

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

Centro Tecnológico

Departamento de Engenharia Elétrica

# Comunicação Digital

**Análise de Sinais: Conversão A/D**  
**Semestre Letivo 2020/1**

**Prof.: Jair A. Lima Silva**

**PPGEE/DEL/UFES**

## **I. Conversão A/D**

- a. Amostragem
- b. Quantização
- c. Codificação

## **II. Codificação PCM**

## **III. Outras Codificações**

- a. PWM, PPM e DM

## **IV. Conversão D/A**

# I. Conversão Analógico/Digital

## Ponto de Partida

A transformação de um sinal analógico em um sinal digital passa pelos seguintes processos:

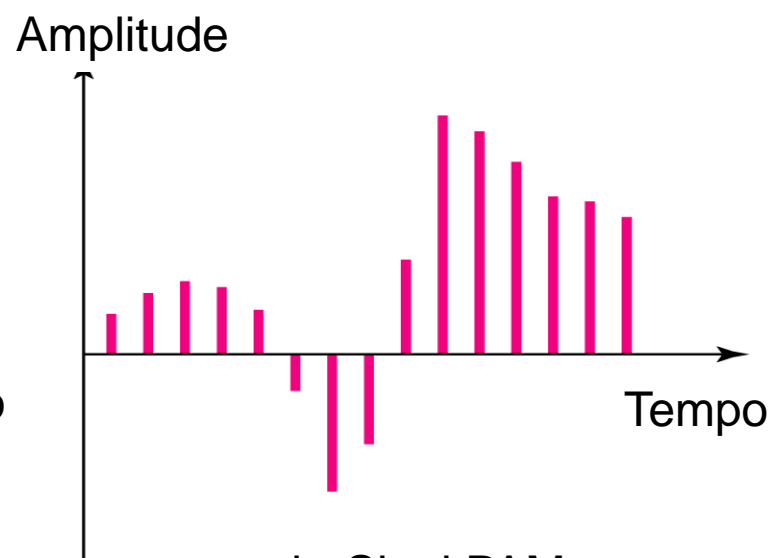
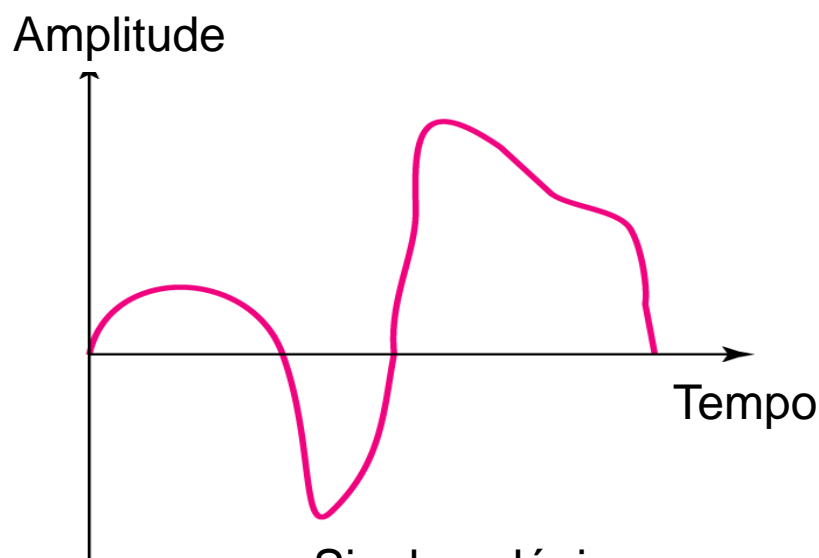
- i. Amostragem
- ii. Quantização
- iii. Codificação



# I. Conversão Analógico/Digital

## a. Amostragem

O processo de amostragem mais utilizado e recomendado em conversores A/D é o **PAM** (*Pulse Amplitude Modulation*). Neste processo o sinal analógico é discretizado tomando amostras de sua amplitude em intervalos de tempo definidos.



