



# Organização de Computadores – 2005/2006

## Circuitos Sequenciais

Paulo Ferreira  
paf@dei.isep.ipp.pt

Março de 2006

## Clock

---

Porquê?

Detalhes

Importância

Transistores

Condensador

Utilidade

Problemas

Consumo

Condutores

Tensão de Alimentação

Máquinas de estados

---

# Clock

Clock

---

Porquê?

Detalhes

Importância

Transistores

Condensador

Utilidade

Problemas

Consumo

Condutores

Tensão de Alimentação

Máquinas de estados

---

- Os computadores são máquinas sequenciais (de estados)

Clock

---

Porquê?

Detalhes

Importância

Transistores

Condensador

Utilidade

Problemas

Consumo

Condutores

Tensão de Alimentação

Máquinas de estados

---

- Os computadores são máquinas sequenciais (de estados)
- Necessitam de «impulsos» para passar de um estado para o seguinte

Clock

Porquê?

Detalhes

Importância

Transistores

Condensador

Utilidade

Problemas

Consumo

Condutores

Tensão de Alimentação

Máquinas de estados

- Os computadores são máquinas sequenciais (de estados)
- Necessitam de «impulsos» para passar de um estado para o seguinte
- Necessitam de «saber» quando passar de um estado da sequência para outro

Clock

---

Porquê?

**Detalhes**

Importância

Transistores

Condensador

Utilidade

Problemas

Consumo

Condutores

Tensão de Alimentação

Máquinas de estados

---

- O circuito de *clock* não tem a ver com a informação da hora e do dia

Clock

---

Porquê?

Detalhes

Importância

Transistores

Condensador

Utilidade

Problemas

Consumo

Condutores

Tensão de Alimentação

Máquinas de estados

---

- O circuito de *clock* não tem a ver com a informação da hora e do dia
- A tradução mais correcta do ponto de vista funcional seria «metrónomo» e não «relógio»



Clock

---

Porquê?

Detalhes

Importância

Transistores

Condensador

Utilidade

Problemas

Consumo

Condutores

Tensão de Alimentação

Máquinas de estados

---

- O circuito de *clock* não tem a ver com a informação da hora e do dia
- A tradução mais correcta do ponto de vista funcional seria «metrónomo» e não «relógio»
- Fornece uma série contínua de impulsos periódicos que além de «avançarem» o circuito de um estado para outro, servem de referência para a sincronização dos vários sub-circuitos

Clock

---

Porquê?

Detalhes

Importância

Transistores

Condensador

Utilidade

Problemas

Consumo

Condutores

Tensão de Alimentação

Máquinas de estados

---

- O circuito de *clock* não tem a ver com a informação da hora e do dia
- A tradução mais correcta do ponto de vista funcional seria «metrónomo» e não «relógio»
- Fornece uma série contínua de impulsos periódicos que além de «avançarem» o circuito de um estado para outro, servem de referência para a sincronização dos vários sub-circuitos
- Pode ser um sinal (ou vários) quadrado ou rectangular

Clock

---

Porquê?

Detalhes

Importância

Transistores

Condensador

Utilidade

Problemas

Consumo

Condutores

Tensão de Alimentação

Máquinas de estados

---

- O circuito de *clock* não tem a ver com a informação da hora e do dia
- A tradução mais correcta do ponto de vista funcional seria «metrónomo» e não «relógio»
- Fornece uma série contínua de impulsos periódicos que além de «avançarem» o circuito de um estado para outro, servem de referência para a sincronização dos vários sub-circuitos
- Pode ser um sinal (ou vários) quadrado ou rectangular
- Deve dizer-se «frequência» e não «velocidade»!

Clock

---

Porquê?

Detalhes

**Importância**

Transistores

Condensador

Utilidade

Problemas

Consumo

Condutores

Tensão de Alimentação

Máquinas de estados

---

- Quando a frequência de clock aumenta a performance do computador aumenta<sup>1</sup>

Clock

---

Porquê?

