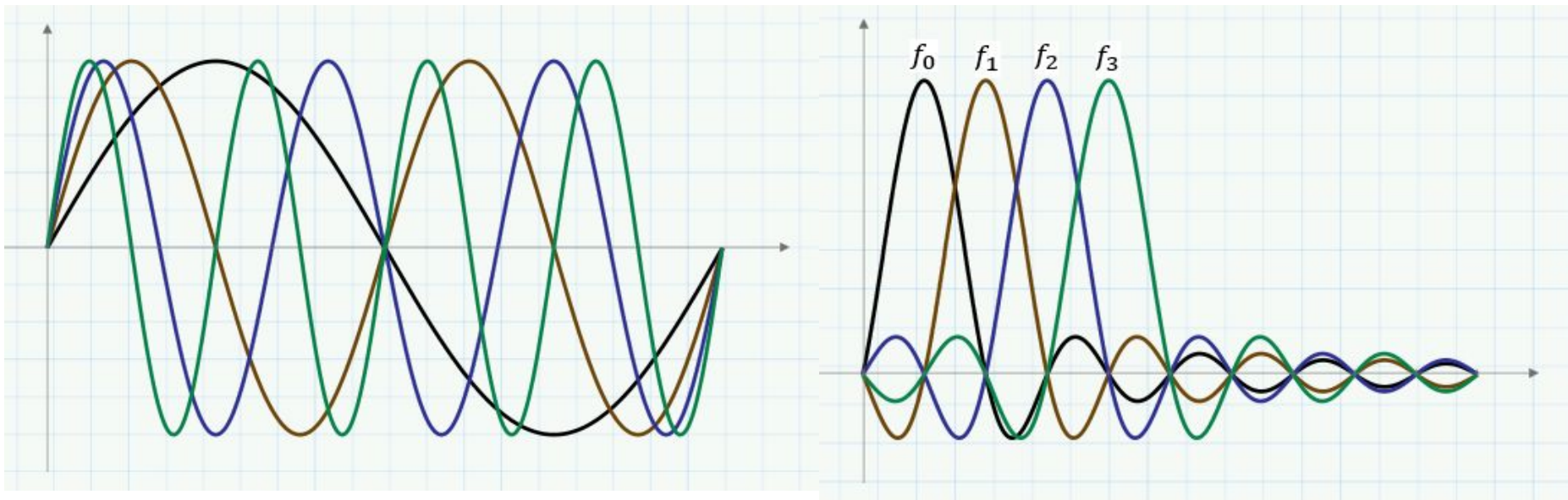


# OFDM: transmissor



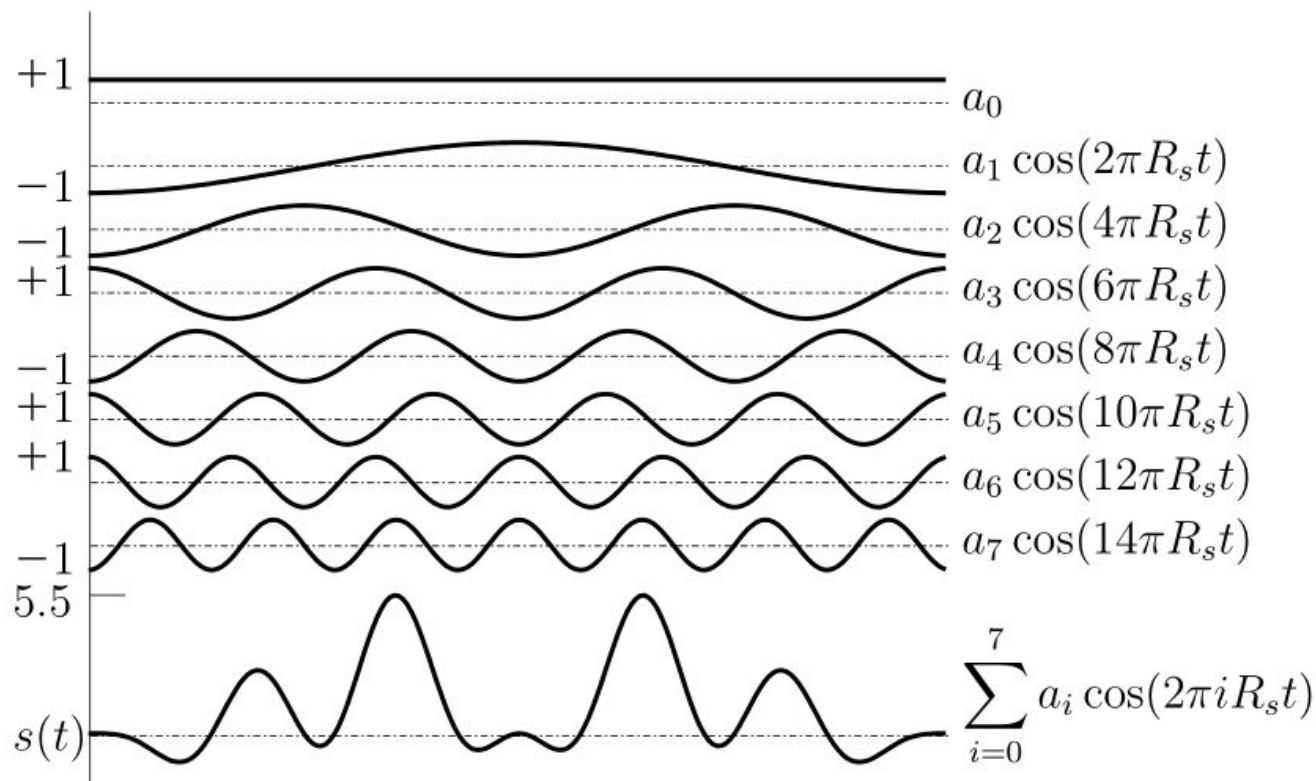


# Formas de onda



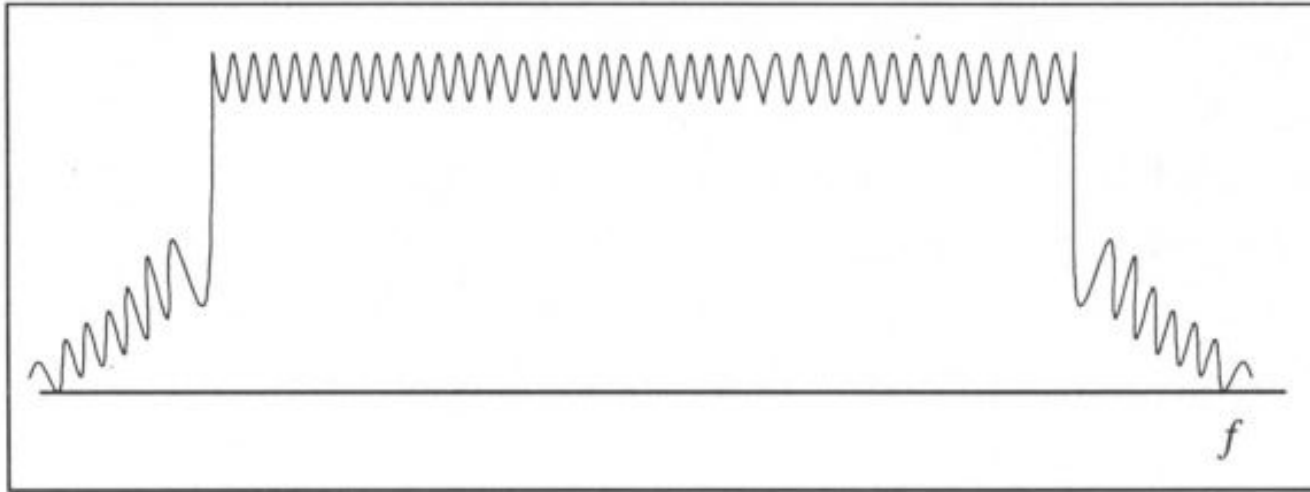
Forma de onda no tempo (esquerda) e espectro na frequência (direita) do sinal OFDM separado para 4 portadoras. Fonte: WITTE (2020).