# I. Conversão Analógico/Digital

## a. Amostragem

- Todo sinal antes de ser amostrado passa por um **filtro passa-faixa**. Este procedimento é necessário para se evitar que frequências indesejáveis sejam inseridas no processo de digitalização do sinal.
- Um filtro passa baixas com frequência de corte igual a 4 kHz é normalmente utilizado no processamento de **sinais de voz**.

## a. Amostragem

### Teorema de Nyquist

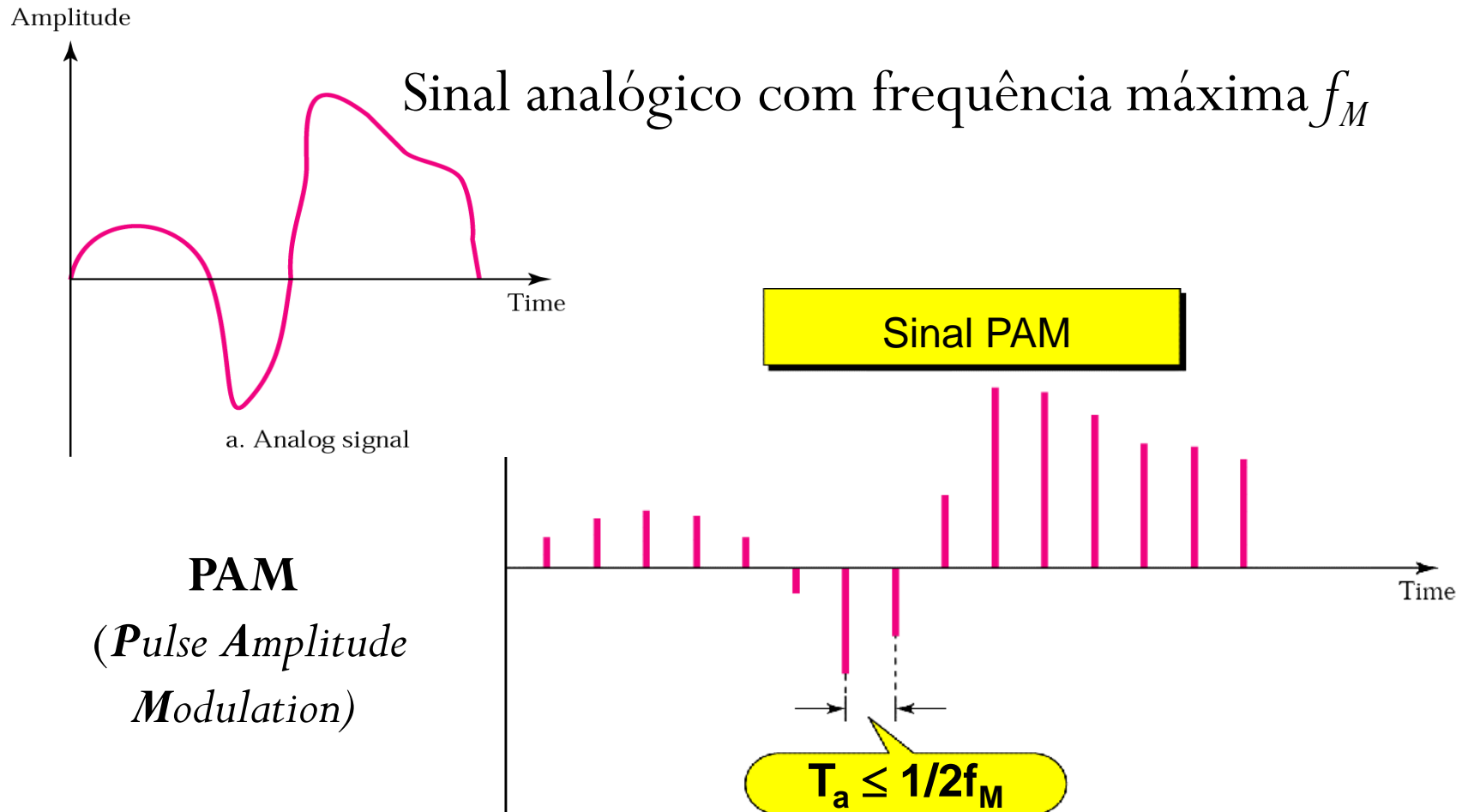
Também chamado de **Teorema da Amostragem** resumidamente determina que um sinal amostrado no tempo pode ser recuperado sem distorções desde que a **Taxa de Amostragem** ( $f_a$ ) seja no mínimo duas vezes maior do que a maior frequência ( $f_m$ ) do sinal.