Detalhes

Importância

Transistores

Condensador

Utilidade

Problemas

Consumo

Condutores

Tensão de Alimentação

Máquinas de estados

---

- Quando a frequência de clock aumenta a performance do computador aumenta<sup>1</sup>
- Mas aumentando a frequência de clock o consumo de energia do processador aumenta

Clock

---

Porquê?

Detalhes

Importância

Transistores

Condensador

Utilidade

Problemas

Consumo

Condutores

Tensão de Alimentação

Máquinas de estados

---

- Quando a frequência de clock aumenta a performance do computador aumenta<sup>1</sup>
- Mas aumentando a frequência de clock o consumo de energia do processador aumenta
- Baixando a velocidade de clock o consumo de energia diminui

---

<sup>1</sup> Pode não ser sempre assim, porque em certos casos aumentando a frequência de clock, do processador a performance do sistema pode diminuir!

Clock

---

Porquê?

Detalhes

Importância

**Transistores**

Condensador

Utilidade

Problemas

Consumo

Condutores

Tensão de Alimentação

Máquinas de estados

---

- MOS – *Metal Oxide Semiconductor*
- FET – *Field Effect Transistor*

Clock

---

Porquê?

Detalhes

Importância

Transistores

Condensador

Utilidade

Problemas

Consumo

Condutores

Tensão de Alimentação

Máquinas de estados

---

- MOS – *Metal Oxide Semiconductor*
- FET – *Field Effect Transistor*
- MOS – constituição
  - Metal* – Alumínio
  - Oxide* – Óxido de silício (isolante)
  - Semiconductor* – Silício



Clock

Porquê?

Detalhes

Importância

Transistores

Condensador

Utilidade

Problemas

Consumo

Condutores

Tensão de Alimentação

Máquinas de estados

- MOS – *Metal Oxide Semiconductor*
- FET – *Field Effect Transistor*
- MOS – constituição
  - Metal* – Alumínio
  - Oxide* – Óxido de silício (isolante)
  - Semiconductor* – Silício
- FET – funcionamento
  - Transistor de efeito de campo – quando o metal está carregado electricamente, as cargas livres no semiconductor são todas atraídas para junto do metal, passando o semiconductor a conduzir através desse «caminho»

Clock

---

Porquê?

Detalhes

Importância

Transistores

**Condensador**

Utilidade

Problemas

Consumo

Condutores

Tensão de Alimentação

Máquinas de estados

---

- Dois condutores com um isolante no meio

Clock

---

Porquê?

Detalhes

Importância

Transistores

**Condensador**

Utilidade

Problemas

Consumo

Condutores

Tensão de Alimentação

Máquinas de estados

---

- Dois condutores com um isolante no meio
- Metal e semiconductor, com óxido no meio

Clock

---

Porquê?

Detalhes

Importância

Transistores

Condensador

Utilidade

Problemas

Consumo

Condutores

Tensão de Alimentação

Máquinas de estados

---

- Dois condutores com um isolante no meio
- Metal e semiconductor, com óxido no meio
- Temos um condensador que pode ser útil ou problemático

Clock

---

Porquê?

Detalhes

Importância

Transistores

Condensador

**Utilidade**

Problemas

Consumo

Condutores

Tensão de Alimentação

Máquinas de estados

---

- Uma maneira simples (e pequena) de fazer um condensador
- Um condensador serve para armazenar energia
- Um condensador por bit «memoriza» o estado do bit

Clock

Porquê?

Detalhes

Importância

Transistores

Condensador

**Utilidade**

Problemas

Consumo

Condutores

Tensão de Alimentação

Máquinas de estados

- Uma maneira simples (e pequena) de fazer um condensador
- Um condensador serve para armazenar energia
- Um condensador por bit «memoriza» o estado do bit
- Cuidados:
  - O condensador descarrega-se ao fim de algum tempo
  - É necessário «refrescar» a sua «memória»

Clock

Porquê?

