

# Curso: Engenharia de Computação

**Sistemas de Comunicações Móveis**

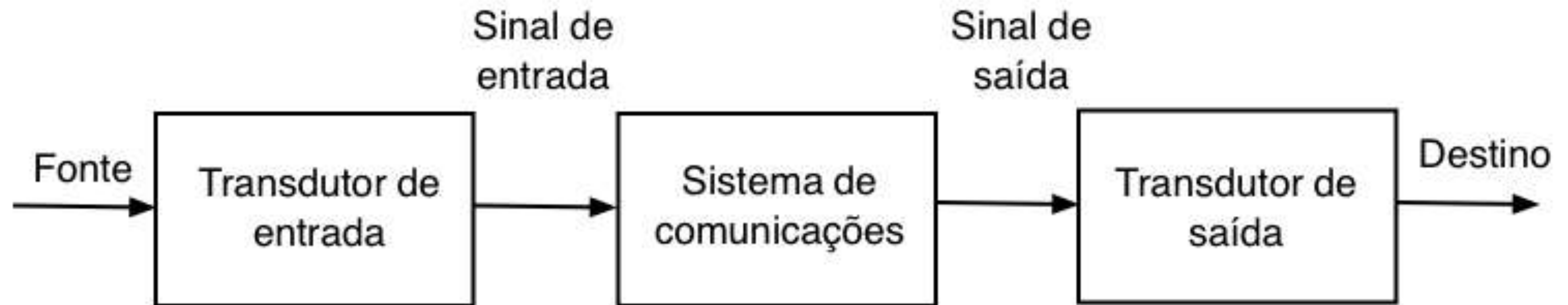
Prof. Clayton J A Silva, MSc  
clayton.silva@professores.ibmec.edu.br



# Informações e mensagens

- Mensagem: manifestação física da informação, produzida por uma fonte
- Objetivo do sistema de comunicações: reproduzir no destino de forma aceitável uma réplica da mensagem gerada pela fonte
- Transdutores e sinais elétricos

# Sistema de comunicações transdutores e sinais elétricos





# Uma revisão sobre o conceito de sinais

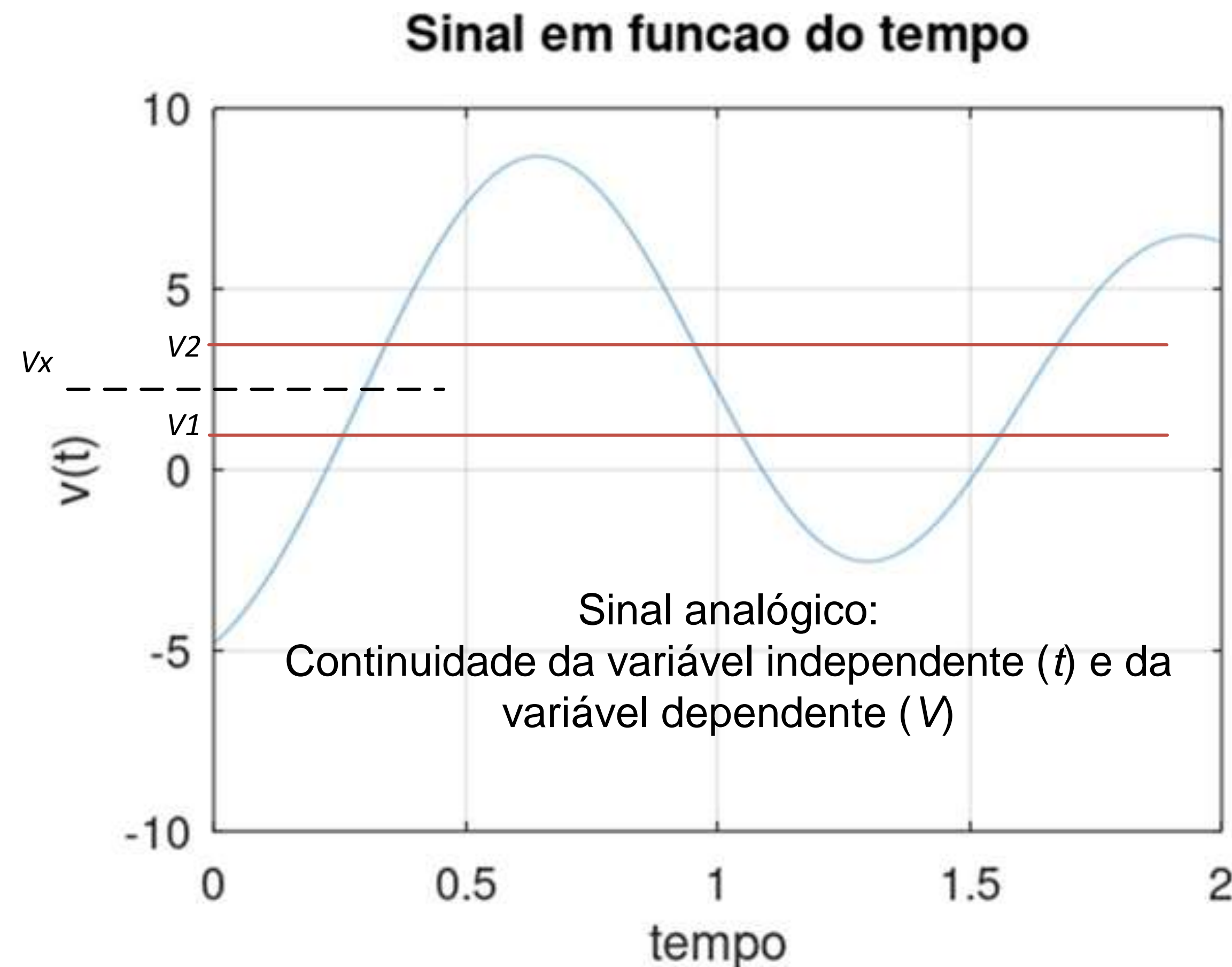




# Sinais analógicos

O sinal elétrico ( $x$ ) – variável dependente – pode ser descrito em função do tempo ( $t$ ) – variável independente:

$$x = f(t)$$



# Espectro de frequências

- A velocidade ou taxa da variação do sinal no tempo, medida em **hertz (Hz)**, é chamada de **frequência**
- Todo sinal  $x(t)$  pode ser representado por uma combinação linear de componentes que representa o seu **comportamento espectral**, ou seja, das suas componentes em frequência, chamada de **Transformada de Fourier**

