



QXD-005 - Arquitetura de Computadores

Conceitos Básicos e Evolução dos Computadores

Prof. Pedro Botelho

Na aula passada...

- Introduzimos alguns conceitos da arquitetura de computadores
- Pergunta: Como está o cenário atual?
 - Vamos começar pelo histórico!

Nesta aula...

- Histórico da Computação
- Conceitos Básicos
- Visão Básica de Eletrônica Digital
- Sistemas Embarcados



Conceitos Básicos e Evolução dos Computadores

Início do Histórico da Computação

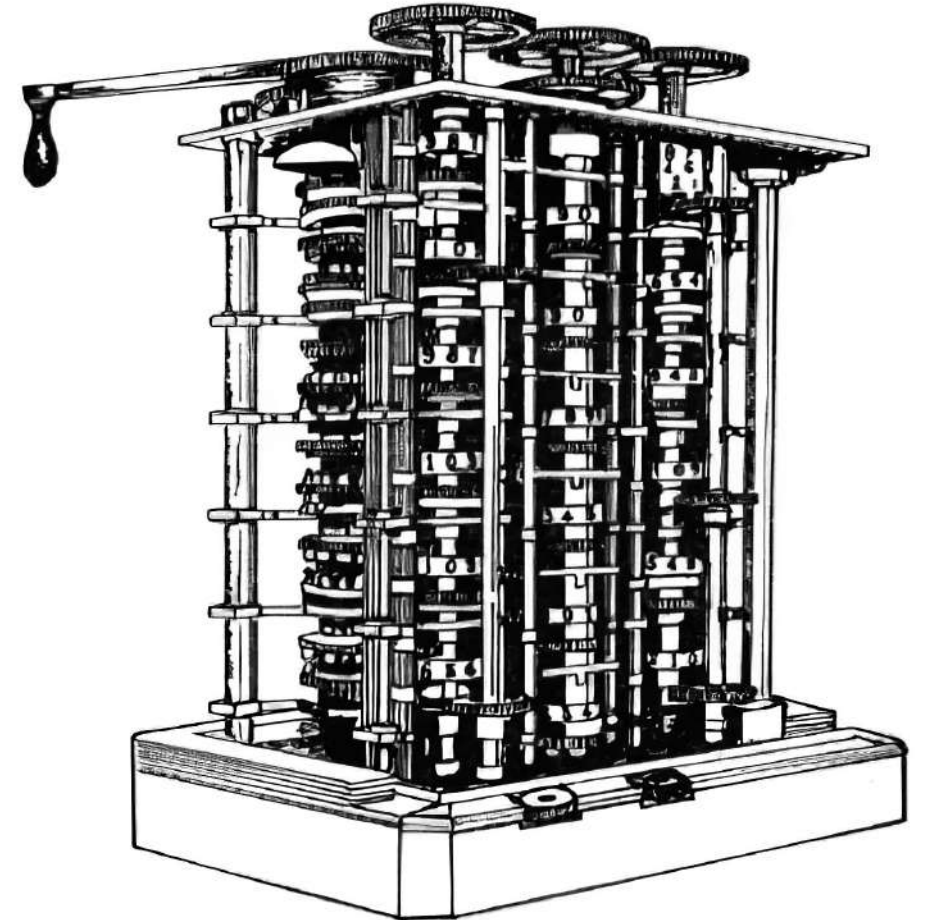
Ábaco: A Primeira Calculadora

- A **primeira calculadora** que se tem notícias é o ábaco
- Sua origem é chinesa, do século V a.C. (antes de Cristo)
- Ele é capaz de efetuar **operações algébricas** elementares



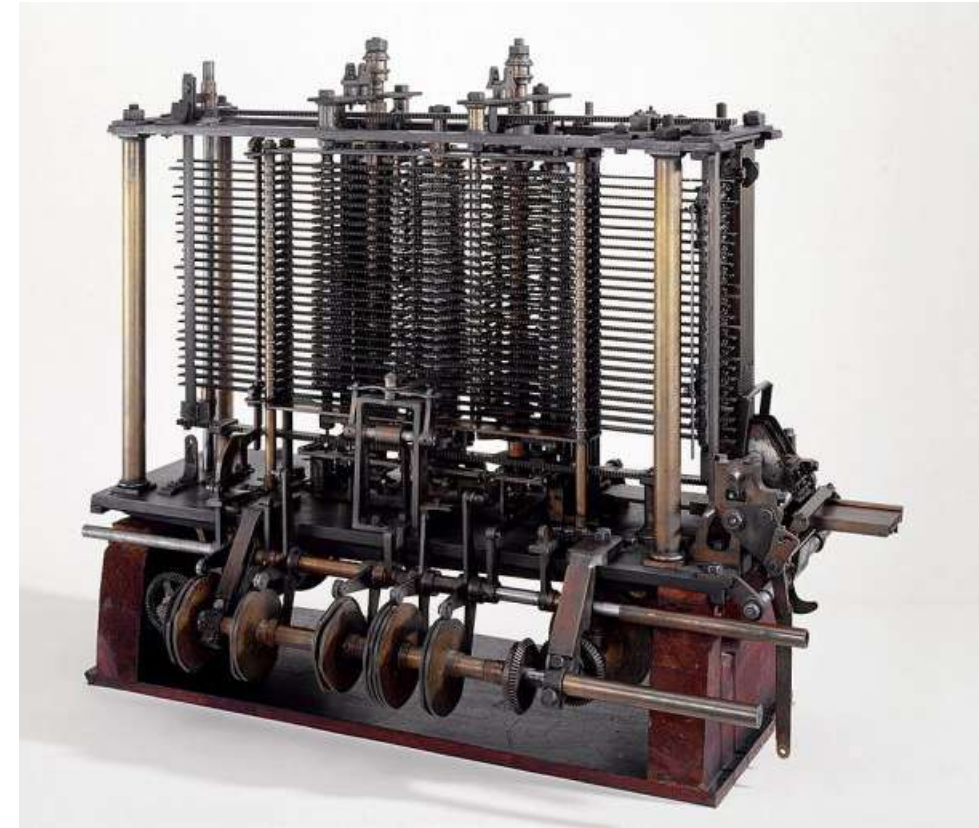
Calculadoras Mecânicas

- Charles Babbage é considerado o “pai do computador”
- Em 1822, propôs a **Máquina Diferencial**
 - **Automatizar cálculos** e gerar tabelas matemáticas
- Utilizava engrenagens e manivelas
 - Inteiramente mecânica
- Baseava-se no método das diferenças finitas
- Nunca foi finalizada por **limitações técnicas** e financeiras da época



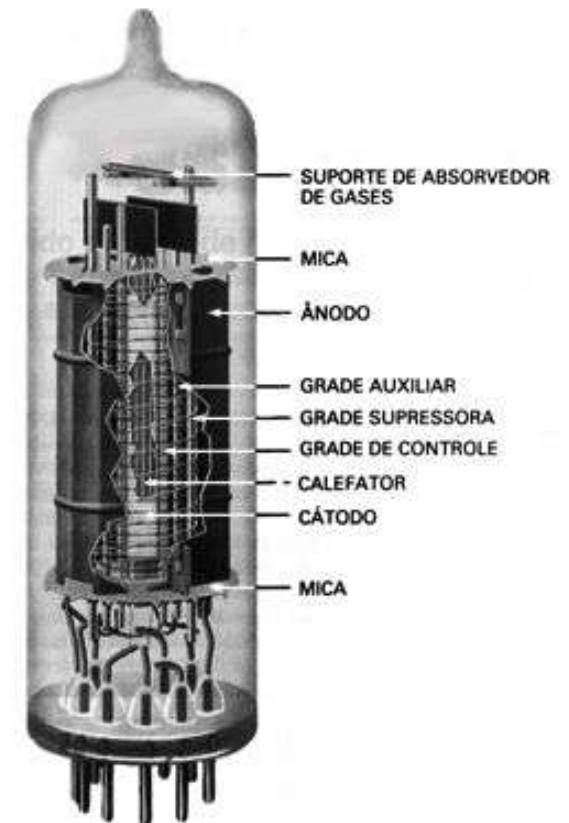
Máquina Analítica de Babbage

- Em 1837, Babbage projetou a **Máquina Analítica**
- Era um computador programável, com:
 - Memória, unidade de processamento e controle
- Utilizava cartões perfurados:
 - Entrada de dados e instruções
- Ada Lovelace escreveu o primeiro algoritmo para ela
- Considerada o conceito do **primeiro computador de uso geral** da história