$$\begin{aligned} f_a &\geq 2 \times f_m \\ t_a &= \frac{1}{f_a} \\ t_a &\leq \frac{1}{2 \times f_m} \end{aligned}$$

A mínima Taxa de amostragem  $f_a = 2f_M$  é denominada de **Taxa de Nyquist**, em homenagem ao autor da formulação, o Harry Nyquist.

## a. Amostragem

### Teorema de Nyquist



## a. Amostragem

### Teorema de Nyquist

#### Exercício Exemplo

Qual é a mínima taxa de amostragem de um sinal cuja largura de banda vale 10kHz (1kHz a 11kHz)?

A taxa de amostragem deve ser, no mínimo, duas vezes a mais alta frequência no sinal. Logo,

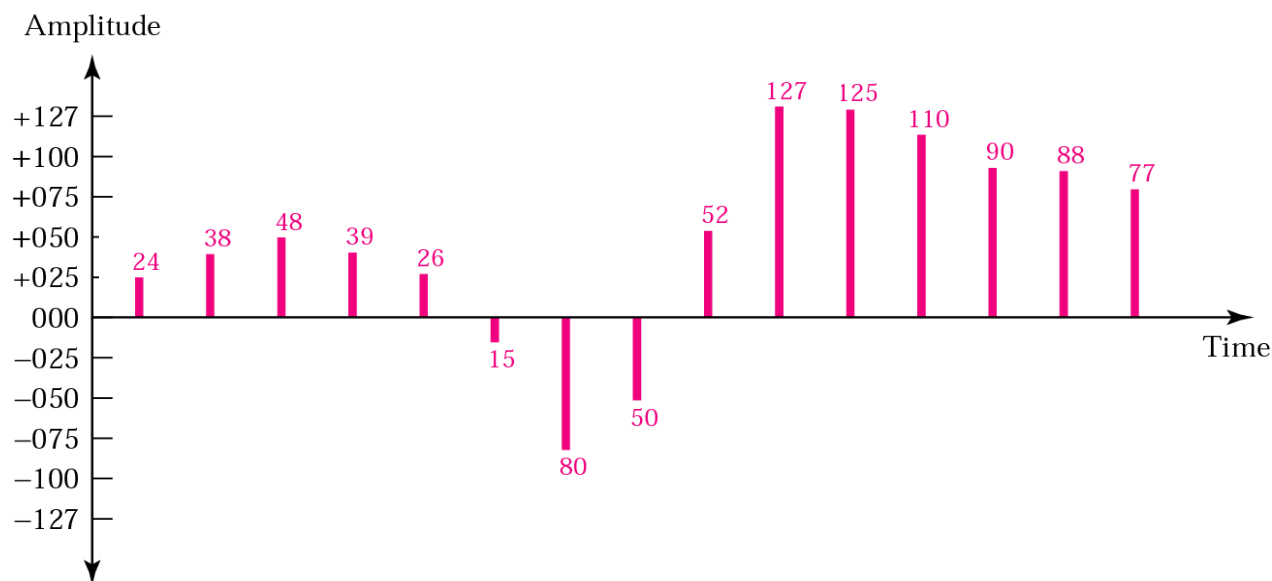
$$f_a = 2 \times (11.000) = 22.000 \text{ amostras/segundo}$$



