

“Não tem uso prático, é só um experimento” (Heinrich Hertz, quando perguntado sobre seus experimentos com ondas de rádio em 1887).

# Formas de onda e Clocks

Paulo Ricardo Lisboa de Almeida



Alguns trechos foram baseados nas aulas de Marco Zanata: [web.inf.ufpr.br/mazalves/dis-circuitos-digitais](http://web.inf.ufpr.br/mazalves/dis-circuitos-digitais)

# Níveis

Um sinal digital possui dois níveis:

Nível alto (ex.: 1 lógico).

Nível baixo (ex.: 0 lógico).

Os níveis alto e baixo são definidos por alguma tensão.

Exemplo:

Nível alto: 5 Volts.

Nível baixo: 0 Volts.

# Níveis



$V_H$  <- Tensão para nível alto (Voltage High).

Qualquer tensão entre  $V_L$  e  $V_H$  não é válida (não gera um nível lógico válido).

$V_L$  <- Tensão para nível baixo (Voltage Low).

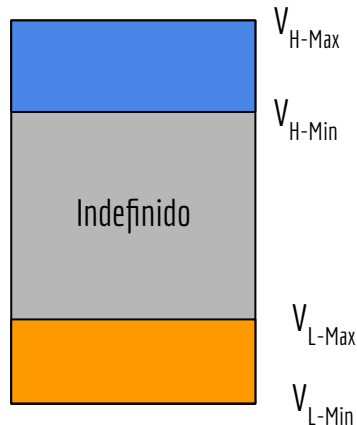
# Faixas de Operação

Difícil enviar uma tensão exata  $V_H/V_L$  para um nível alto/baixo.

Componentes geralmente definem um mínimo e um máximo para interpretar um nível alto.

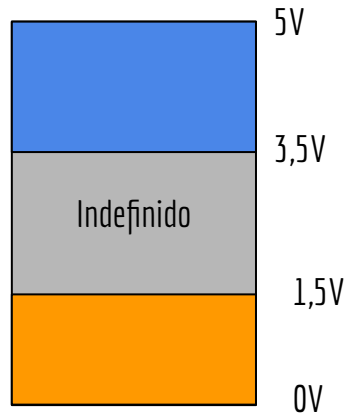
$V_{H-min}$  e  $V_{H-max}$

Raciocínio análogo para nível baixo.



# Exemplo

CD4012 - Texas Instruments.

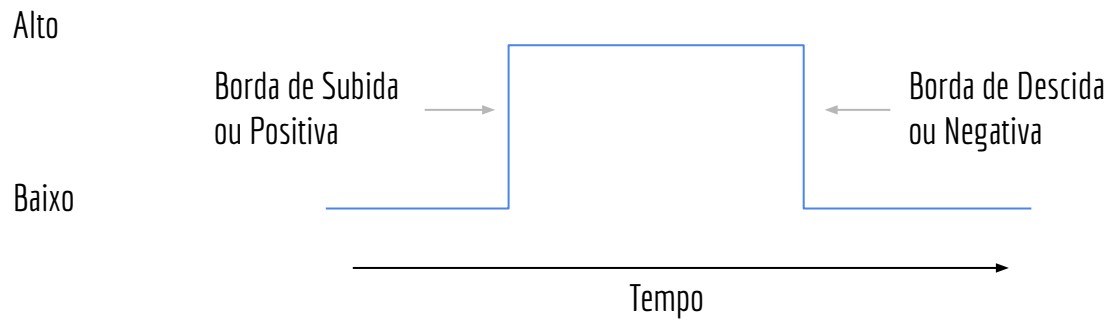


# Onda Digital

Uma onda digital comuta entre alto e baixo em pulsos no tempo.