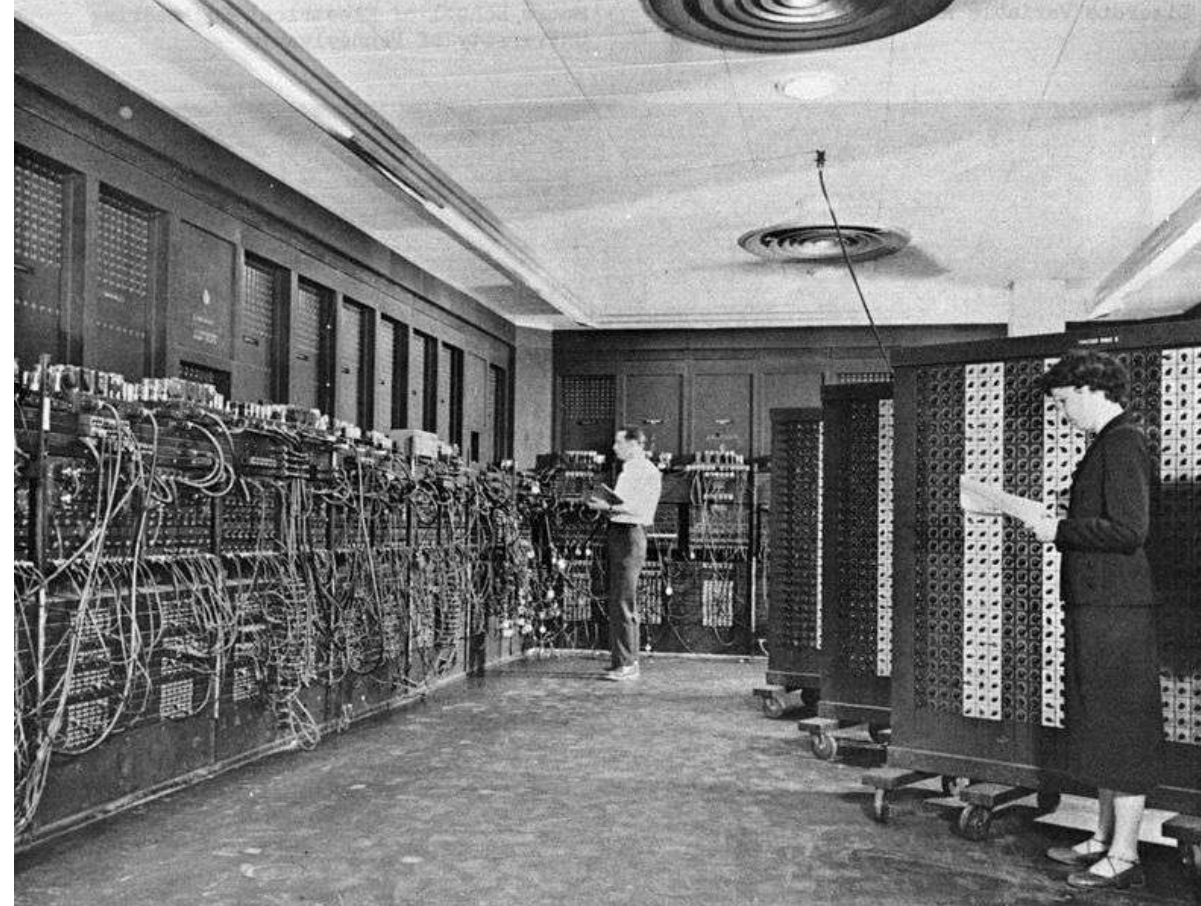
1ª Geração: Válvulas

- As primeiras válvulas termiônicas surgiram no final do século XIX
- As válvulas foram usadas para criar os primeiros computadores eletrônicos, na década de 40
- Cada válvula era capaz de representar um **bit de informação**
 - Um “pedaço” de informação (mais adiante)
 - Somente aceita dois estados → ligada ou desligada
 - Em resumo → Uma entrada controla o fluxo de elétrons por outras
- Várias válvulas → Conjunto de informações
 - Os **bytes** eram compostos por oito válvulas



O Computador ENIAC

- Primeiro computador digital eletrônico de uso geral do mundo
 - **Digital** → Dois estados (ligado ou desligado)
 - Usava cerca de 18.000 válvulas!
 - Operações determinadas por cabos e *switches*
 - Entrada de dados via cartões perfurados
- Foi projetado para ser usado pelo exército americano
- Começou a ser construído em 1943
- Foi concluído em 1946, muito tarde para ser usado na guerra



Computadores Comerciais

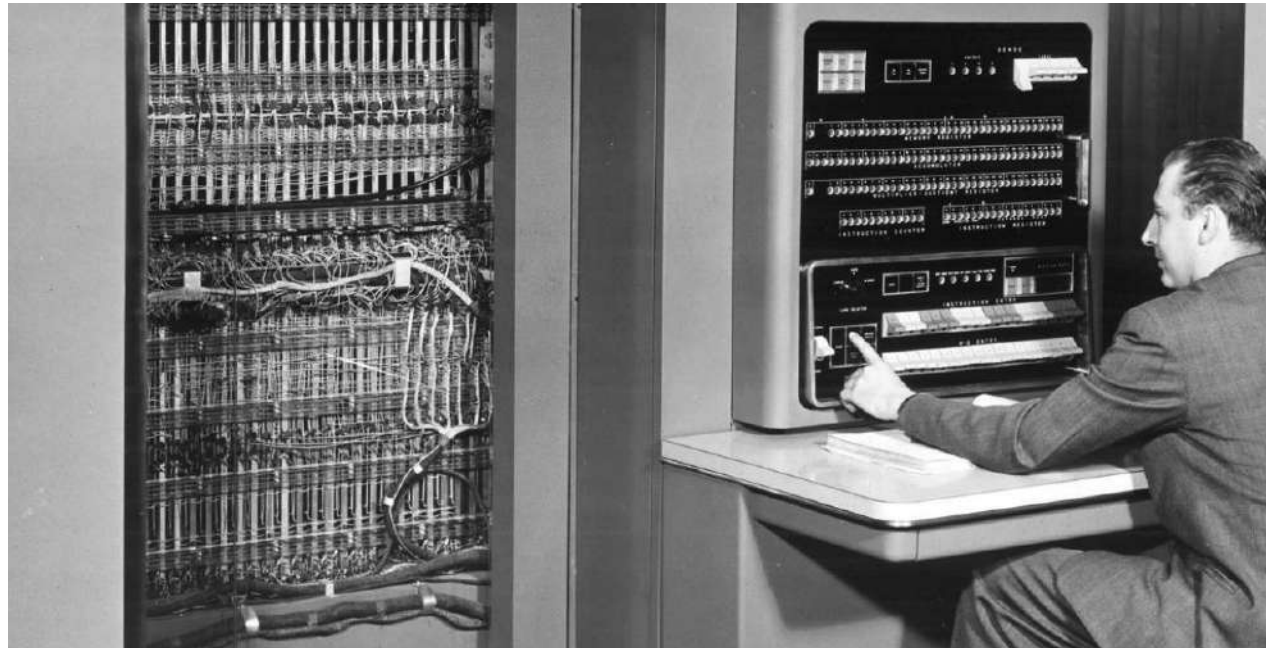
- A década de 50 viu o nascimento da indústria do computador com duas empresas, **Sperry** e **IBM**, dominando o mercado
- Em 1947, Eckert-Mauchly Computer Corporation produziu o primeiro computador comercial fabricado e comercializado nos EUA, o **UNIVAC I**
- Ele tinha como finalidade aplicações **científicas e comerciais**
- Tornou-se parte da Sperry-Rand Corporation
- No final da década de 50 foi entregue o **UNIVAC II**
- Nessa época já existia a preocupação com a **compatibilidade**



UNIVAC I

O Início da Era IBM

- A IBM entregou seu primeiro computador de programa armazenado, o **701**, em 1953
- Ele era voltado principalmente para **aplicações científicas**
- Em 1955, a IBM introduziu o **702** → Recursos de *hardware* para **aplicações comerciais**
- Estes foram os primeiros de uma longa série de computadores 700/7000
 - Estabeleceram a IBM como o fabricante de computadores esmagadoramente dominante



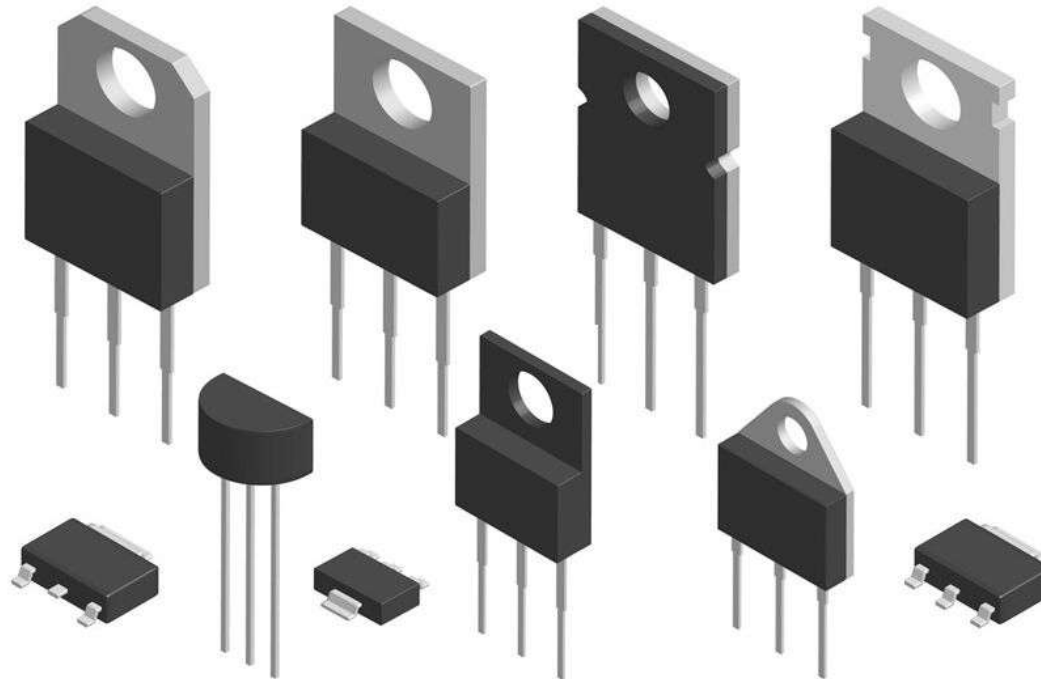


Conceitos Básicos e Evolução dos Computadores

Revolução Digital e Transistores

2ª Geração: Transistores

- Foi em 1947 que surgiu o primeiro **transistor**, produzido pela **Bell Telephone Laboratories**
- Esta descoberta revolucionou a eletrônica!
 - Os circuitos passaram a consumir muitíssimo **menos energia** e **menos espaço**
- Os transistores eram e são muito mais **confiáveis** que as válvulas
- São feitos de **cristal de silício**, o elemento mais abundante na Terra