# Formas de onda



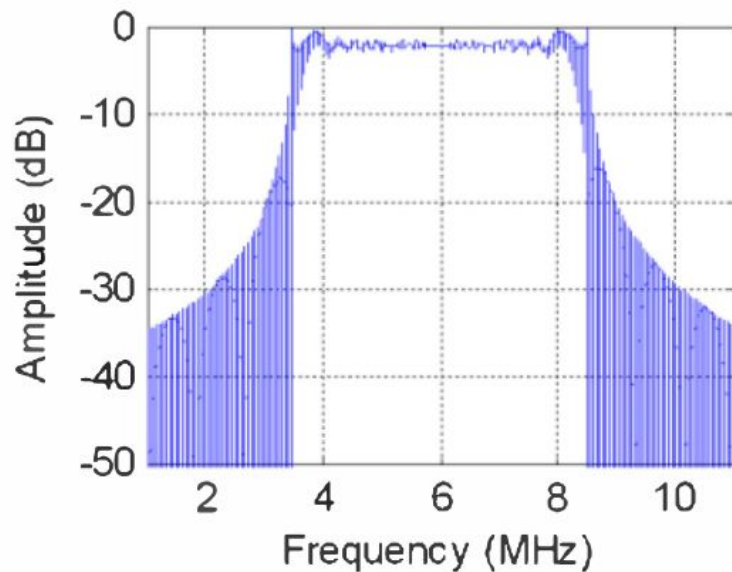
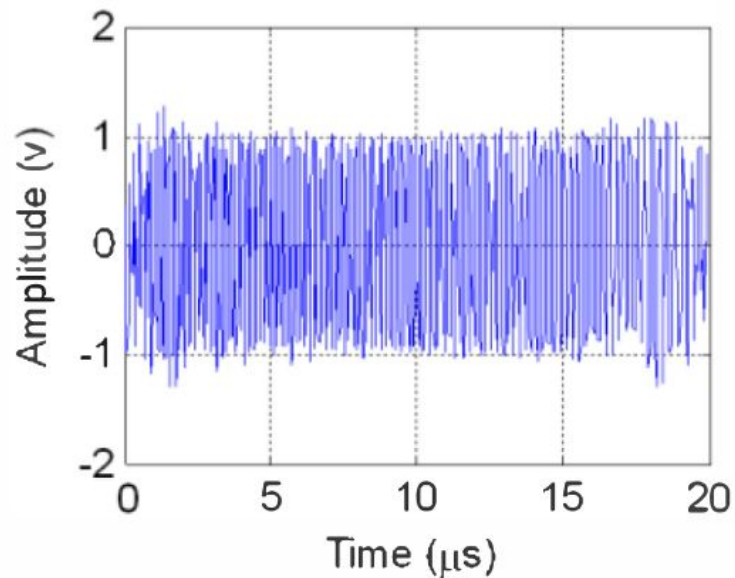
Formato típico das subportadoras e o sinal transmitido no sistema OFDM para  $M=8$ . Fonte: YANG (2009).