Detalhes

Importância

Transistores

Condensador

**Utilidade**

Problemas

Consumo

Condutores

Tensão de Alimentação

Máquinas de estados

- Uma maneira simples (e pequena) de fazer um condensador
- Um condensador serve para armazenar energia
- Um condensador por bit «memoriza» o estado do bit
- Cuidados:
  - O condensador descarrega-se ao fim de algum tempo
  - É necessário «refrescar» a sua «memória»
- Temos assim o que se chama memória dinâmica
- O tipo mais vulgar de memória, e o mais utilizado

Clock

---

Porquê?

Detalhes

Importância

Transistores

Condensador

Utilidade

**Problemas**

Consumo

Condutores

Tensão de Alimentação

Máquinas de estados

---

- Para ligar ou desligar o transistor temos de carregar ou descarregar o condensador



Clock

---

Porquê?

Detalhes

Importância

Transistores

Condensador

Utilidade

**Problemas**

Consumo

Condutores

Tensão de Alimentação

Máquinas de estados

---

- Para ligar ou desligar o transistor temos de carregar ou descarregar o condensador
- Carregar ou descarregar o condensador implica a passagem de corrente na ligação ao transistor

Clock

---

Porquê?

Detalhes

Importância

Transistores

Condensador

Utilidade

Problemas

Consumo

Condutores

Tensão de Alimentação

Máquinas de estados

---

- Para ligar ou desligar o transistor temos de carregar ou descarregar o condensador
- Carregar ou descarregar o condensador implica a passagem de corrente na ligação ao transistor
- Como a ligação não é perfeita do ponto de vista eléctrico o condutor aquece com a passagem da corrente

Clock

Porquê?

Detalhes

Importância

Transistores

Condensador

Utilidade

Problemas

Consumo

Condutores

Tensão de Alimentação

Máquinas de estados

- Para ligar ou desligar o transistor temos de carregar ou descarregar o condensador
- Carregar ou descarregar o condensador implica a passagem de corrente na ligação ao transistor
- Como a ligação não é perfeita do ponto de vista eléctrico o condutor aquece com a passagem da corrente
- Para ligar ou desligar um transistor vai-se gastar uma certa energia

Clock

---

Porquê?

Detalhes

Importância

Transistores

Condensador

Utilidade

Problemas

**Consumo**

Condutores

Tensão de Alimentação

Máquinas de estados

---

- O consumo tem a ver com o número de transições por segundo
- Daí o consumo aumentar quando a frequência de trabalho aumenta

Clock

---

Porquê?

Detalhes

Importância

Transistores

Condensador

Utilidade

Problemas

Consumo

Condutores

Tensão de Alimentação

Máquinas de estados

---

- O consumo tem a ver com o número de transições por segundo
- Daí o consumo aumentar quando a frequência de trabalho aumenta
- Frequência de clock
  - Baixando baixa o consumo
  - Aumentando aumenta o consumo
  - Podemos baixar a velocidade do processador quando este estiver à espera de coisas para fazer
  - Isto pode conduzir a grandes poupanças de energia

Clock

---

Porquê?

Detalhes

Importância

Transistores

Condensador

Utilidade

Problemas

Consumo

**Condutores**

Tensão de Alimentação

Máquinas de estados

---

## ■ Alumínio

- Barato
- Fácil de vaporizar
- O mais usado

Clock

Porquê?

Detalhes

Importância

Transistores

Condensador

Utilidade

Problemas

Consumo

Condutores

Tensão de Alimentação

Máquinas de estados

## ■ Alumínio

- Barato
- Fácil de vaporizar
- O mais usado

## ■ Cobre

- Mais difícil de vaporizar/usar
- Algumas tentativas de o usar (ex: *Coppermine*)

Clock

Porquê?

Detalhes

Importância

Transistores

Condensador

Utilidade

Problemas

Consumo

Condutores

Tensão de Alimentação

Máquinas de estados

## ■ Alumínio

- Barato
- Fácil de vaporizar
- O mais usado

## ■ Cobre

- Mais difícil de vaporizar/usar
- Algumas tentativas de o usar (ex: *Coppermine*)

## ■ Ouro

- Problemas com o preço (óbvios)
- Só é usado em pequenas séries onde o preço não é obstáculo



Clock

---

Porquê?