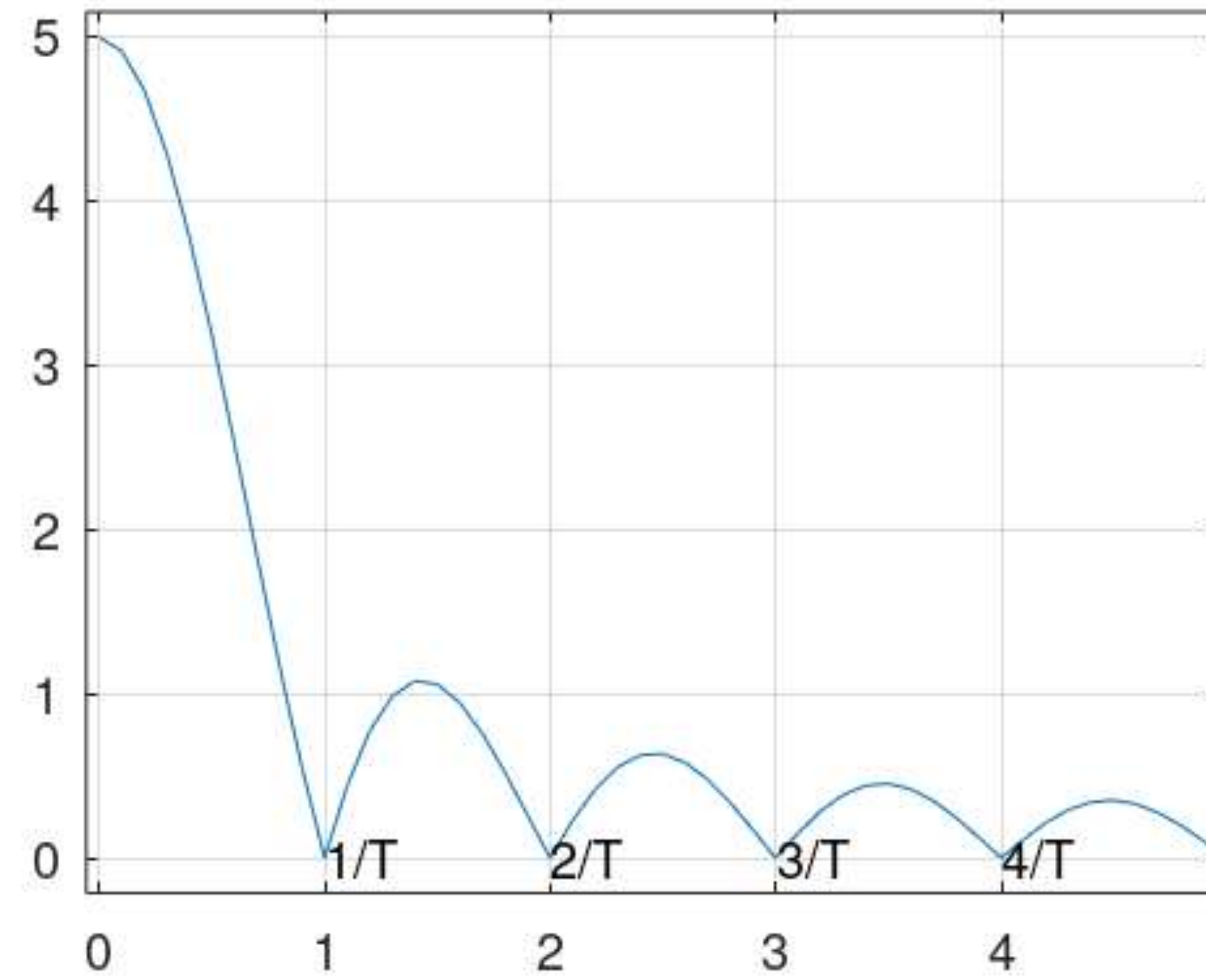
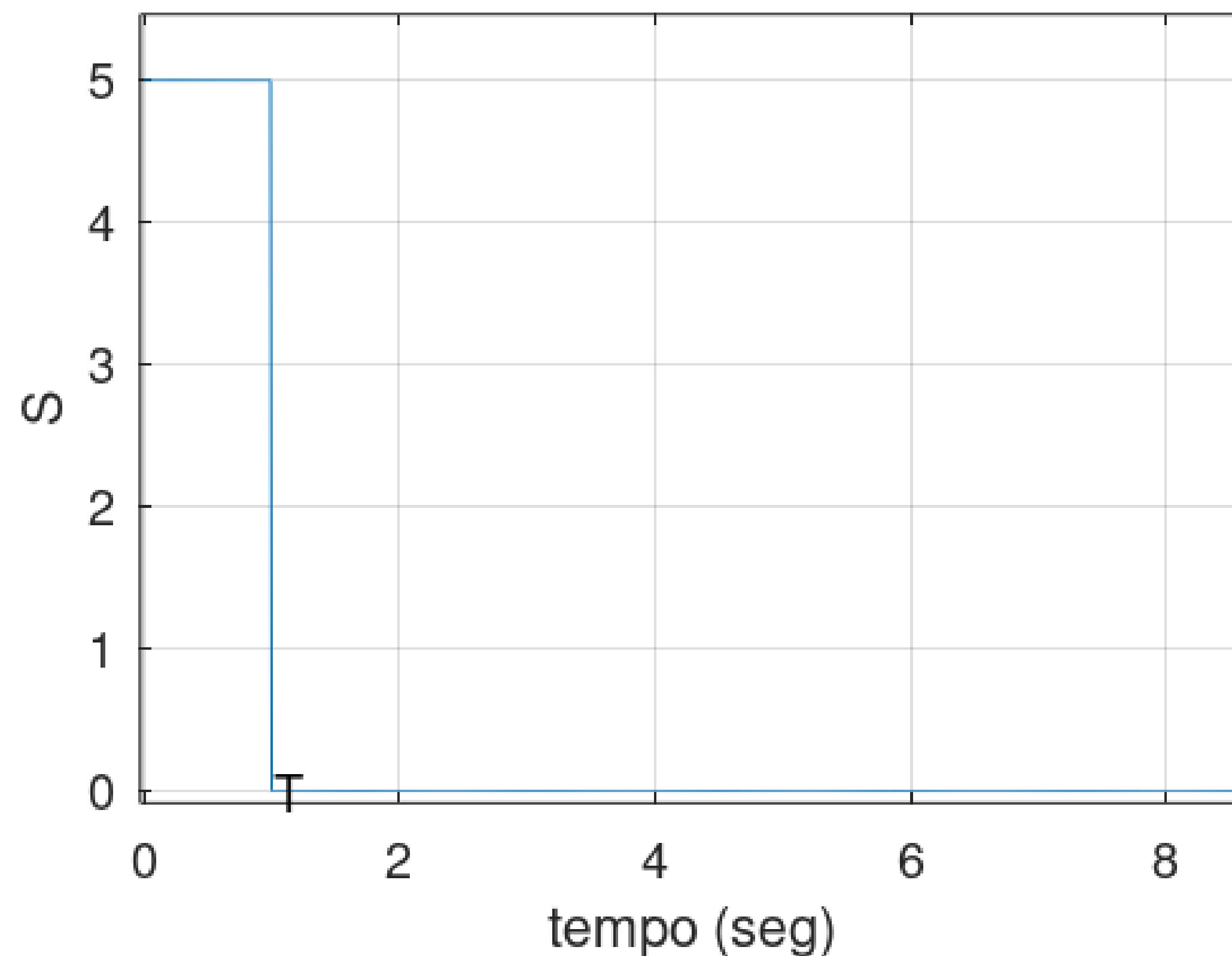
$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi f t} dt$$