# I. Conversão Analógico/Digital

## b. Quantização

Depois, o sinal PAM passa pelo **processo de quantização** em que suas amostras receberão valores dentro de  $N$  níveis pré-fixados. Esta etapa insere um erro na resolução de amplitude também denominado **erro de quantização**.



$$N = 2^n$$

$n$  - qtd de bits  
de cada amostra

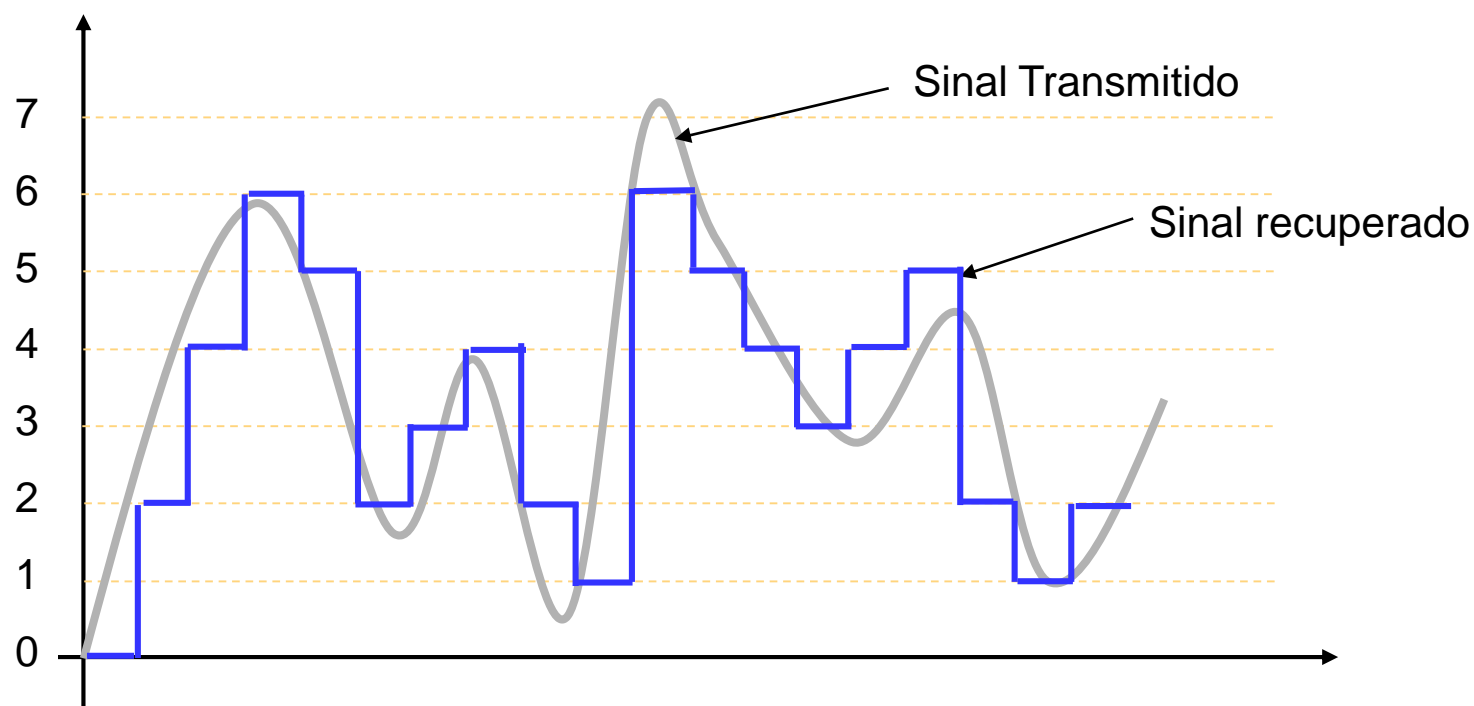
# I. Conversão Analógico/Digital

## b. Quantização

- O ITU é um dos órgãos normativos que define quantos níveis de quantização devem ser usados para cada aplicação.
- Se o sinal a ser digitalizado é um **sinal de voz**, por exemplo, este deve ser quantizado utilizando **256 níveis** (-127 a 127 + 0).