Detalhes

Importância

Transistores

Condensador

Utilidade

Problemas

Consumo

Condutores

Tensão de Alimentação

Máquinas de estados

---

- Quando maior a tensão de alimentação, mais cargas terão de passar para polarizar o transistor
- Podemos usar uma tensão de alimentação mais baixa para que o consumo de energia seja menor

Clock

Porquê?

Detalhes

Importância

Transistores

Condensador

Utilidade

Problemas

Consumo

Condutores

Tensão de Alimentação

Máquinas de estados

- Quando maior a tensão de alimentação, mais cargas terão de passar para polarizar o transistor
- Podemos usar uma tensão de alimentação mais baixa para que o consumo de energia seja menor
- Baixar a tensão
  - Daí que se tenha passado dos 5V para 3.3V e outras tensões mais baixas
  - As fontes de alimentação tipo ATX já possuem uma saída de 3.3V enquanto as fontes de alimentação AT apenas tinham como menor tensão os 5V
  - Hoje em dia as novas fontes ATX possuem uma saída mais forte de 12V para que se possa ter tensões de alimentação mais baixas
  - A tensão de 12V é fornecida ao motherboard que a converte na tensão de funcionamento do processador (normalmente ajustável)
  - Assim evitamos a circulação de correntes muito elevadas entre a fonte e o motherboard (e problemas de conectores)

Clock

Máquinas de estados

Exemplos

Definição

Exemplo

Implementação

Circuito

Entradas

Circuito

Simplificação

Vantagens

Circuito

Nomenclatura

# Máquinas de estados

Clock

---

Máquinas de estados

---

Exemplos

Definição

Exemplo

Implementação

Circuito

Entradas

Circuito

Simplificação

Vantagens

Circuito

Nomenclatura

- Semáforos
- Sequenciais de discoteca
- Comando de máquinas de lavar
- Muitos mais

- Necessitamos de saber em estado estamos e qual o seguinte:

## Exemplo de Máquina de Estados

Estado	Seguinte
1000	0100
0100	0010
0010	0001
0001	1000

Clock

Máquinas de estados

Exemplos

Definição

Exemplo

Implementação

Circuito

Entradas

Circuito

Simplificação

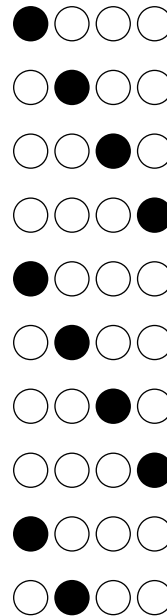
Vantagens

Circuito

Nomenclatura

## Funcionamento da Máquina de Estados

### Estado



...

Clock

Máquinas de estados

Exemplos

Definição

**Exemplo**

Implementação

Circuito

Entradas

Circuito

Simplificação

Vantagens

Circuito

Nomenclatura

Clock

Máquinas de estados

Exemplos

Definição

Exemplo

Implementação

Circuito

Entradas

Circuito

Simplificação

Vantagens

Circuito

Nomenclatura

- Necessitamos da tabela de estados para sabermos qual o estado seguinte
- Necessitamos também do estado actual para sabermos onde estamos