, onde  $\omega = 2\pi f$  é a **frequência angular**

# Espectro de frequências

Exemplo: Transformada de Fourier de um sinal definido como pulso retangular

**Pulso retangular**

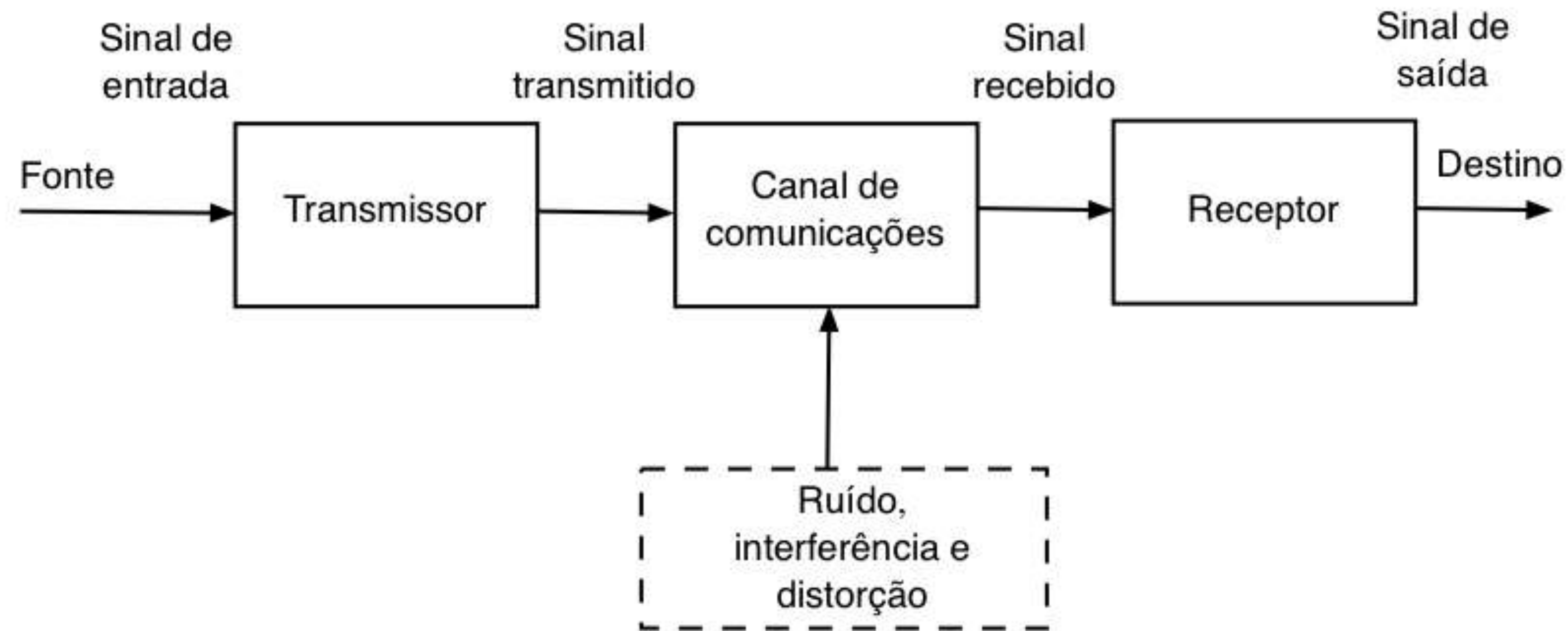


# Modelo do sistema de comunicações

---



# Modelo do Sistema de Comunicações



# Elementos

- **Transmissor:** processa o sinal de entrada para produzir o sinal transmitido, que deve ser **condicionado** para o canal de comunicações
  - **Canal de comunicações:** meio elétrico que estabelece a ponte entre a **fonte** e o **destino**. Pode ser um par trançado, cabo coaxial ou o **espaço aéreo** – comunicações móveis
  - **Efeitos indesejados** que modificam o sinal<sup>(\*)</sup>: (i) **atenuação** ; (ii) **distorção**; (iii) **interferência** e (iv) **ruído**.
- (\*) Embora a contaminação possa ocorrer em qualquer ponto, a convenção padrão é modelar esses efeitos no canal de comunicações.
- **Receptor:** opera sobre o sinal recebido, em preparação para entregar o sinal ao transdutor de saída.



# Efeitos indesejados sobre o sinal transmitido

- **Atenuação:** redução da potência do sinal.
- **Distorção:** perturbação causada pela **resposta imperfeita** do sistema em relação ao sinal desejado.
- **Interferência:** **contaminação** por sinais externos provocada por fontes humanas – outros transmissores, linhas de potência e maquinaria etc. Interferência quase sempre ocorre em **sistemas de radiocomunicações** – ou seja, que utilizam a transmissão pelo espaço.
- **Ruídos:** sinais elétricos **aleatórios e imprevisíveis** produzidos por processos naturais internos e externos ao sistema. O ruído constitui uma **limitação fundamental** do sistema.

# Resposta do canal

- A função de transferência ou resposta do canal,  $H(f)$ , reflete as características do canal e se relaciona com o sinal transmitido  $X(f)$  por

$$H(f) = \frac{Y(f)}{X(f)}$$

, onde  $Y(f)$  representa o sinal recebido.

- No domínio do tempo,  $h(t) = x(t) * y(t)$ , onde o operador  $*$  representa a operação chamada de **convolução**,  $h(t)$  representa a resposta do canal.



# Resposta do canal

- A relação entre os sinais de transmitido e recebido  $Y(f)/X(f)$  permite interpretar a função de transferência como o **ganho** ( $G$ ) do sinal proporcionado pelo canal.
- O ganho pode ser analisado em valores absolutos em **decibéis (dB)**, dado por

$$H_{dB} = G_{dB} = 10 \log[H(f) \cdot H^*(f)]$$

# Limitações fundamentais

- As limitações fundamentais são **inerentes ao sinal** que transporta a mensagem **e ao canal** de comunicações.
- **Largura de banda:** limitação do canal para acomodar as variações do sinal transmitido com tempo, ou seja, acomodar o espectro do sinal. O canal de comunicações possui uma **largura de banda limitada  $B$** , que limita a variação do sinal.
- **Ruído:** O movimento aleatório das cargas elétricas gera uma corrente ou tensão aleatórias, chamadas de **ruído térmico**. A medida do ruído em relação à informação é definida pela **razão sinal ruído  $S/N$** . A  $S/N$  muitas vezes é estabelecida também em decibéis.