## b. Quantização

### Erro de Quantização



# I. Conversão Analógico/Digital

## c. Codificação

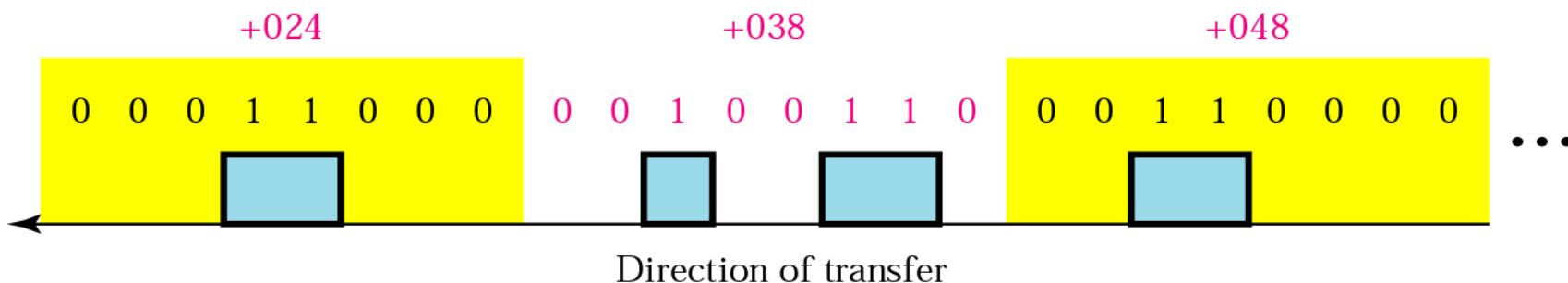
- Depois de quantizado, o sinal é **codificado**.
- Cada **nível** de tensão será representado por **uma sequência de bits**, sendo o primeiro bit representante do bit de sinal.

+024	00011000	-015	10001111	+125	01111101
+038	00100110	-080	11010000	+110	01101110
+048	00110000	-050	10110010	+090	01011010
+039	00100111	+052	00110110	+088	01011000
+026	00011010	+127	01111111	+077	01001101

Sinal do bit  
+ é 0    - é 1

## II. Codificação PCM

O resultado disto pode ser a codificação **PCM** do termo inglês *Pulse Code Modulation*.



A largura de banda de um sinal PCM ( $B_{PCM}$ ) é, em quantidade igual a taxa de transmissão  $R_b$ , e está relacionada à banda do sinal PAM ( $B_{PAM}$ ) conforme:

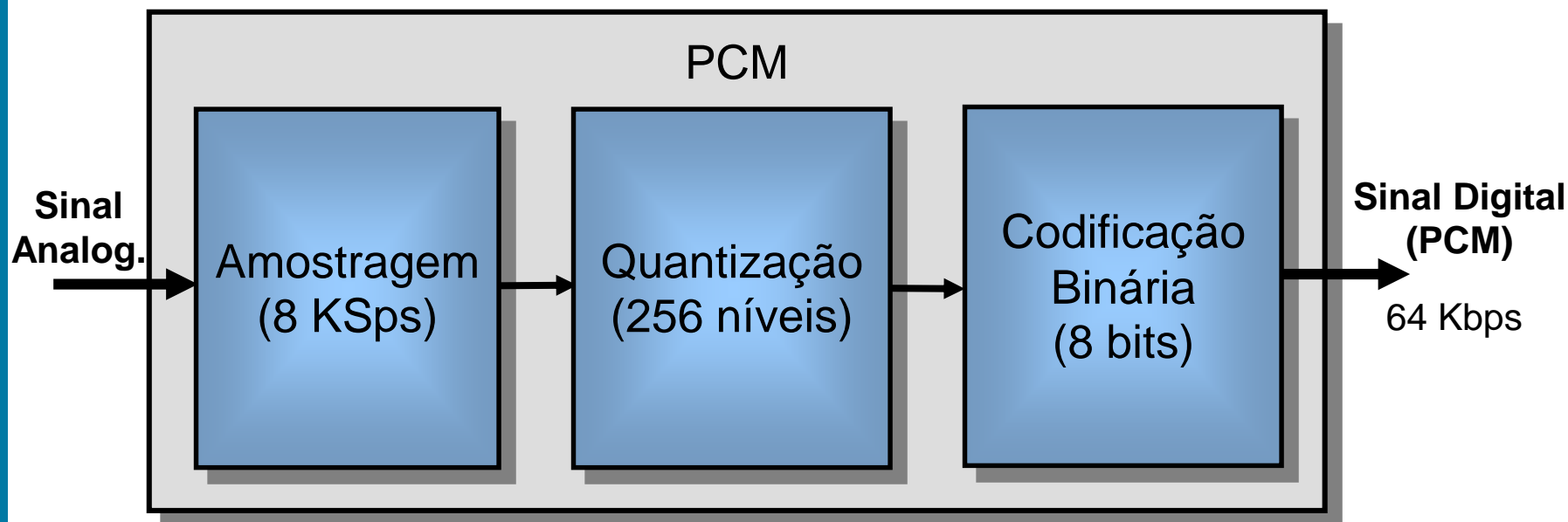
$$B_{PCM} = n \times B_{PAM}$$

## II. Codificação PCM

### A Codificação PCM de um Sinal de Voz

A recomendação G.711 do ITU-T – “*Pulse Code Modulation (PCM) of Voice Frequencies*” – estabelece que o sinal de voz para telefonia, limitado em um filtro passa-baixa, deve ser amostrado à taxa nominal de **8000 amostras por segundo** e codificado com **8 bits por amostra**. Cada sinal de voz codificado em PCM resulta, portanto, num sinal digital com taxa de bit  $R_b = 64$  kbits/s.

### Digitalização do Sinal de Voz – Sistema PCM - ITU



Taxa de Amostragem: **8 KSps**

Quantização: **256 níveis**

Codificação: **8 bits/amostra**

Taxa de Transmissão:  **$8000 \times 8 = 64 \text{ Kbps}$**

### Na Codificação PCM de um Sinal de Áudio Digital

- Para uma boa representação, é preciso colher amostras em uma velocidade de pelo menos o dobro da frequência máxima do sinal analógico  $f_a > 2f_m$
- Qualidade de áudio de CD: **44.000 Sps**, com cada amostra usando **16 bits**. Assim,

$$R_b = n \times f_a \times 2 = 16 \times 44000 \times 2 = 1.41 \text{ Mbps}$$

2 - gravação estéreo



## III. Outras Codificações

### Tarefa Extra Classe

**PWM**

**PPM**

**DM**

## IV. Conversão D/A

- A recuperação do sinal digital deve trazer de volta os sinais da informação na forma analógica com a menor distorção possível. A conversão D/A consiste em três etapas:
- Regeneração: Esta etapa recupera os bits eliminando ruído e refazendo o formato original.
- Decodificação: Cada sequência de  $n$  bits reproduz o valor de tensão que recebeu no estágio de quantização dando origem a uma sinal analógico
- Filtragem: o sinal decodificado passa por um filtro passa-baixas. O sinal analógico é então recuperado a partir desta filtragem.