## Implementação da Máquina de Estados – ROM

Endereço	Conteúdo
1000	0100
0100	0010
0010	0001
0001	1000

Clock

Máquinas de estados

Exemplos

Definição

Exemplo

Implementação

Circuito

Entradas

Circuito

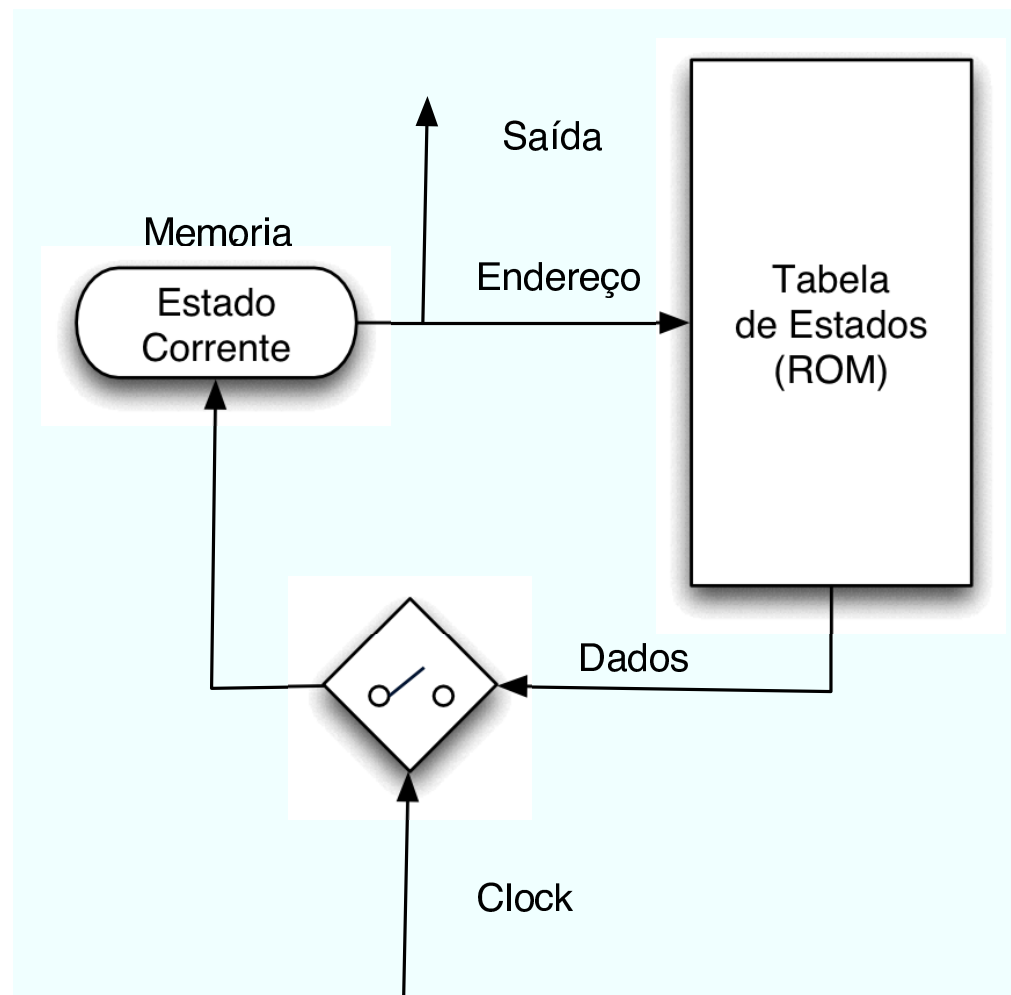
Simplificação

Vantagens

Circuito

Nomenclatura

- Temos uma «memória» que nos guarda o estado corrente e o circuito de clock que comanda o avanço do estado corrente para o seguinte





- Se quisermos entradas que comandem a passagem de um estado ao seguinte basta colocar mais linhas de endereço na ROM comandadas pelas entradas

## Uma linha adicional - *Reverse*

<b>Estado</b>	<b>Seguinte</b>
0 1000	0100
0 0100	0010
0 0010	0001
0 0001	1000
1 1000	0001
1 0100	1000
1 0010	0100
1 0001	0010