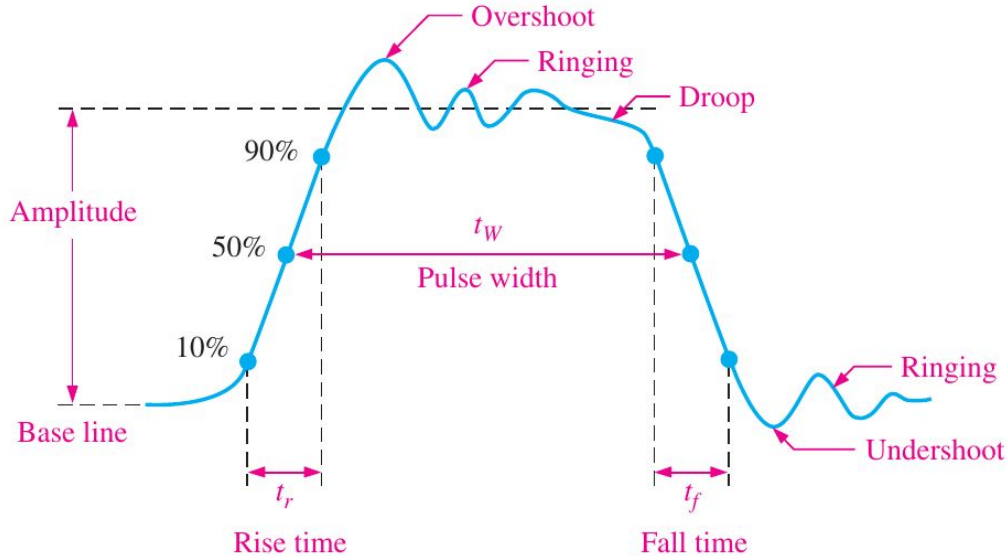
# Bordas



# Pulsos não ideais

No mundo real os pulsos **não são ideais**.

Não trocam de baixo para alto, e vice-versa, instantaneamente.



Floyd - Sistemas Digitais (2009).



# Pulsos não ideais

Veja o vídeo de demonstração:

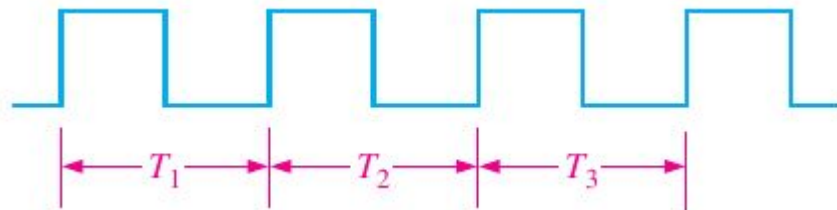
<https://youtu.be/xewNLsn5dQU>

# Tipos de onda

Não Periódica.

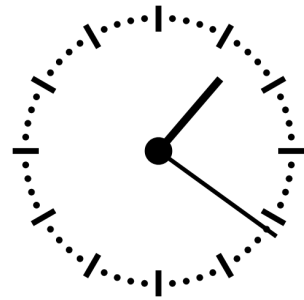


Periódica (quadrada).



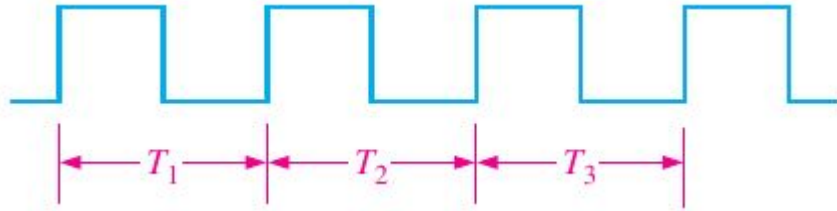
$$\begin{aligned}\text{Período} &= T_1 = T_2 = \dots = T_N \\ \text{Frequência} &= 1/T\end{aligned}$$

# Clock



Em sistemas digitais é comum o uso de um sinal de **Clock** (relógio) para sincronização.

O clock é uma onda periódica, com um período  $T$  (e frequência  $F$ ) constantes.



# Clock

É comum nos referirmos a configuração do clock por sua frequência em Hertz



## AMD Ryzen 9 9950X

16

CORES

32

THREADS

170 W

TDP

4.3 GHz

FREQUENCY

5.7 GHz

BOOST

Granite Ridge

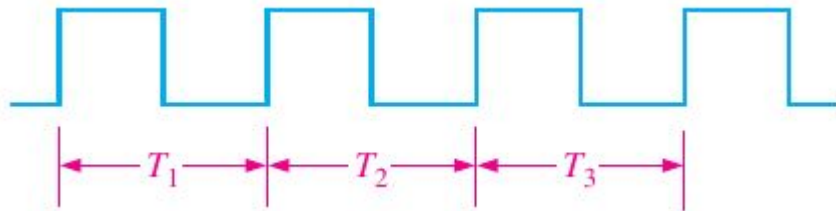
CODENAME

Socket AM5

SOCKET

# Faça você mesmo

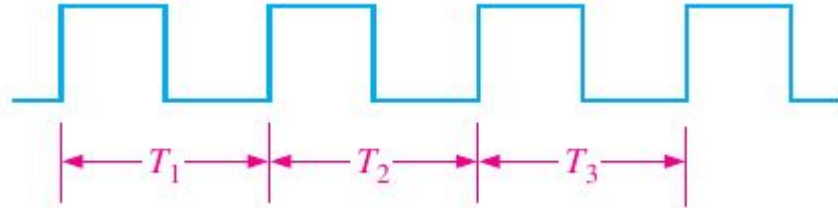
Considere que você comprou um processador com relógio (clock) de 4GHz. Qual o período do clock?