# Limitações fundamentais

- A taxa de transmissão da informação não pode exceder a capacidade do canal,  $C$ , dada por

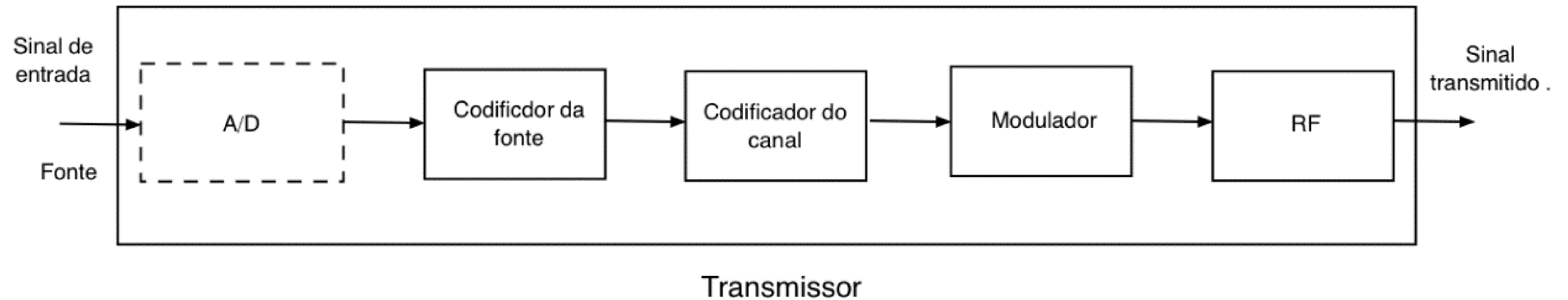
$$C = B \cdot \log\left(1 + \frac{S}{N}\right)$$