Clock

Máquinas de estados

Exemplos

Definição

Exemplo

Implementação

Circuito

Entradas

Circuito

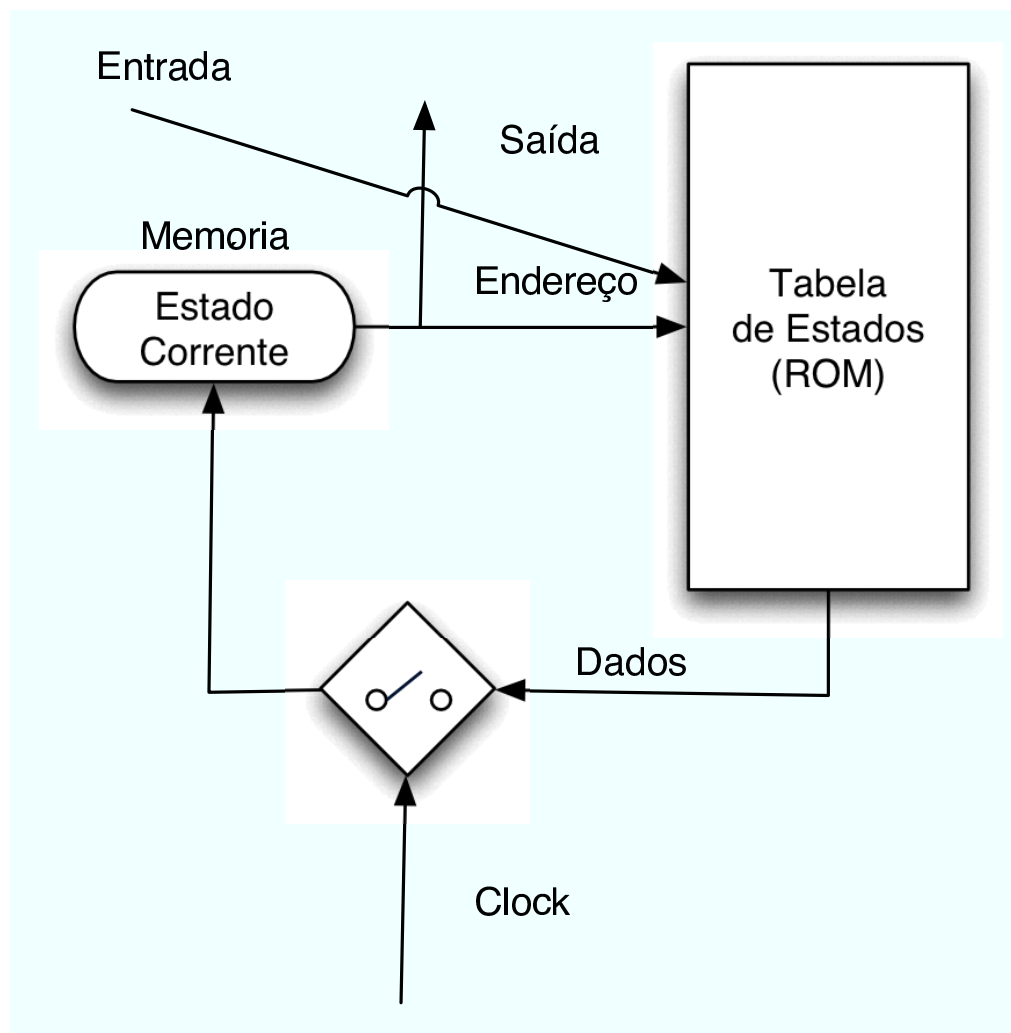
Simplificação

Vantagens

Circuito

Nomenclatura

- Temos a entrada adicional que comanda a máquina de estados



Clock

Máquinas de estados

Exemplos

Definição

Exemplo

Implementação

Circuito

Entradas

Circuito

Simplificação

Vantagens

Circuito

Nomenclatura

Clock

Máquinas de estados

Exemplos

Definição

Exemplo

Implementação

Circuito

Entradas

Circuito

Simplificação

Vantagens

Circuito

Nomenclatura

- Podemos «separar» a máquina de estados em duas tabelas:
  1. Uma tabela com a «numeração» e sequência dos estados
  2. Outra tabela com as saídas para cada estado

<b>Tabela de estados</b>		<b>Tabela de saídas</b>	
<b>Estado</b>	<b>Seguinte</b>	<b>Estado</b>	<b>Saída</b>
00	01	00	1000
01	10	01	0100
10	11	10	0010
11	00	11	0001

Clock

Máquinas de estados

Exemplos

Definição

Exemplo

Implementação

Circuito

Entradas

Circuito

Simplificação

Vantagens

Circuito

Nomenclatura

- Temos assim duas tabelas, mas são duas tabelas bem mais pequenas do que a anterior
- Uma  $4 \times 2$  bits e outra de  $4 \times 4$  bits ou que dá 24 bits, enquanto anteriormente tínhamos  $16 \times 4$  bits ou 64 bits
- A «programação» da máquina de estados também fica mais simples porque fica separada em duas partes
  1. A sequência dos diferentes estados
  2. O estado das saídas para cada um dos estados