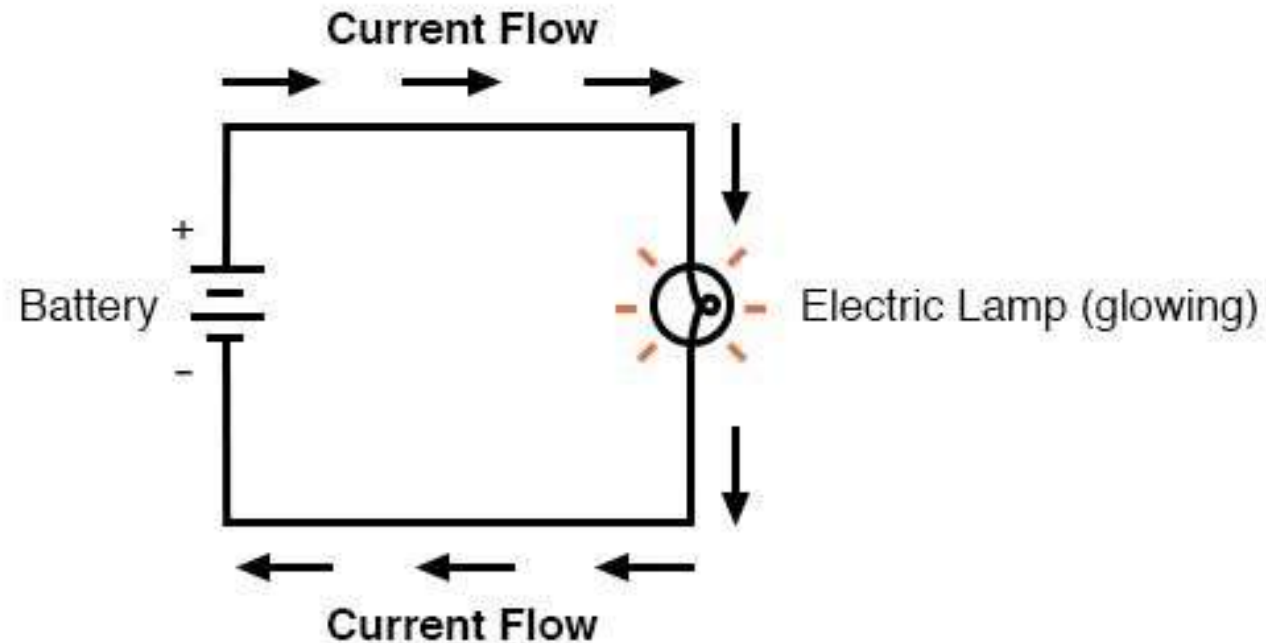


Computadores e Transistores

- Em 1954 a **Texas Instruments** iniciou a produção comercial de transistores.
- Foram utilizados nos circuitos digitais para representar os dois estados: Ligado/Desligado.
- Nos anos 60 e 70 devido ao emprego do transistor nos circuitos, se deu a explosão do uso de computadores.
 - Eles ocupavam menos espaço e tinham um custo satisfatório!
- A segunda geração também viu a introdução de **unidades lógicas e aritméticas** e **unidades de controle** mais complexas
 - Uso de linguagens de programação de alto nível
 - Disponibilidade do software de sistema com o computador

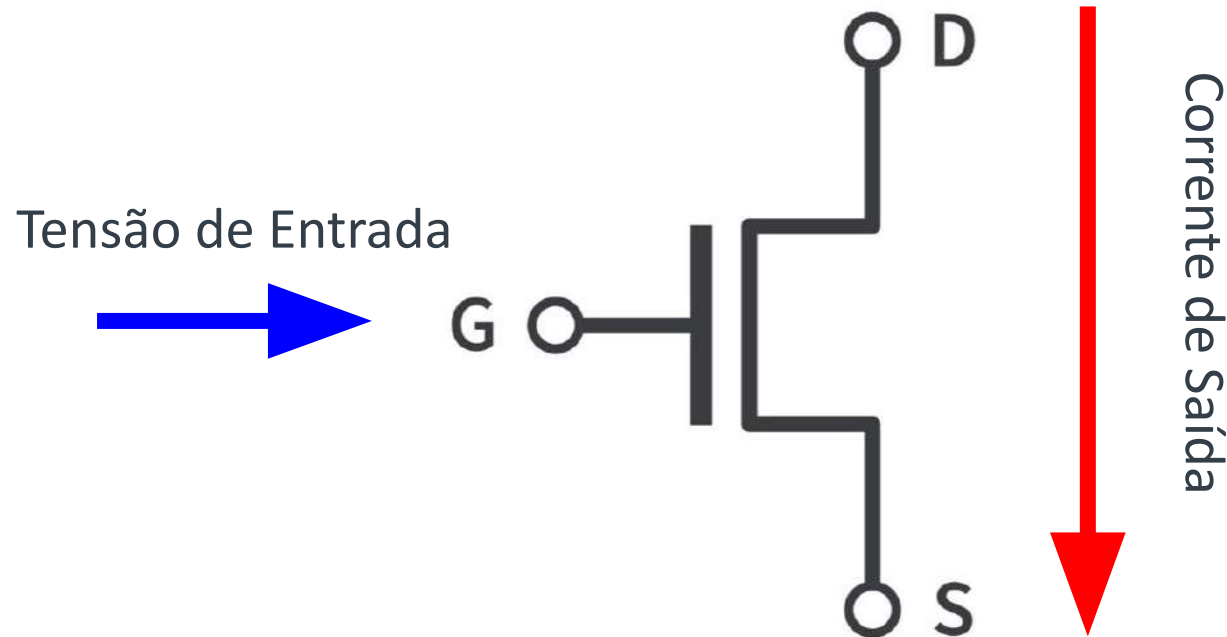
Revisão das Variáveis Elétricas

- **Corrente Elétrica** → Fluxo de elétrons em um condutor
 - Medida em *ampères* (A)
- **Tensão Elétrica** → Força exercida para movimentar elétrons (corrente)
 - Medida em *volts* (V)



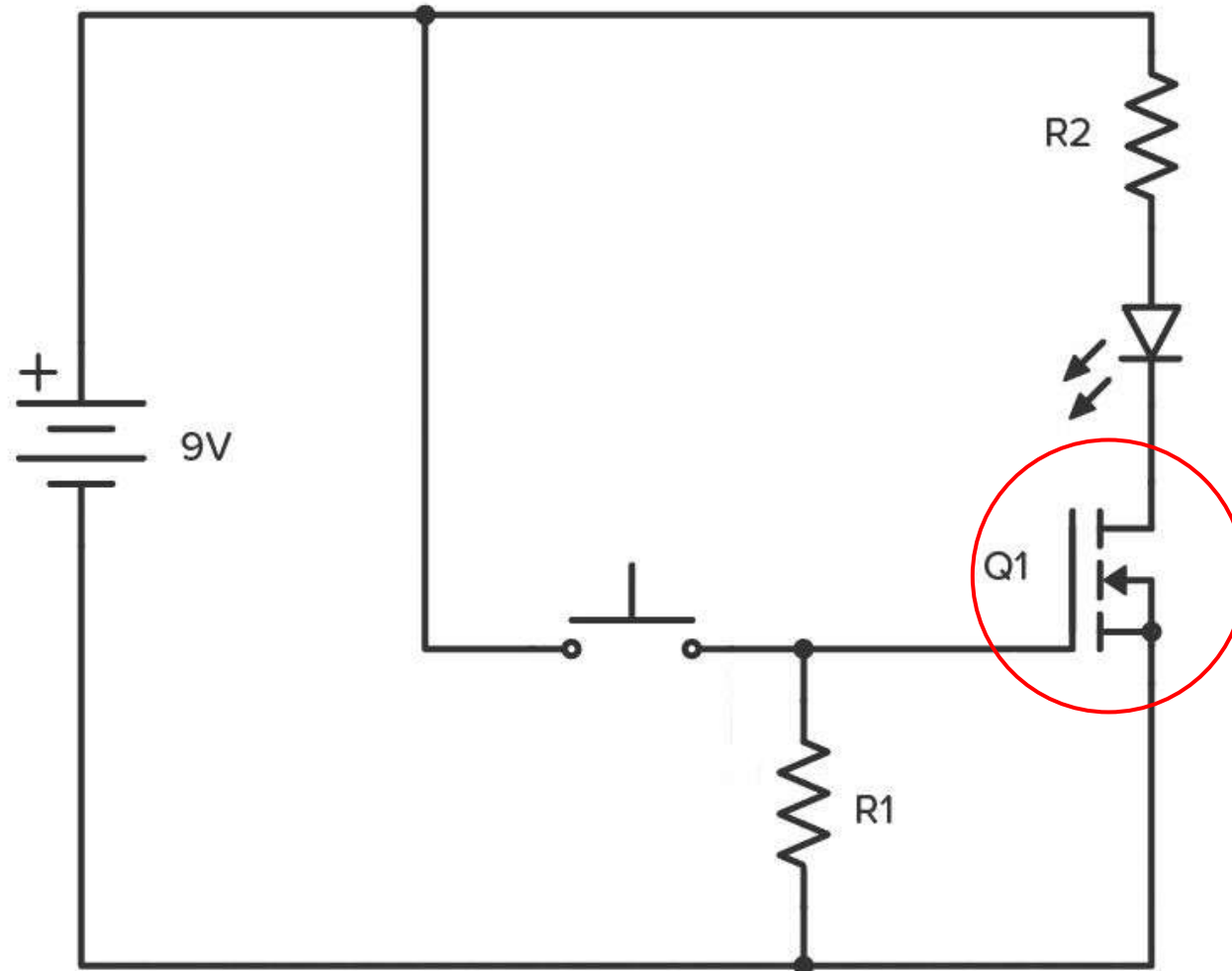
Como funciona o Transistor?