# Modelo do transmissor

---

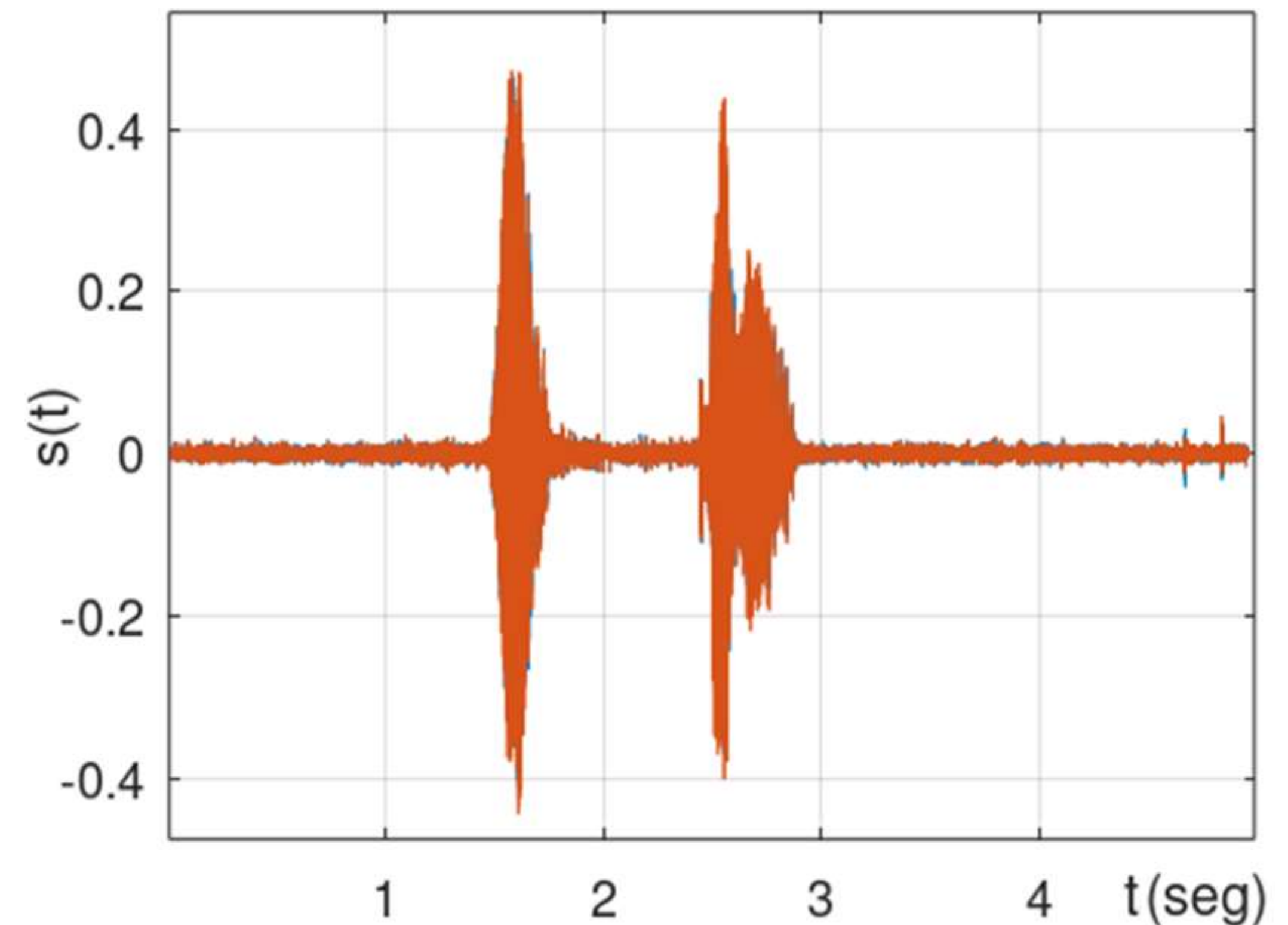


# Transmissor

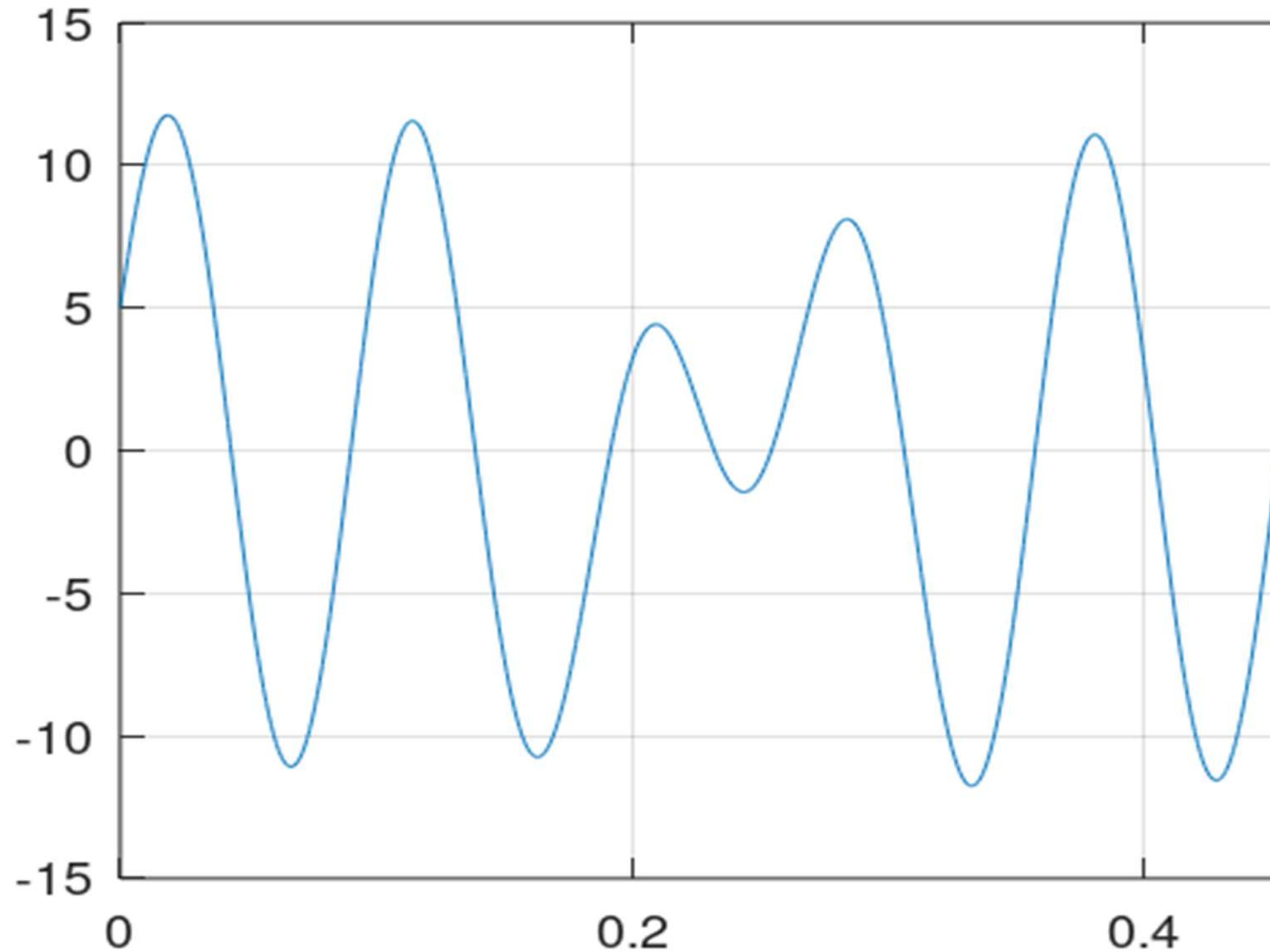


# Sinal de entrada

- A fonte gera mensagens que têm a forma de **funções contínuas de tempo** ou **fluxos de símbolos discretos**.
- Um exemplo de mensagem contínua é a forma de onda que caracteriza a **voz**. Para enviar o sinal de voz através do sistema de comunicação digital, o sinal deve ser **discretizado** no tempo e suas amostras devem ser **quantizadas**.