# Faça você mesmo

Considere que você comprou um processador com relógio (clock) de 4GHz. Qual o período do clock?

$$T = 1/(4 \cdot 10^9) = \frac{1}{4} \cdot 10^{-9} \text{ segundos} = 0,25 \text{ ns}$$



# Faça você mesmo

No Linux, use o seguinte comando para verificar a frequência atual de suas CPUs.

```
watch lscpu -e=CPU,MHZ
```

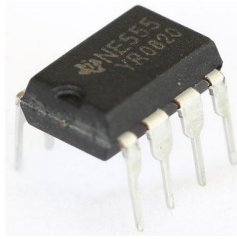
# Multivibrador Astável

Dispositivos que geram sinais de clock são chamados de **multivibradores astáveis** ou **osciladores**.

Oscila entre dois estados estáveis.

Existem vários circuitos para gerar esses sinais

CI 555, que pode ser usado para gerar sinais de clock





# RC e Cristais

O período de clock nos circuitos geralmente é definido por circuitos resistor-capacitor (RC), ou cristais de quartzo.

## **Resistor-Capacitor.**

A carga/descarga do capacitor dita o período.

Problema: resistores e capacitores podem não ser precisos o suficiente para algumas aplicações.

Mesmo resistores e capacitores precisos podem mudar suas propriedades devido a, por exemplo:

Desgaste com o tempo;

Temperatura.

# RC e Cristais

Circuitos que requerem precisão podem utilizar materiais piezoelétricos para realizar o controle do período.

Cristais de quartzo.

Cristais de quartzo podem ser fabricados para ressonar em frequências extremamente precisas.

Se mantém estável com a temperatura e não perde precisão com o tempo.

Os sinais de clock utilizados em nossos computadores e no seu relógio de pulso utilizam cristais de quartzo por conta disso.

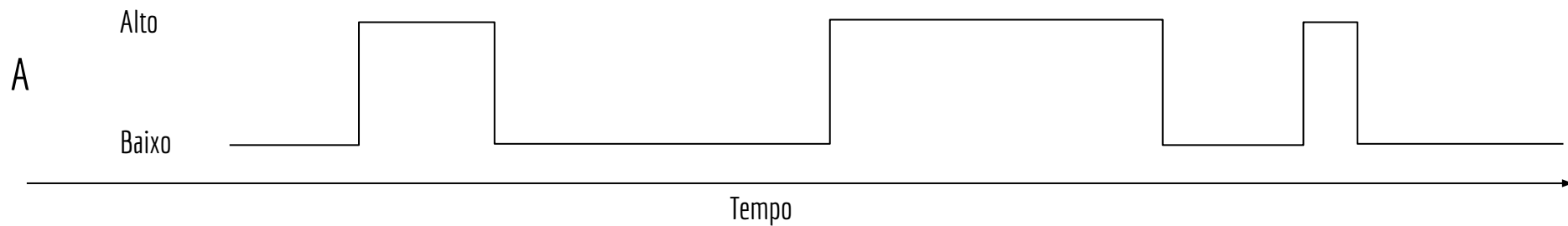
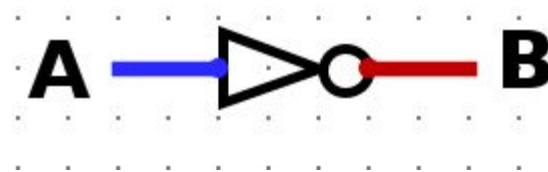