- Dispositivo de três terminais: porta (**G**ate), dreno (**D**rain) e fonte (**S**ource)
- Age como uma chave eletrônica:
 - Tensão em G (entrada) controla o fluxo de corrente entre D e S (saída)
- Existem outros tipos do transistor MOSFET (TBJ, JFET)
- Importante: Nível de tensão na entrada pode ser **alto** ou **baixo**



Exemplo de Circuito com Transistor

- Note a dualidade do circuito abaixo: ou está **ligado** ou está **desligado**



Transistor
MOSFET

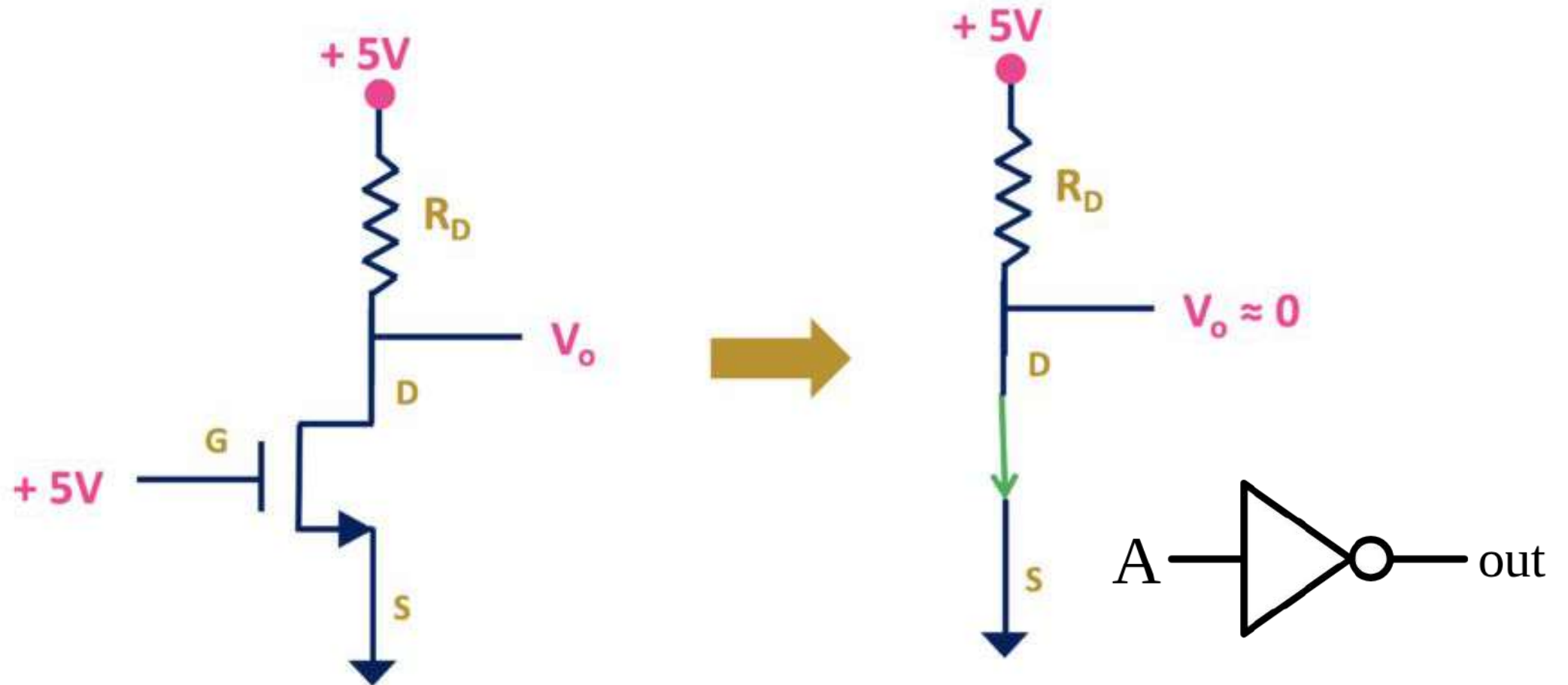
Níveis Lógicos

- **Abstração Digital** → Abstrair níveis de tensão usando níveis lógicos.
 - 5V representa verdadeiro, ligado, ou simplesmente 1.
 - 0V representa falso, desligado, ou simplesmente 0.
- Na realidade, dispositivos digitais respondem a uma faixa de tensão.
- **Dispositivos Digitais** → Implementam lógica digital por meio de transistores e níveis lógicos.
 - Fenômeno Físico → Níveis de Tensão.
 - Fenômeno Lógico → Estado do Circuito.
- **Portas lógicas** implementam operações lógicas usando transistores!



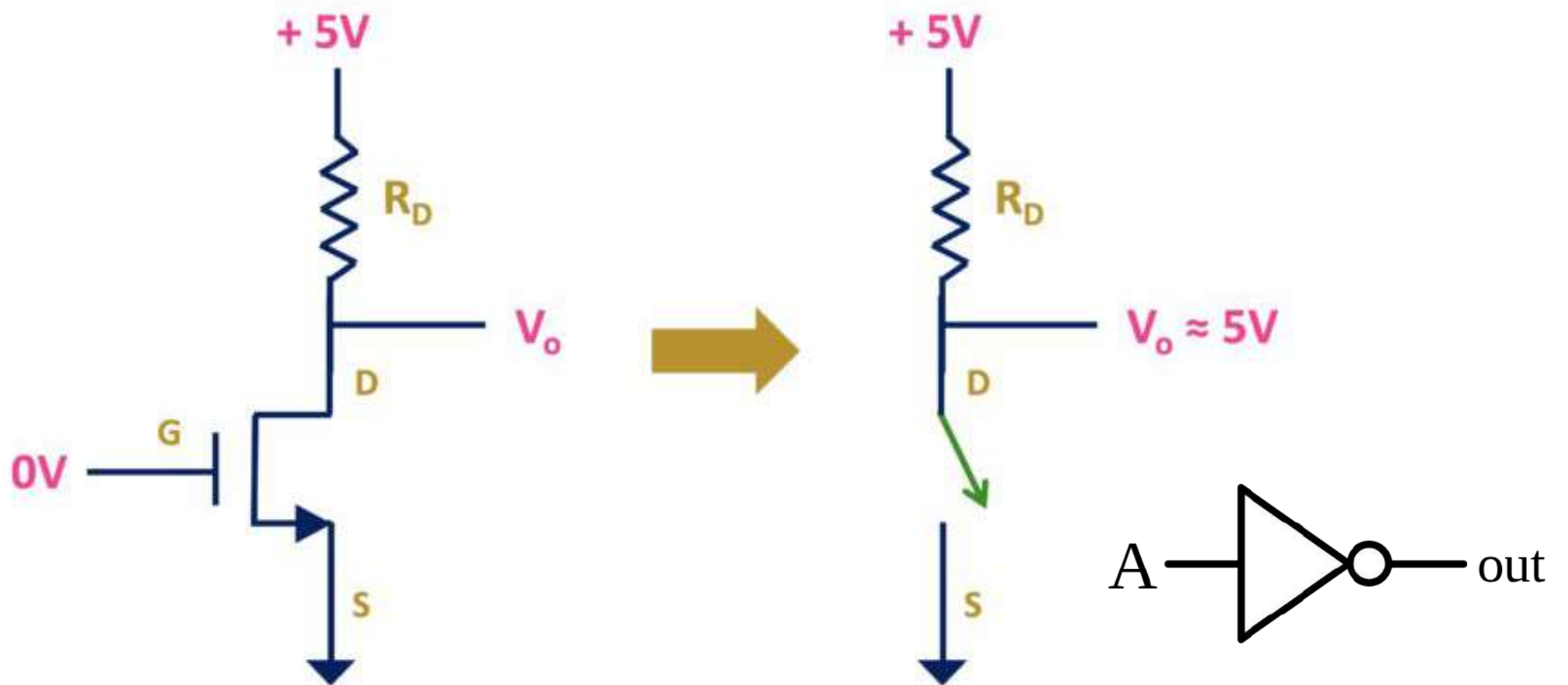
Função Lógica Inversora com Transistor (Ligado)