# Formas de onda



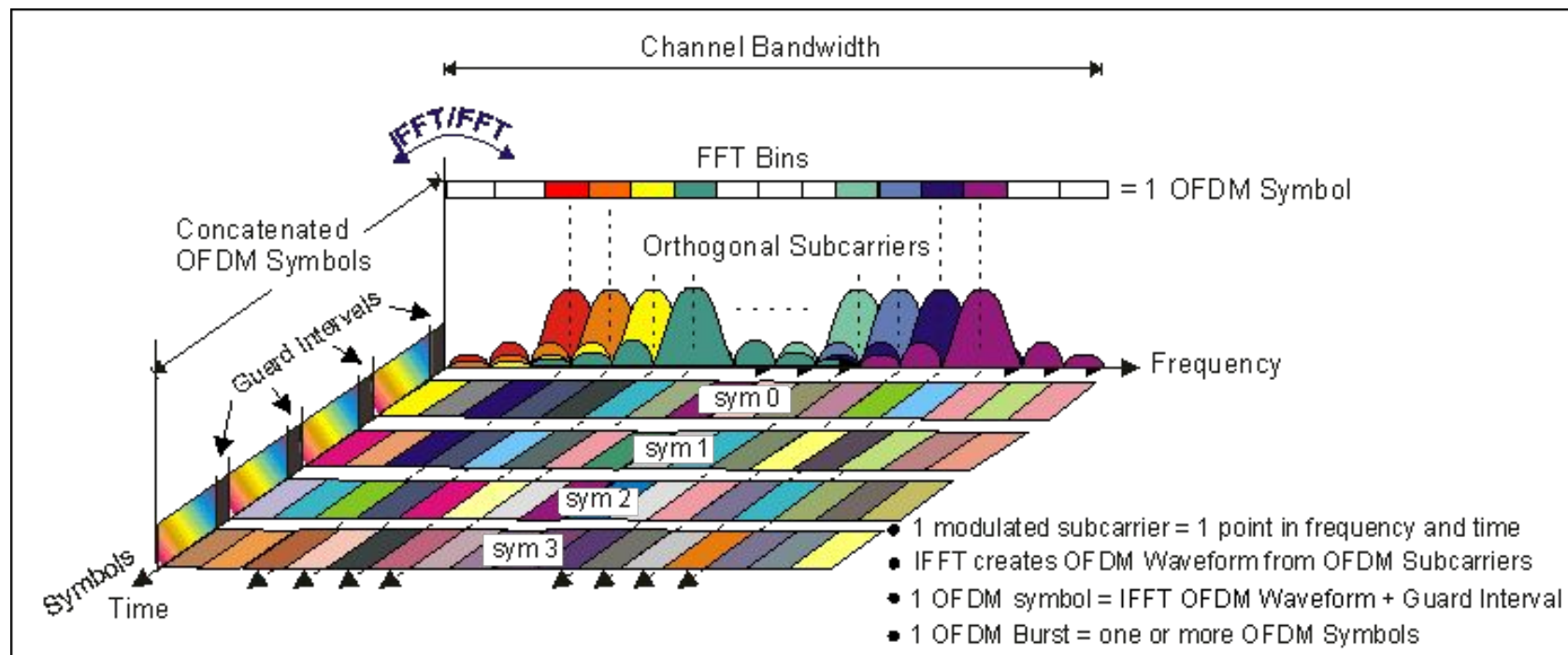
Espectro do sinal OFDM .Fonte: BAHAI (2004).

# Formas de onda



Sinal OFDM no tempo (esquerda) e espectro do sinal OFDM (direita). Fonte: CHENG (2014).

# Formas de onda



**Frequency-Time Representative of an OFDM signal**

Fonte: Keysight.

# Conclusões: vantagens e desvantagens do OFDM

- Vantagens:
  - Imunidade a desvanecimento seletivo;
  - Resiliente à interferência;
  - Resiliente à ISI (e IFI);
  - Resiliente a efeitos de banda estreita;
  - Eficiência espectral;
  - Equalização de canal simples.
- Desvantagens:
  - Alta PAPR (peak to average power ratio);
  - Sensível ao deslocamento da portadora e deriva.

# Referências

- Proakis, John G., et al. Communication systems engineering. Vol. 2. New Jersey: Prentice Hall, 1994.
- Bahai, Ahmad RS, Burton R. Saltzberg, and Mustafa Ergen. Multi-carrier digital communications: theory and applications of OFDM. Springer Science & Business Media, 2004.
- Yang, Lie-Liang. Multicarrier communications. John Wiley & Sons, 2009.
- Liu, Hui, and Guoqing Li. OFDM-based broadband wireless networks: design and optimization. John Wiley & Sons, 2005.
- Hara, Shinsuke, and Ramjee Prasad. Multicarrier techniques for 4G mobile communications. Artech House, 2003.
- Electronics Notes. What is OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing. Disponível em: <<https://www.electronics-notes.com/articles/radio/multicarrier-modulation/ofdm-orthogonal-frequency-division-multiplexing-what-is-tutorial-basics.php>>, acesso em 19 abr. 2021.
- Keysight. Concepts of Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) and 802.11 WLAN. Disponível em: <[http://rfmw.em.keysight.com/wireless/helpfiles/89600b/webhelp/subsystems/wlan-ofdm/Content/ofdm\\_basicprinciplesoverview.htm](http://rfmw.em.keysight.com/wireless/helpfiles/89600b/webhelp/subsystems/wlan-ofdm/Content/ofdm_basicprinciplesoverview.htm)>, acesso em 19 abr. 2021
- Bob Witte. The basics of 5G's modulation, OFDM. Disponível em: <<https://www.5gtechnologyworld.com/the-basics-of-5gs-modulation-ofdm/>>, acesso em 19 abr. 2021.
- Chi, Cheng, and Zhaohui Li. "Design of modulated excitation waveform based on OFDM signals for medical ultrasound imaging." 2014 12th International Conference on Signal Processing (ICSP). IEEE, 2014.