# Análise no tempo

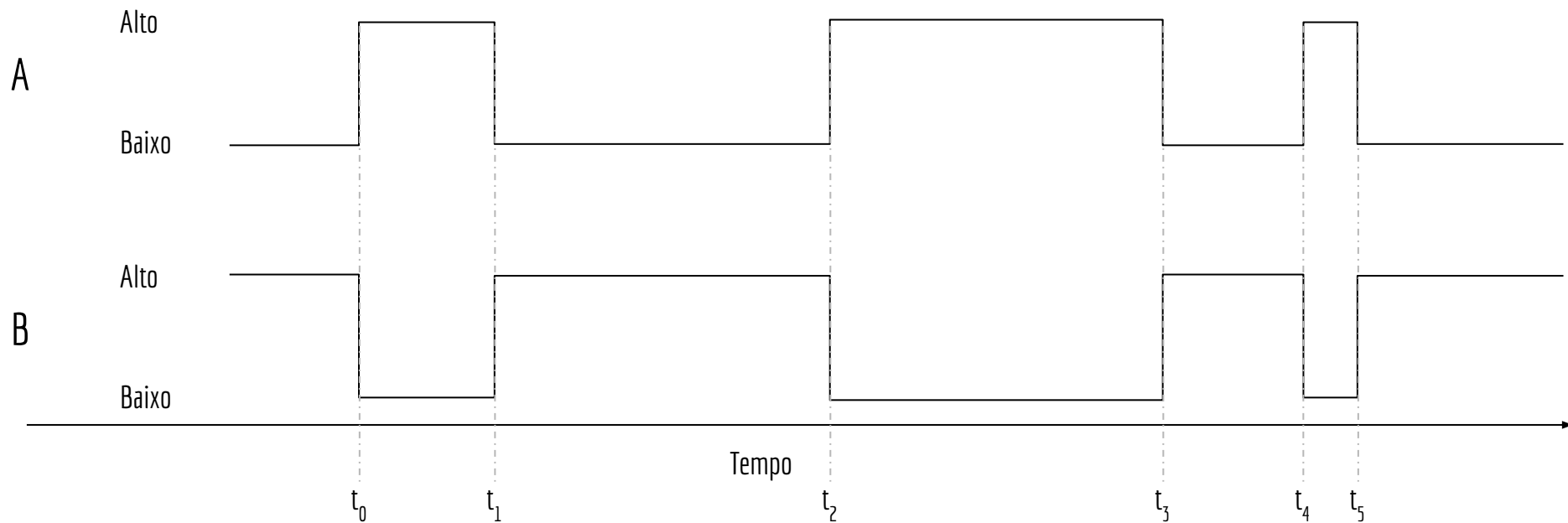
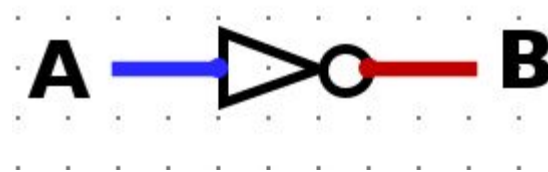
Sinais digitais podem mudar de alto para baixo, e vice-versa, no tempo.

Para realizar a análise desses sinais no tempo, utilizamos **Diagramas de Temporização**.

# Exemplo

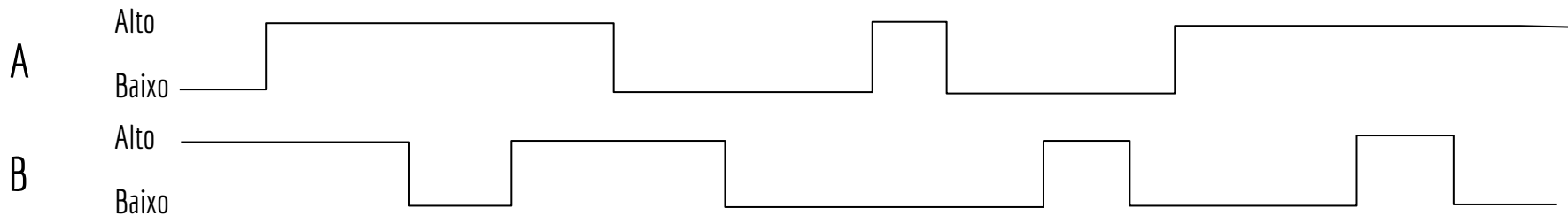
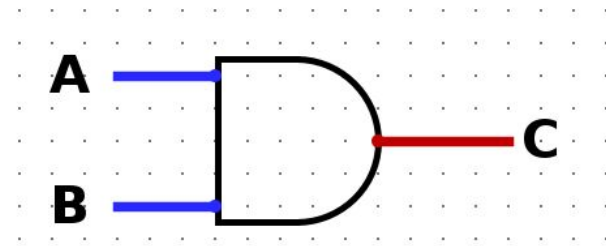