- Transistores são usados implementar funções lógicas → **Portas Lógicas**



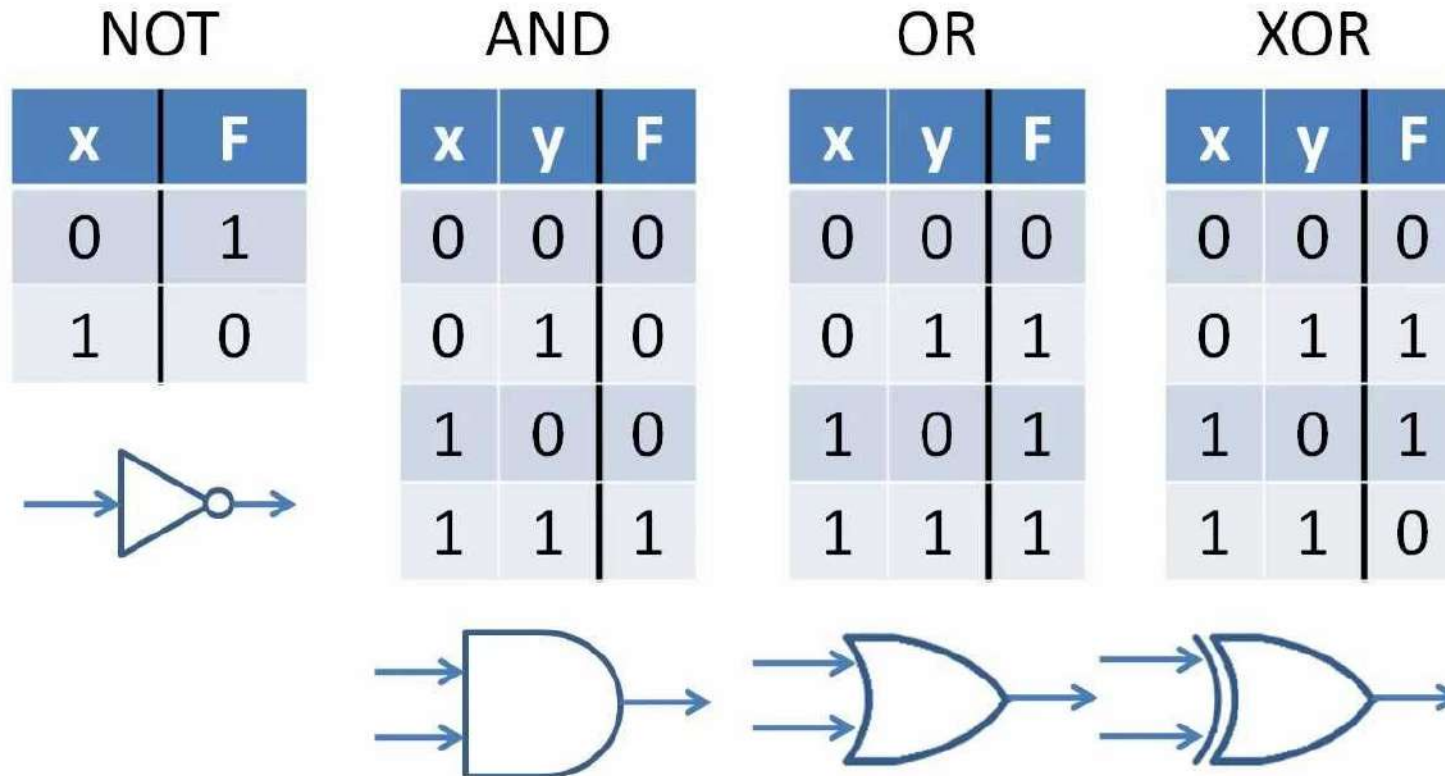
Função Lógica Inversora com Transistor (Desligado)

- Transistores são usados implementar funções lógicas → **Portas Lógicas**



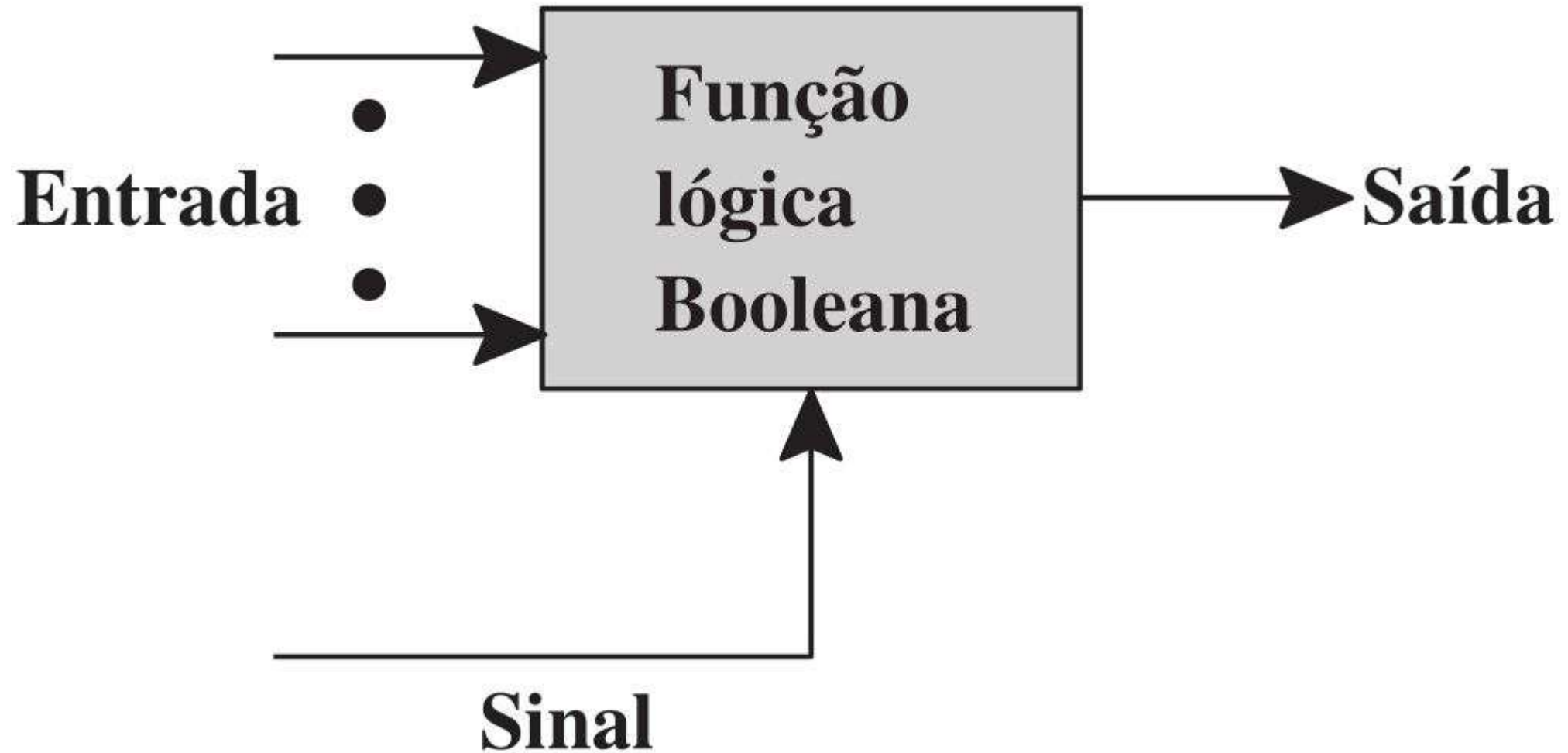
Portas Lógicas

- Componentes digitais que implementam as funções lógicas utilizando transistores
- Possuem uma ou mais entradas digitais, e saídas digitais dependentes das entradas
- Para diagramas, são usados os seguintes símbolos para as portas lógicas:



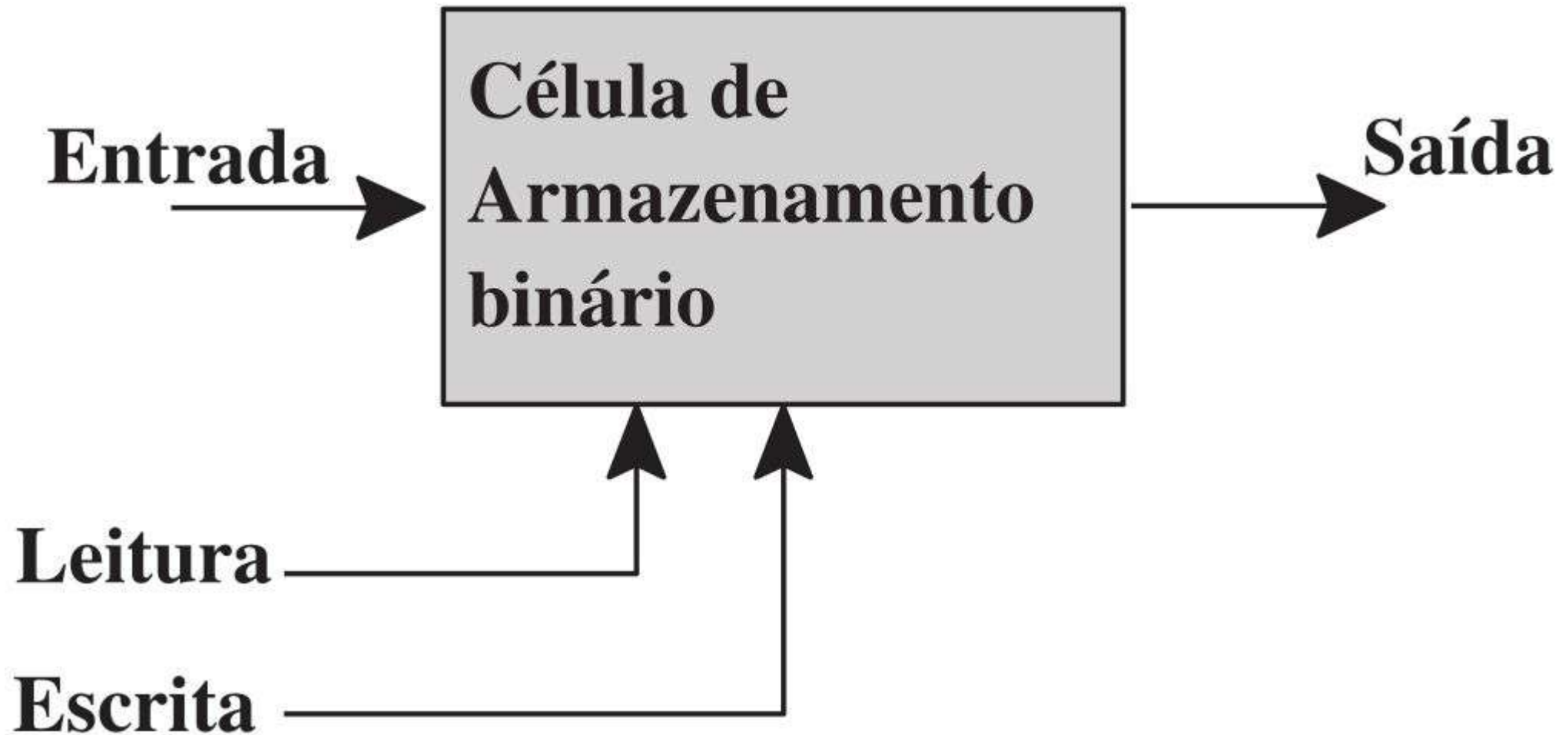
Circuitos Lógicos

- Possui **entradas** de **dados** e de **controle** e várias **saídas** → Implementam funções lógicas



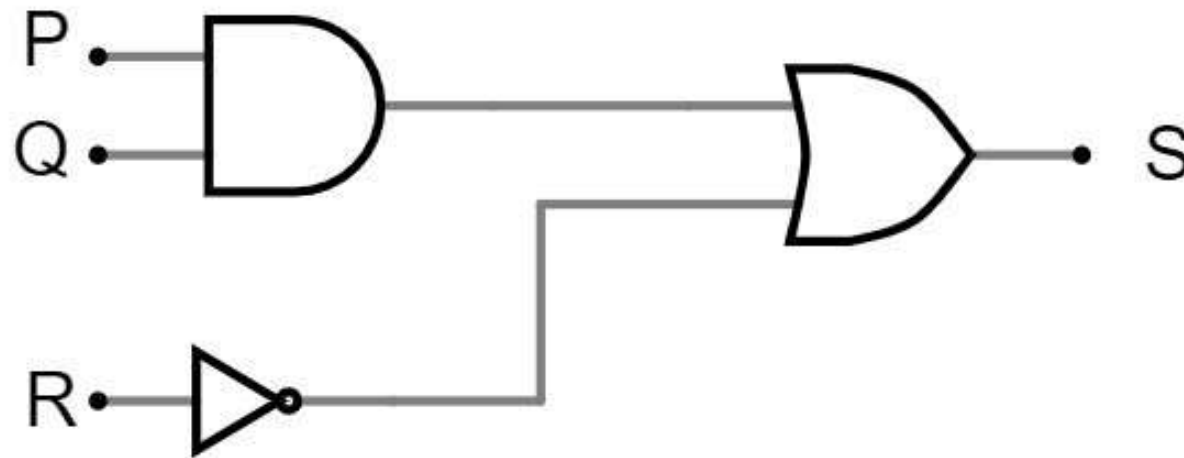
Células de Memória

- Armazena dados da entrada (via sinal de escrita) e os disponibiliza (via sinal de leitura)



Circuitos Digitais

- Circuitos que usam portas lógicas para gerar saídas a partir das entradas digitais
 - Pode ter várias portas lógicas internas interconectadas
 - Implementam expressões lógicas
- Um sistema digital recebe entradas digitais e gera saídas digitais
 - Composto pela interconexão de vários dispositivos lógicos internamente
- Exemplo: Circuito que implementa a expressão lógica $(P \text{ AND } Q) \text{ OR NOT}(R)$:



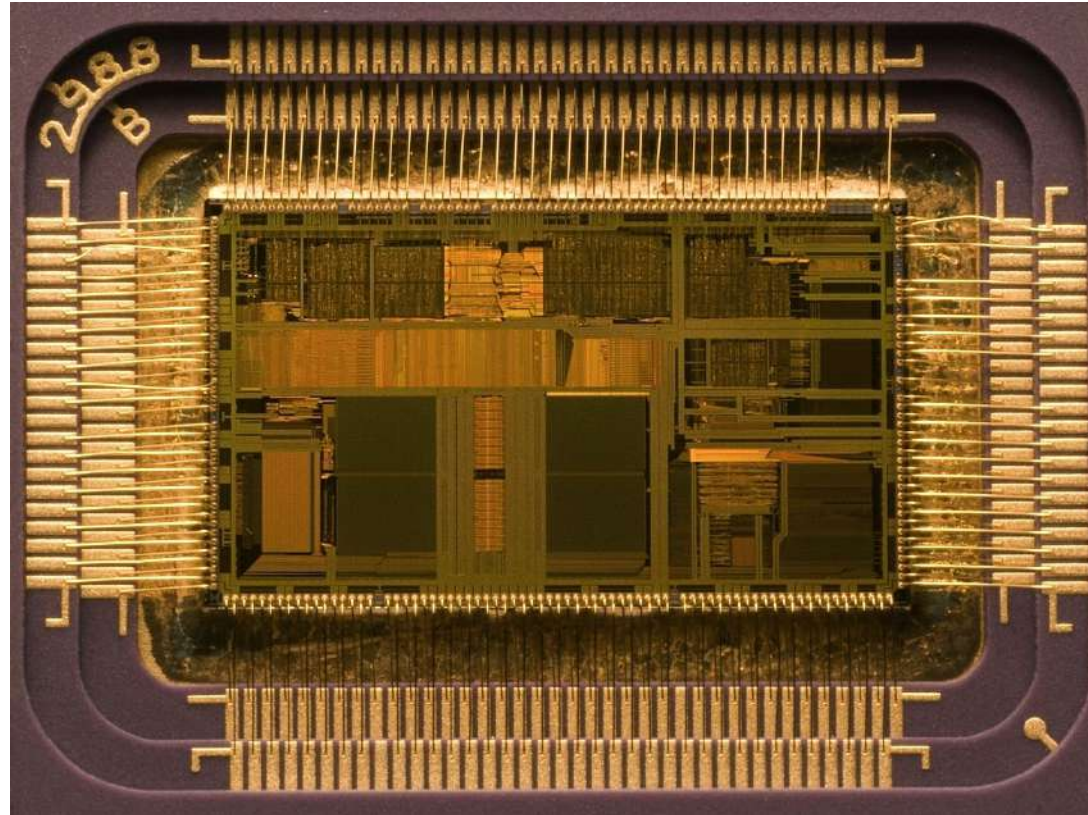


Conceitos Básicos e Evolução dos Computadores

Circuitos Semicondutores Integrados

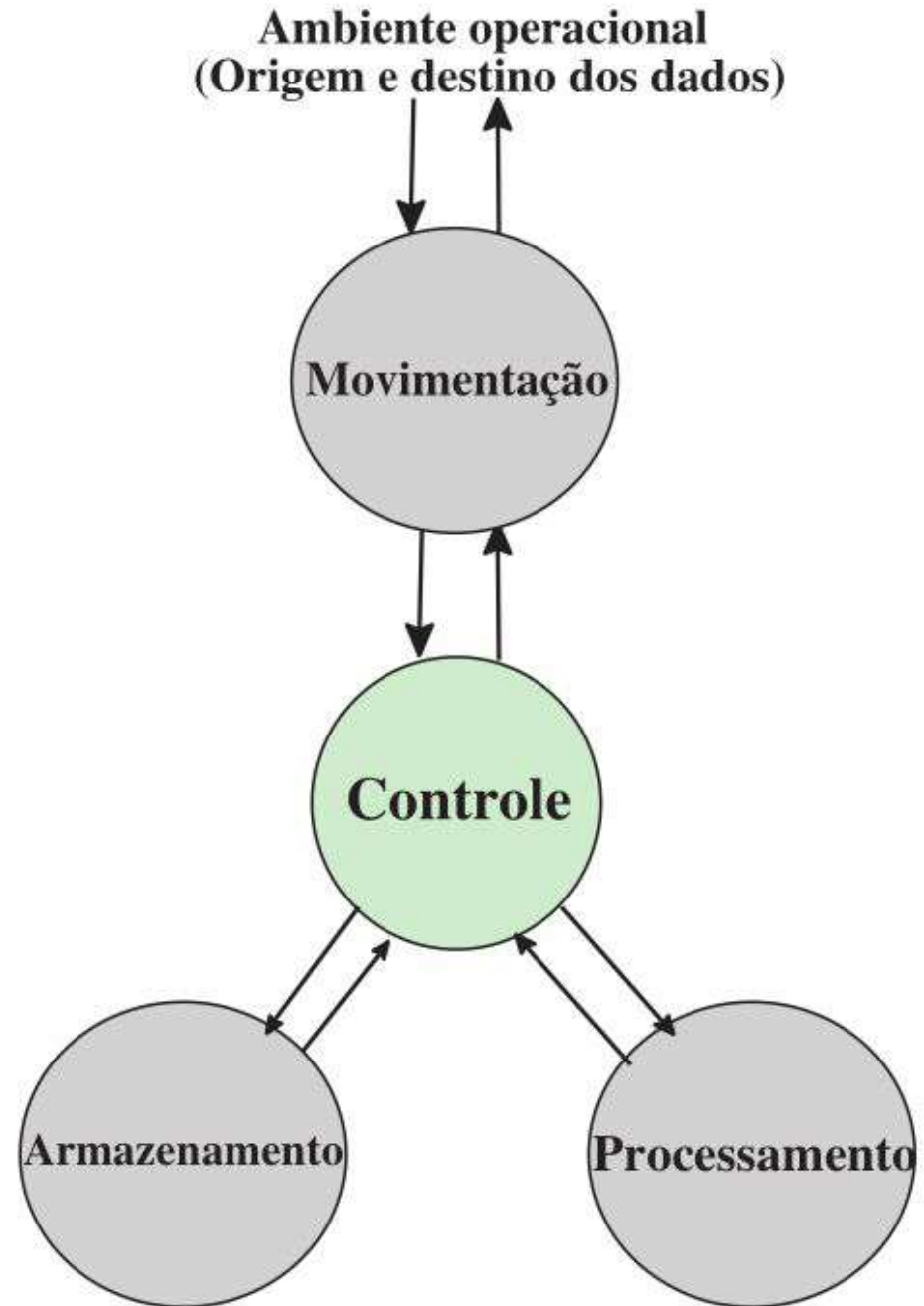
3ª Geração: Circuitos Integrados

- Nos anos 60, iniciou-se o encapsulamento de mais de um transistor num mesmo receptáculo
- Surgiu assim o **Circuito Integrado (CI)**
 - Os primeiros contavam com cerca de 8 a 10 transistores por encapsulamento (*chip*)



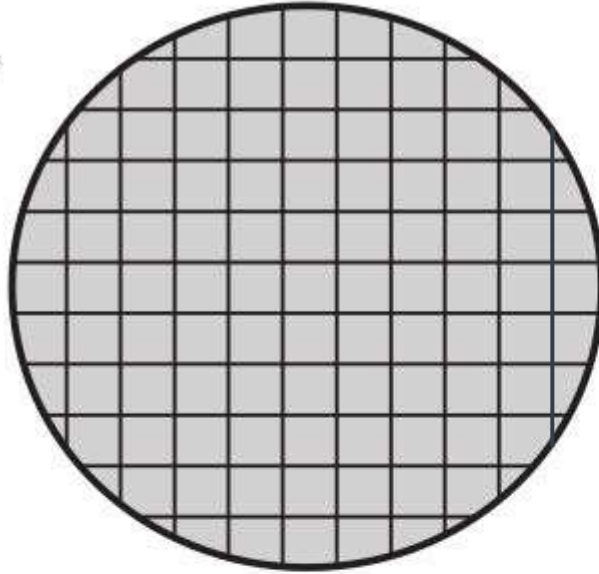
Funções e Elementos Fundamentais

- Podemos relacionar esses elementos fundamentais com nossas quatro funções básicas:
- **Armazenamento de dados:** fornecido pelas células de memória.
- **Processamento de dados:** fornecido por portas.
- **Movimentação de dados:** os caminhos entre os componentes são usados para movimentar dados da memória para a memória e da memória pelas portas até a memória.
- **Controle:** os caminhos entre os componentes podem transportar sinais de controle.