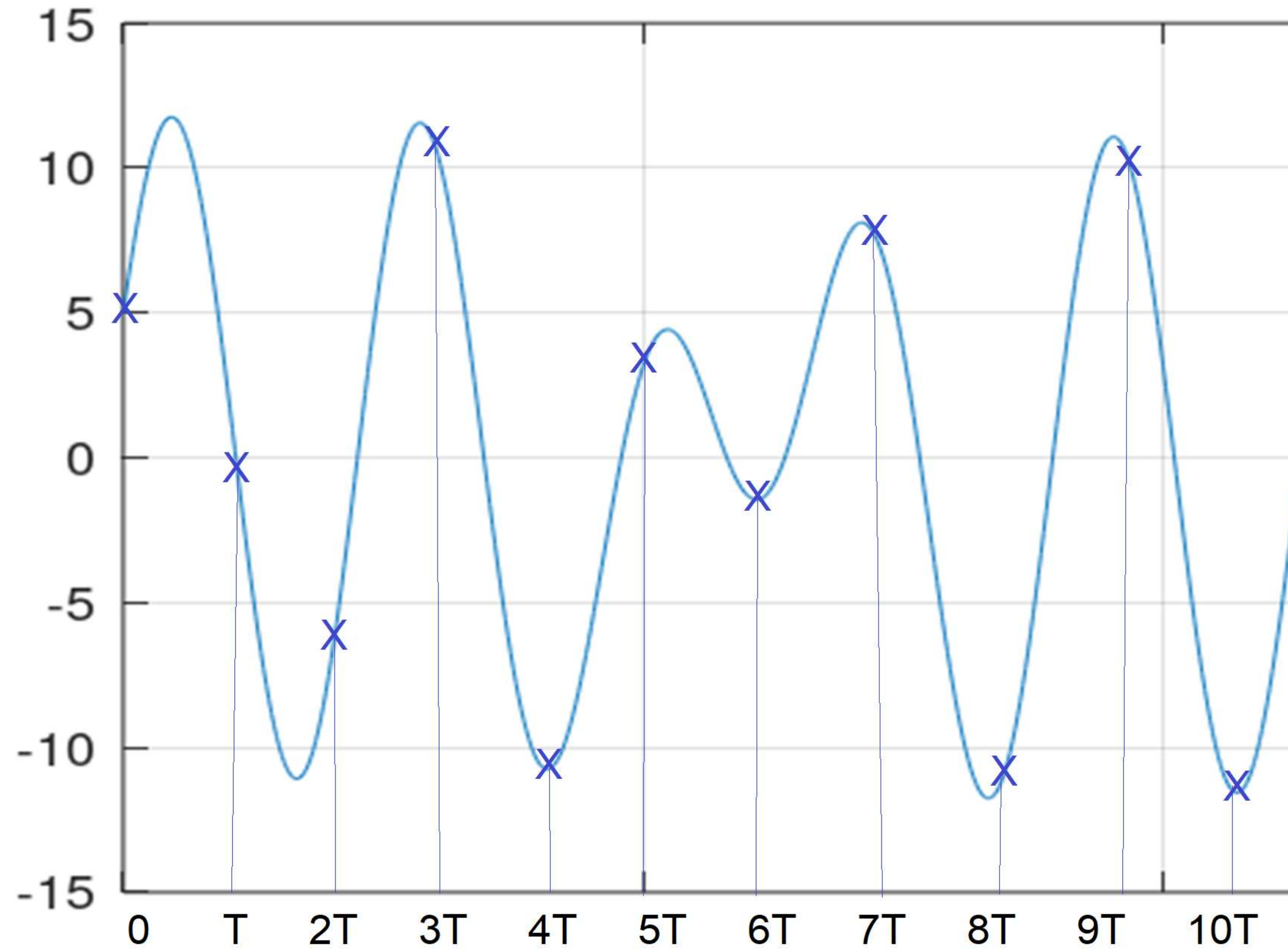


# Conversão analógico- digital (A/D)

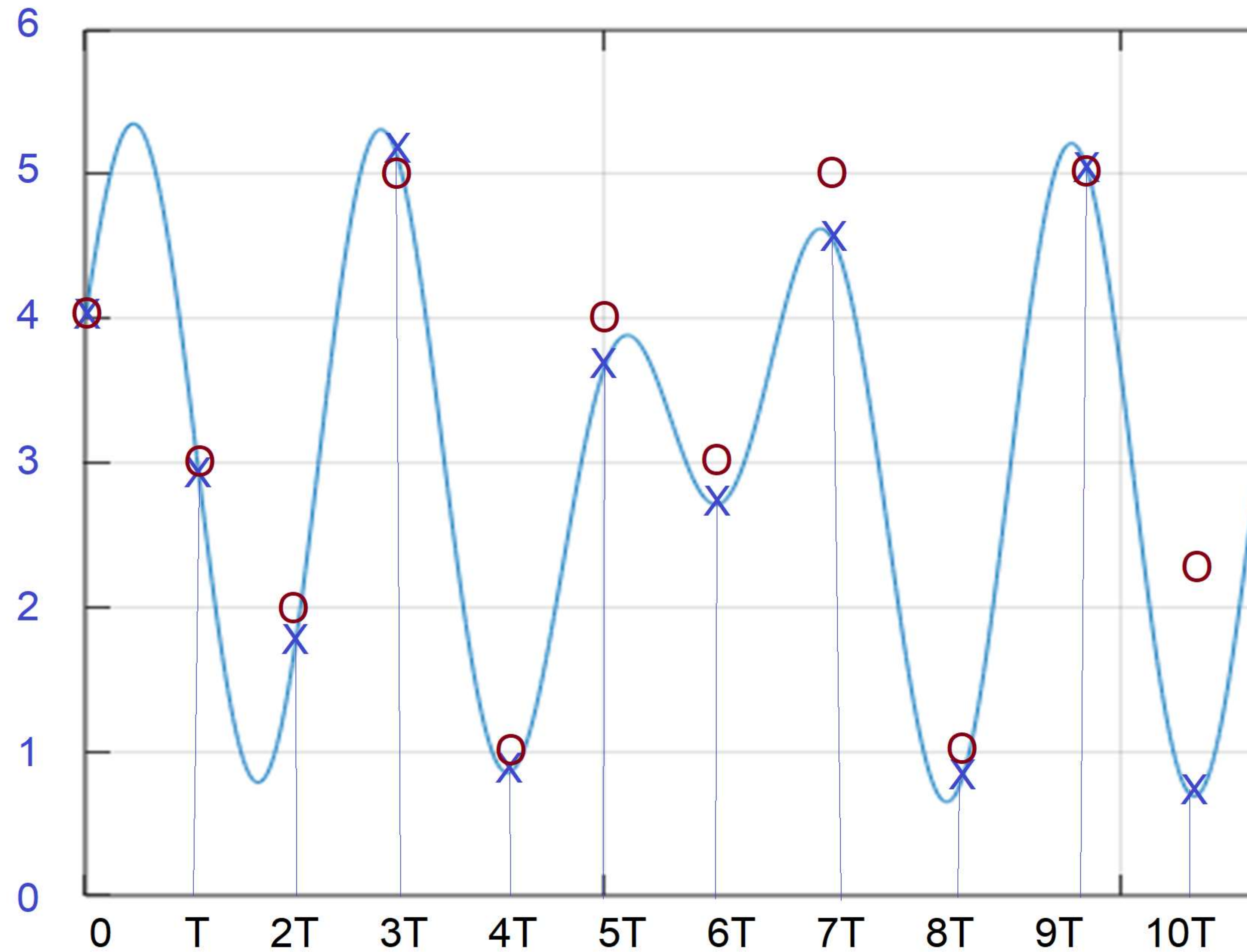




# Conversão analógico-digital (A/D)

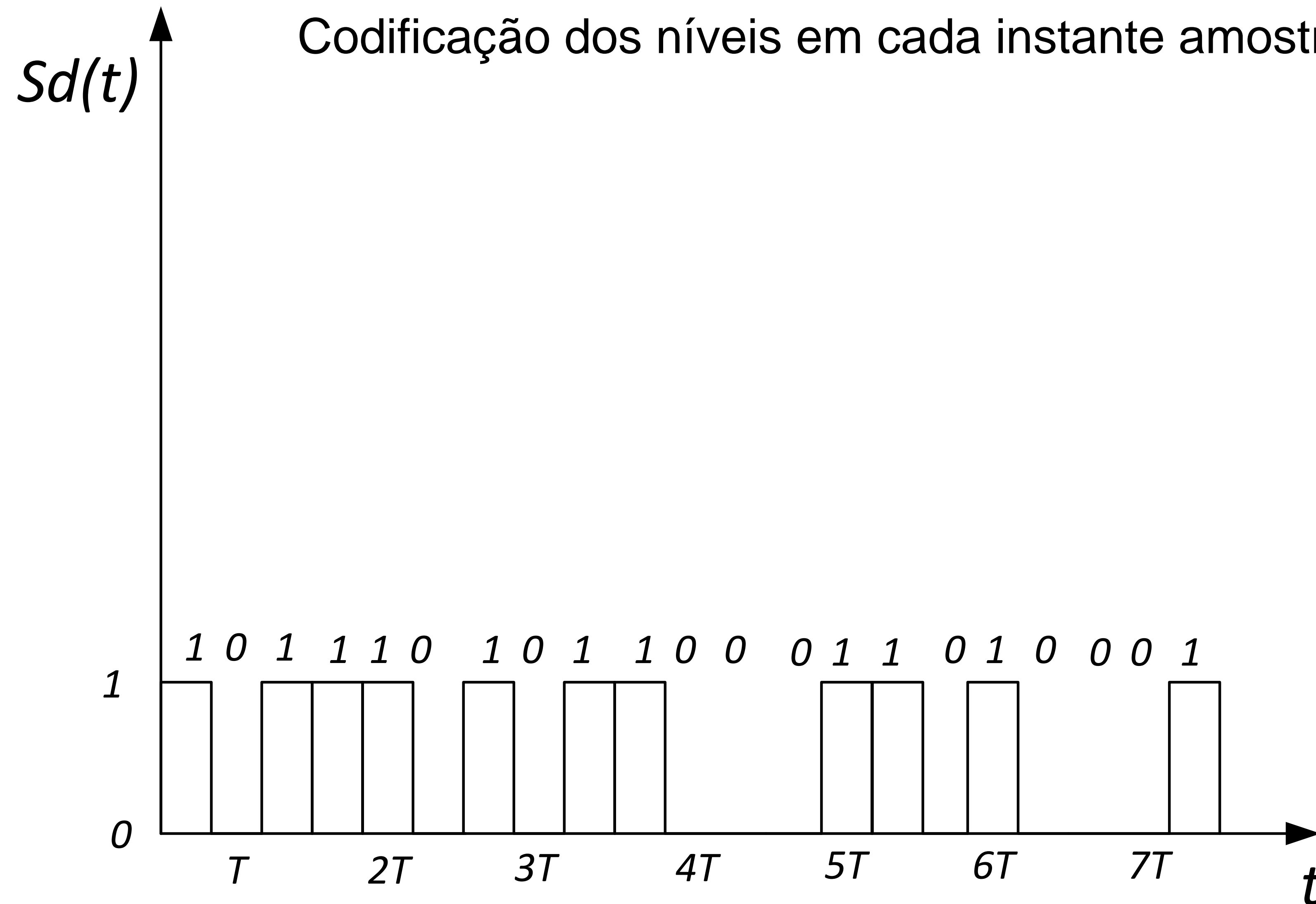


# Conversão analógico-digital (A/D)



# Sinal digital

Codificação dos níveis em cada instante amostrado

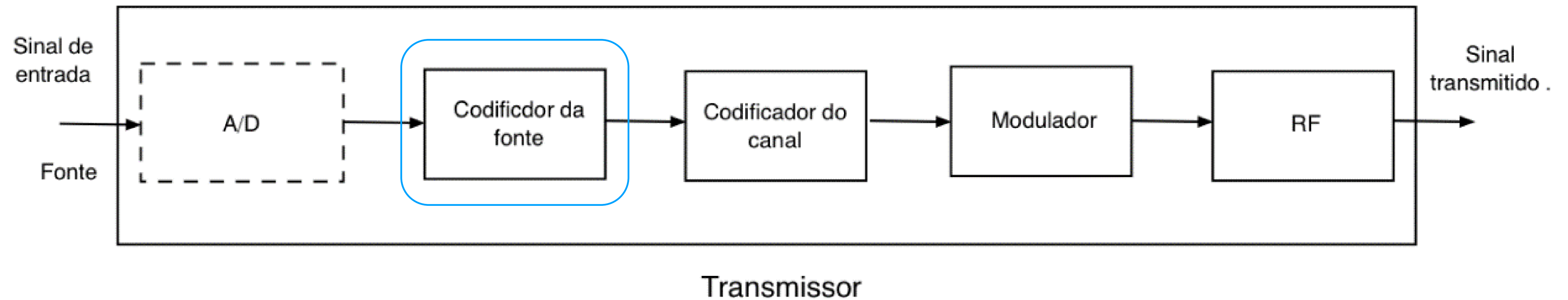




# Sistemas analógicos e digitais

Os sistemas de comunicações podem ser **analógicos** ou **digitais** – o sinal de entrada pode ser analógico ou digital. O projeto do transmissor e do receptor depende do tipo do sinal analógico ou digital de entrada.

# Transmissor

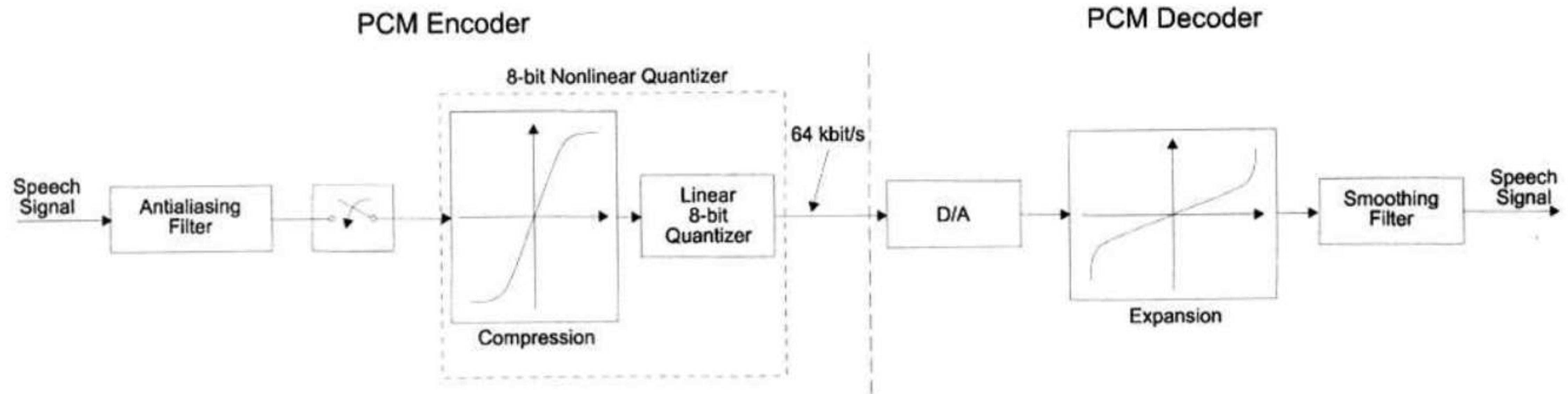


# Codificador da fonte

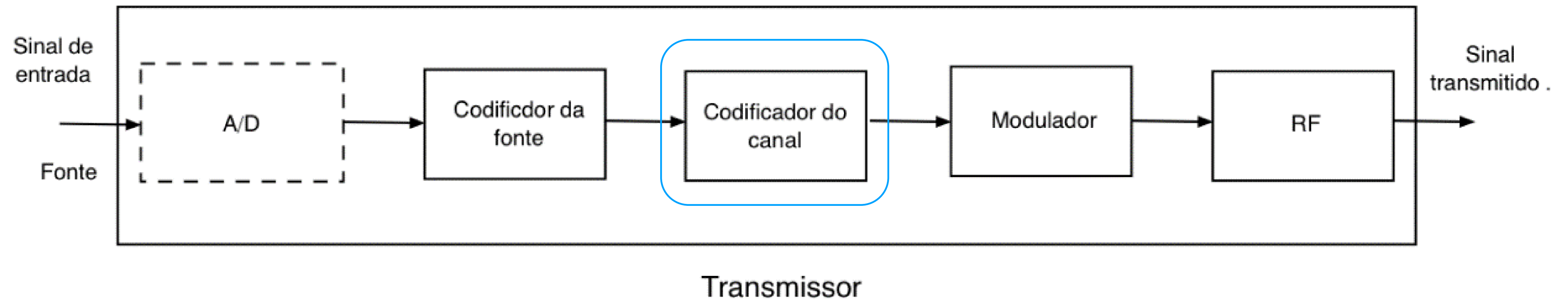
- Para a transmissão ser eficiente e confiável o transmissor precisa ainda realizar operações de **codificação do canal, codificador da fonte e modulação**.