Clock

Máquinas de estados

Exemplos

Definição

Exemplo

Implementação

Circuito

Entradas

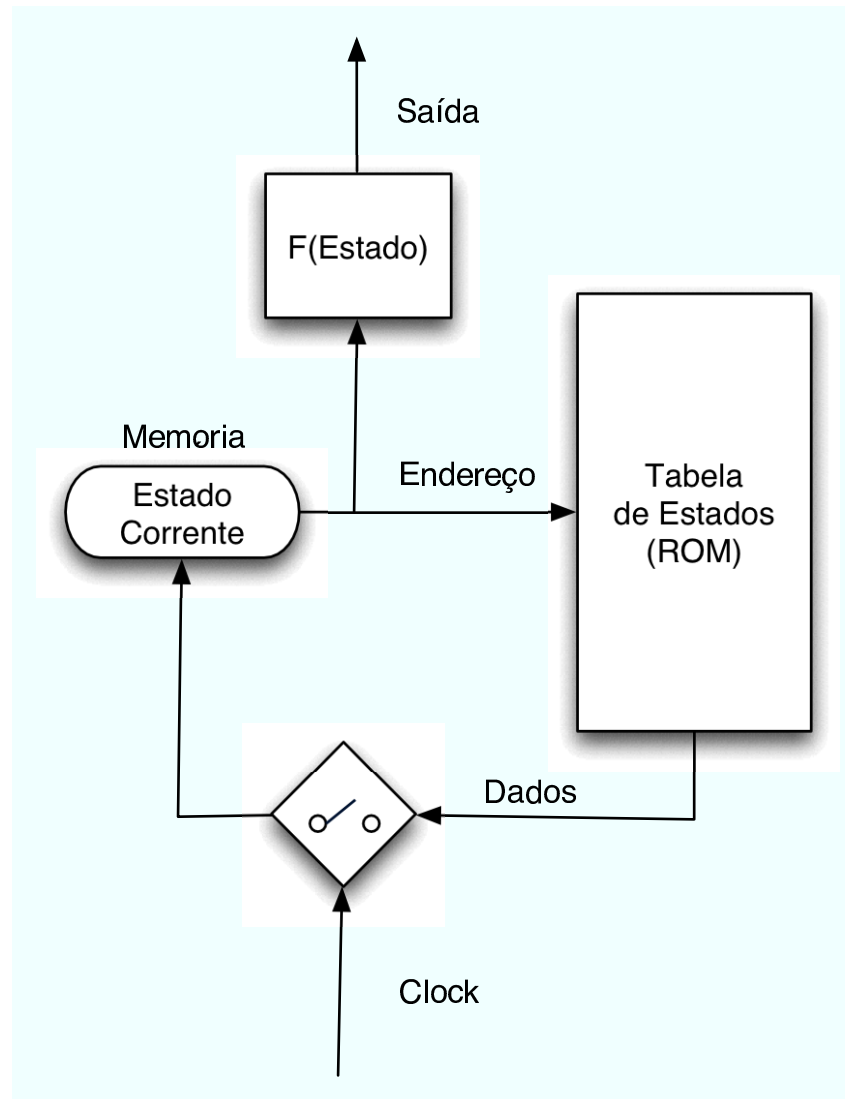
Circuito

Simplificação

Vantagens

Circuito

Nomenclatura



Clock

Máquinas de estados

Exemplos

Definição

Exemplo

Implementação

Circuito

Entradas

Circuito

Simplificação

Vantagens

Circuito

Nomenclatura

- O tipo de «programação» das máquinas de estados chama-se microcódigo
- Trata-se de definir bit a bit qual o estado em que estamos, e qual o estado seguinte
- Temos dois tipos de microcódigo:
  - Microcódigo horizontal – o estado é definido pelas saídas do circuito
  - Microcódigo vertical – o estado é diferente das saídas do circuito, havendo uma «tradução» do estado para as saídas do circuito