# Exemplo



# Faça você mesmo

Faça o diagrama de temporização para a porta AND



# Veja os vídeos

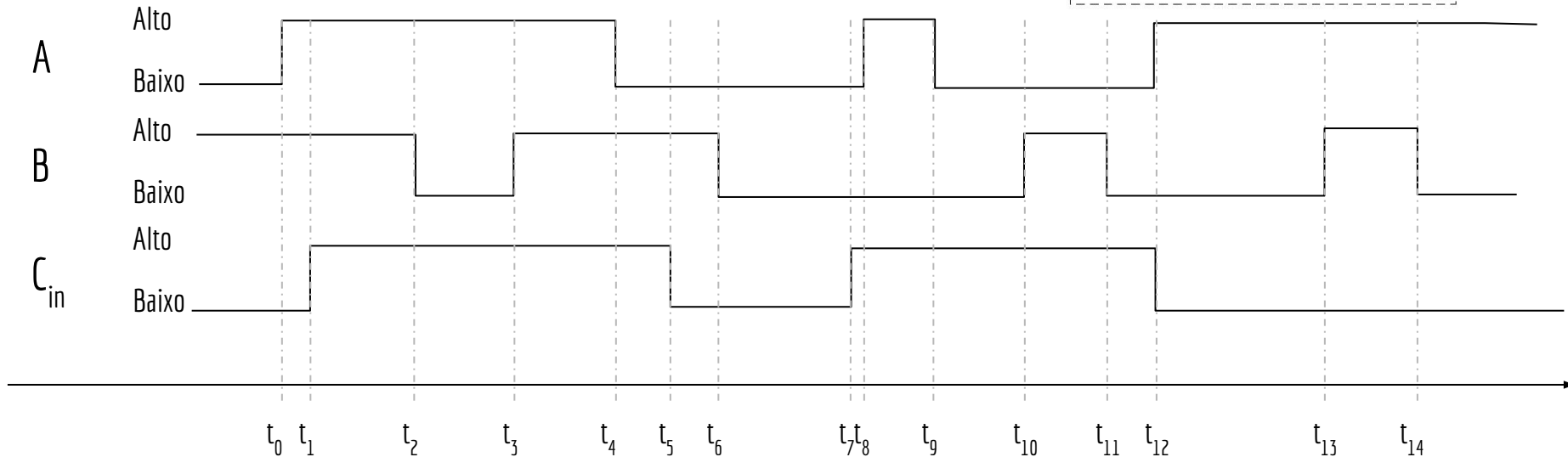
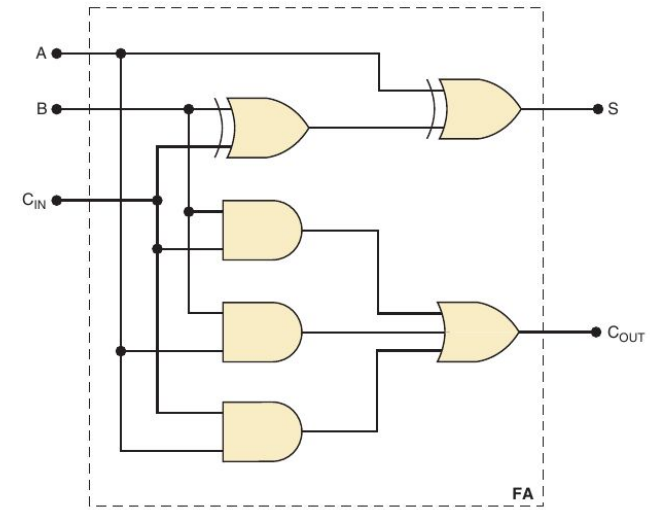
<https://youtu.be/xewNLsn5dQU>

<https://youtu.be/mwFKonHNgN4>

<https://youtu.be/ndz5BYBnt6U>

# Exercícios

1. Faça o diagrama de temporização para o circuito a seguir, considerando a seguinte entrada



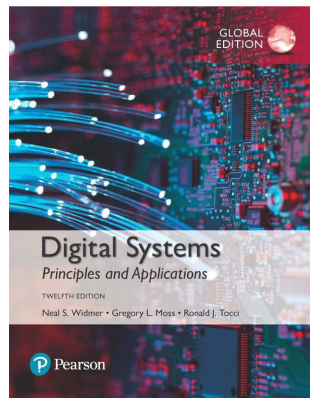


# Exercícios

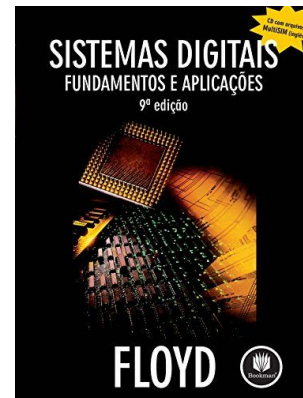
2. Assista <https://youtu.be/oEC5flw0bL0?si=ua1oGIXvYCFiZmAg>

# Referências

Ronald J. Tocci, Gregory L. Moss, Neal S. Widmer. Sistemas digitais. 10a ed. 2017.



Thomas Floyd. Sistemas Digitais: Fundamentos e Aplicações. 2009.



# Licença

Esta obra está licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).