- A **codificação da fonte** é uma operação de processamento de símbolos para melhorar a comunicação quando a informação é digital ou pode ser aproximada na forma de símbolos discretos. Transforma uma mensagem digital em uma nova sequência de símbolos.



# Codificador de fonte – exemplo: *PCM (Pulse Code Modulation)*



# Transmissor

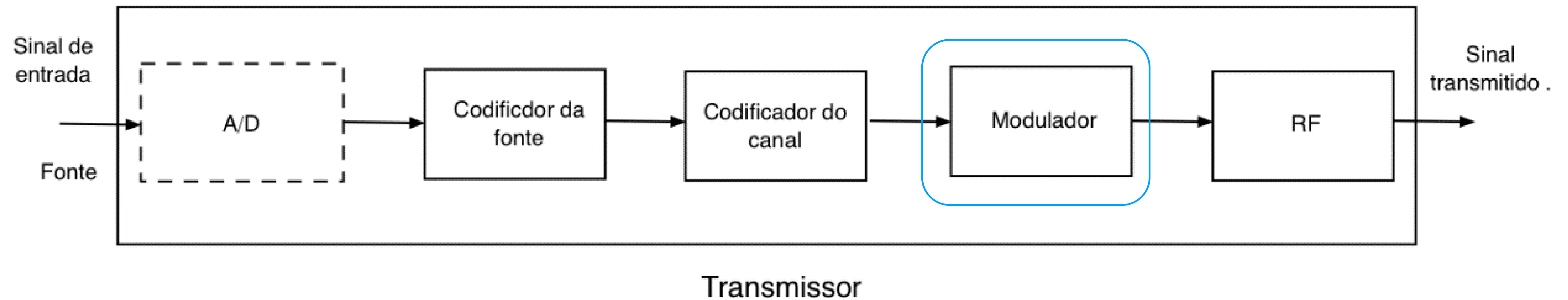


# Codificador de canal

- A codificação de canal é o processo através do qual o transmissor adiciona **redundância controlada** à informação de modo a permitir a **detecção** e a **correção** de erros.
- Dependendo do número de bits adicionados, os códigos de canal podem permitir a correção de erros na transmissão ou somente a detecção dos erros ocorridos.
- Existem duas grandes famílias de códigos detetores e corretores de erros: os **códigos de bloco** e os **convolucionais**.



# Transmissor



# Modulação

- O **modulador** é um bloco que gera um sinal para o módulo de RF, em que um dos parâmetros, como **frequência**, **amplitude** e/ou **fase**, de um sinal chamado de **portadora** é alterado em função do sinal da saída do codificador da fonte, chamado de **sinal modulante**.
- Portanto, a modulação envolve **duas formas de onda**: o **sinal modulante**, que representa a mensagem; e a **portadora** que se ajusta ao sinal modulante para ser transmitido.
- O sinal modulado transporta a informação, que é colocada na parte apropriada do **espectro**, com propriedades espectrais adequadas para ser encaminhada pelo canal de comunicações.
- As características espectrais do sinal modulado devem **minimizar a distorção dos sinais transmitidos por usuários na vizinhança do espectro**. Devem também **garantir o maior número possível de usuários na faixa de frequência atribuída**.

# Modulação

- Existem vários benefícios para a comunicação quando o transmissor modula a mensagem: (1) assegurar a transmissão eficiente; (2) superar as limitações de hardware; (3) reduzir ruído e interferência; (4) definir a frequência; (5) multiplexação de sinais.
- Assegurar transmissão eficiente: a transmissão depende de antenas cujas **dimensões** precisam ter pelo menos **1/10 do comprimento de onda do sinal**. O comprimento de onda é definido pela **relação  $\lambda = c/f$** , onde  $c$  é a velocidade da luz no vácuo (300.000 km/seg) e  $f$  é a frequência de transmissão.

# Modulação

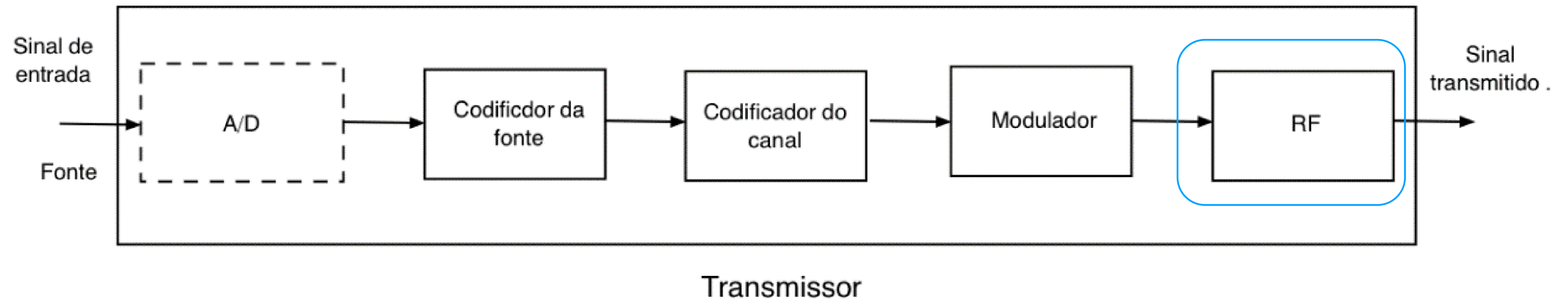
- Superar as limitações de hardware: a modulação permite que o projetista posicione o sinal em uma frequência que evita as limitações de hardware. Uma questão particular se refere à largura de **banda fracional**, definida como a banda absoluta do sinal dividida pelo centro da frequência,  $\Delta f = B/f_c$ .
- Os custos e as complicações de implementação são minimizados se a **banda fracional** é colocada entre 1 a 10%.



# Modulação

- Superar as limitações de hardware: a modulação permite que o projetista posicione o sinal que evita as limitações de hardware. Uma questão particular se refere à largura de **banda fracional**, definida como a banda absoluta dividida pelo centro da frequência,  $\Delta f = B/f_c$ .
- Os custos e as complicações de implementação são minimizados se a **banda fracional** é colocada entre 1 a 10%.

# Transmissor



# RF

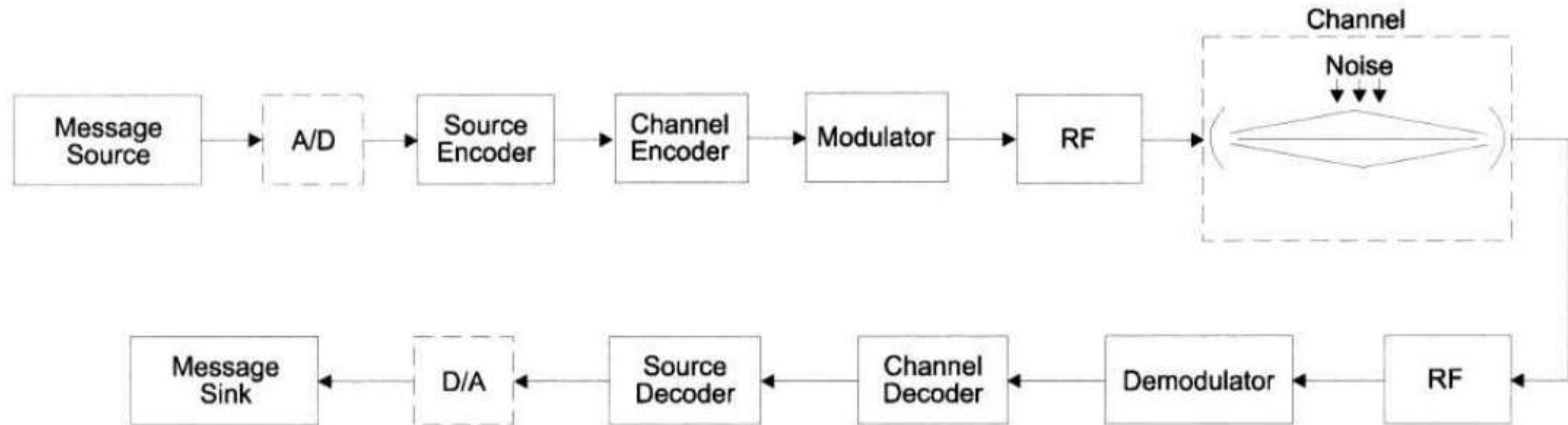
- O módulo de RF opera na faixa de frequências de radiocomunicações e **amplifica** o sinal de rádio ao nível requerido.
- A largura de banda do sinal depende da modulação selecionada e o **método de acesso múltiplo aplicado**.
- Em sistemas de comunicação móvel, o transmissor emite o sinal para o espaço usando a antena. As características da transmissão dependem fortemente das **antenas (transmissão e recepção)**, em particular de sua **diretividade e ganho**. Os parâmetros das antenas determinam o **alcance** do sistema e seu **desempenho**.

# Modelo detalhado do sistema de comunicações

---



# Modelo detalhado do Sistema de Comunicações





IBMEC.BR

 /IBMEC

 IBMEC

 @IBMEC\_OFICIAL

 @IBMEC

 **ibmec**