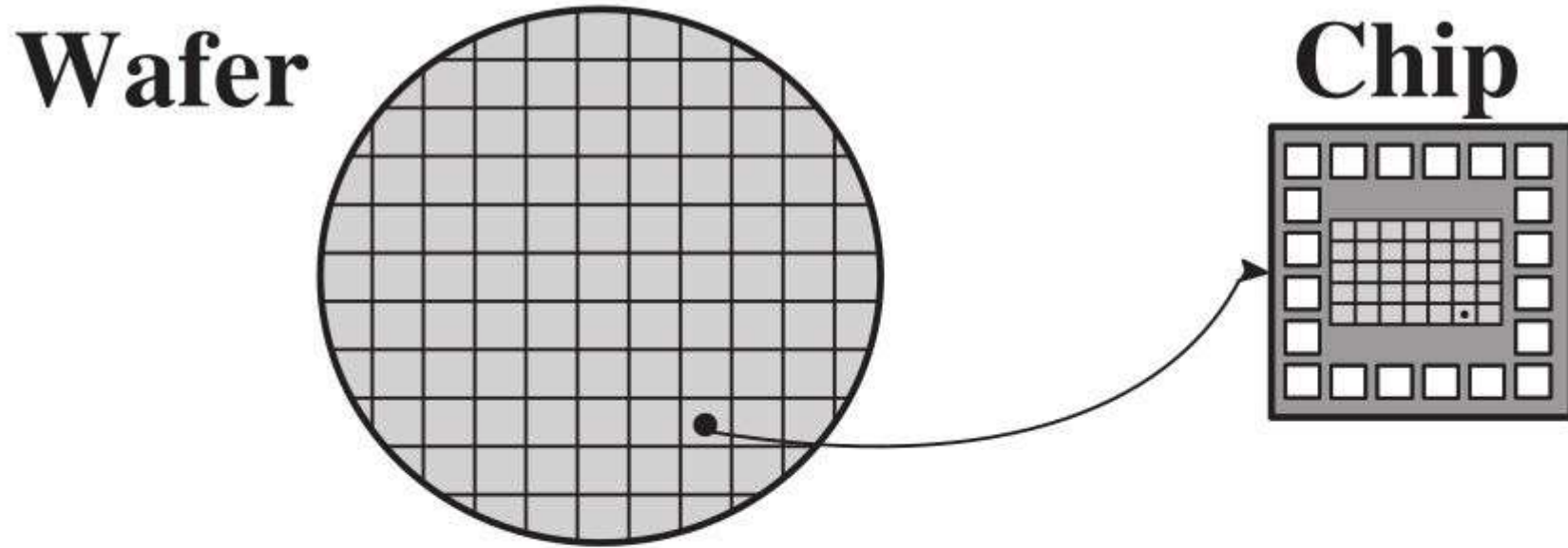


Estrutura de um Circuito Integrado

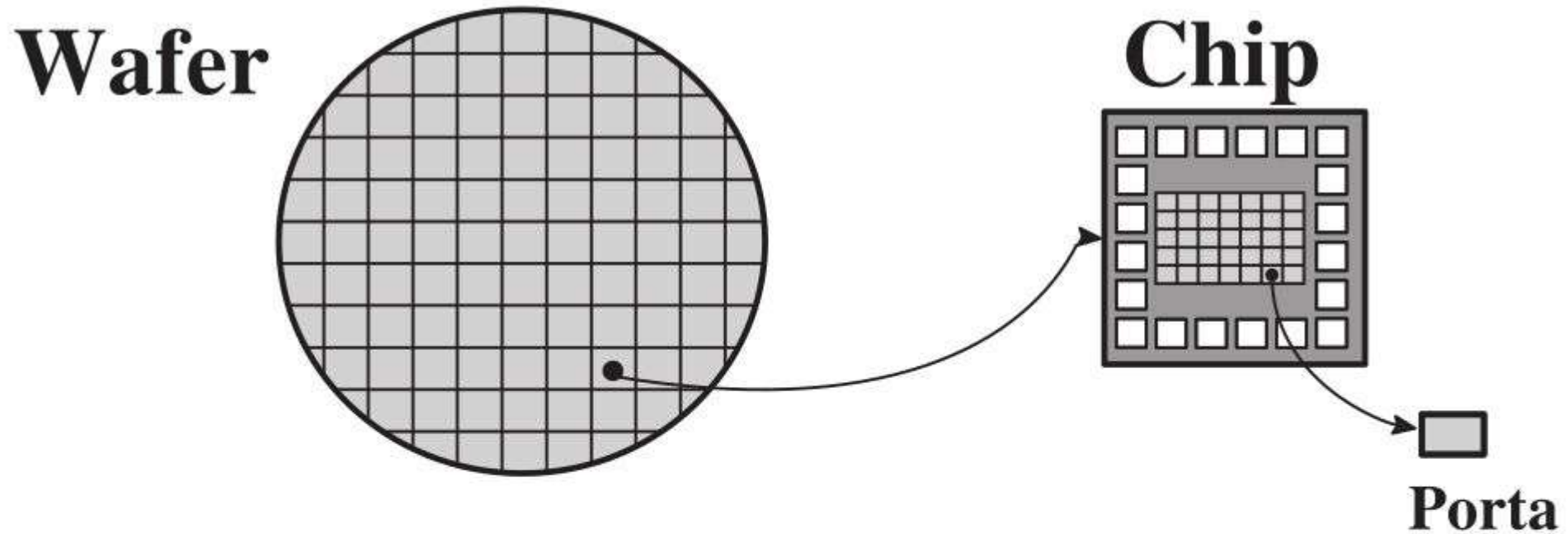
Wafer



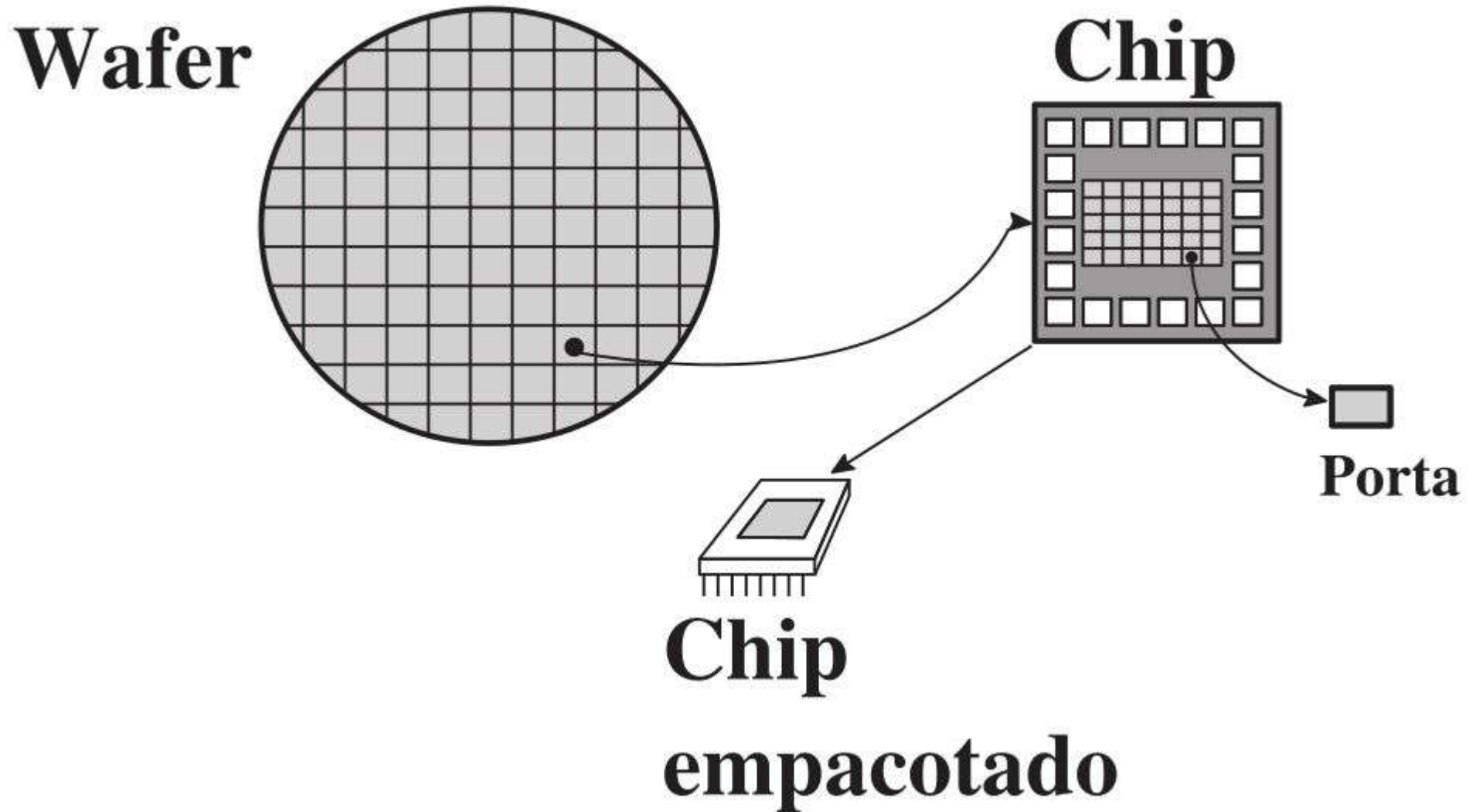
Estrutura de um Circuito Integrado



Estrutura de um Circuito Integrado



Estrutura de um Circuito Integrado

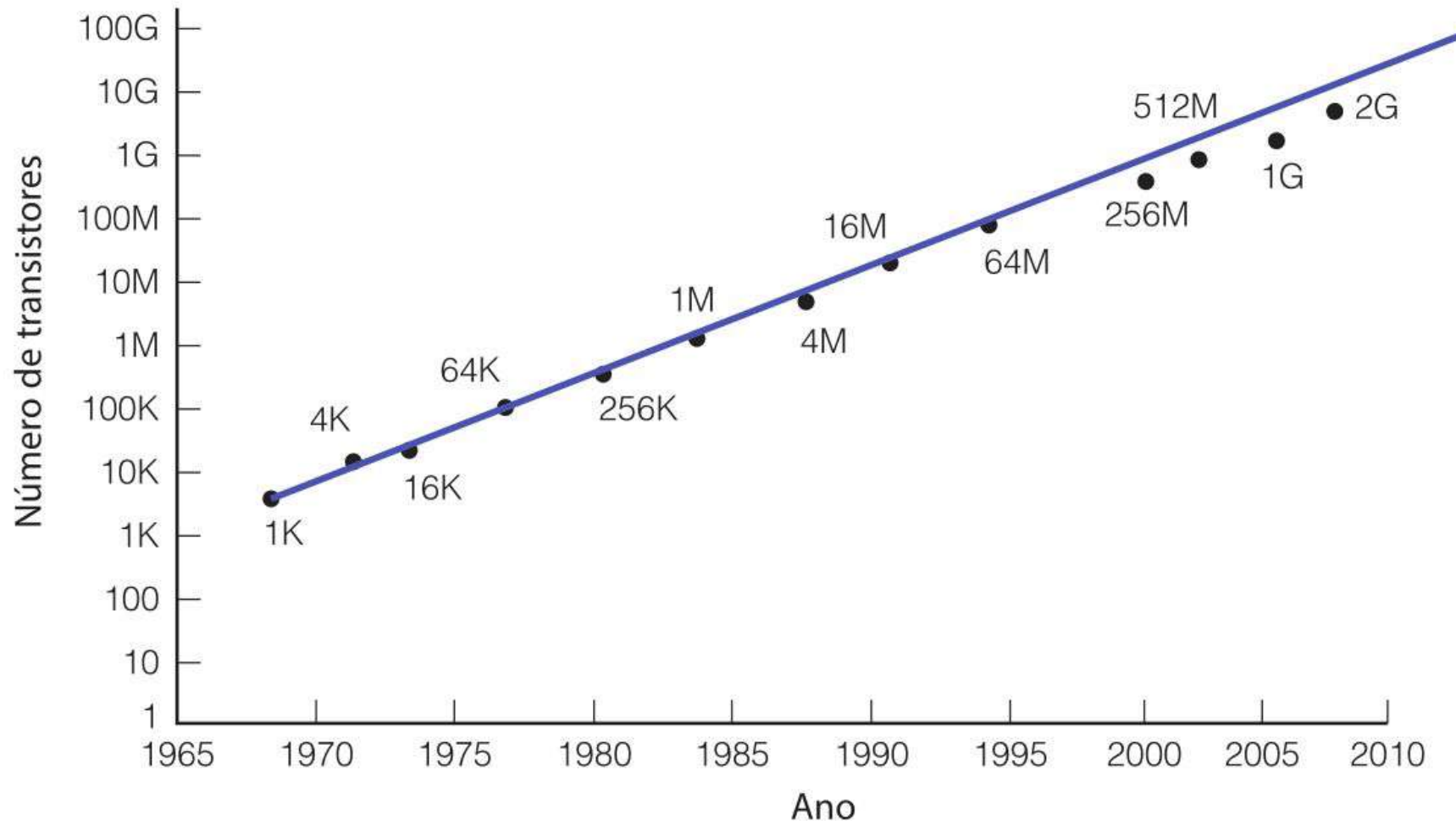


Lei de Moore

- Foi proposta por Gordon Moore → Cofundador da Intel
- Moore observou que o número de transistores que poderia ser colocado em um único chip estava **dobrando** a cada ano
- Ele previu que esse ritmo continuaria no futuro próximo
- Desde 1970, isso diminuiu um pouco → dobra a cada 18 meses
- Transistores cada vez menores → Consequências:
 - Custo de um chip permaneceu quase inalterado
 - Maior **densidade de empacotamento** → Caminhos elétricos mais curtos, gerando maior desempenho.
 - Menor tamanho oferece maior flexibilidade
 - Redução nos requisitos de potência e resfriamento
 - Menos interconexões aumenta a confiabilidade

Gráfico da Lei de Moore

A lei de Moore prevê um aumento anual de 60% no número de transistores que podem ser colocados em um chip. Os dados pontuais informados nesta figura são tamanhos de memórias em bits.



Lei de Moore ainda vale? Vem aí a Lei de Huang!

NOVAS REGRAS

CEO da NVIDIA diz que "Lei de Moore morreu"; o que vale agora é "lei de Huang"

Jensen Huang afirma que a NVIDIA está pronta para dobrar o desempenho de seus chips em apenas três meses, desafiando os limites do setor.



Gustavo Bonato Abrão



Hoje, o desempenho não cresce só com silício. Ele cresce com sistemas. Com interconexões. Com arquiteturas pensadas para operar em escala

Jensen Huang, CEO da NVIDIA

Resumo das Gerações dos Computadores

- Válvula → 1946-1957
- Transistor → 1958-1964
- Integração em Pequena Escala (SSI) → 1965 em diante
 - Até 100 dispositivos em um chip
- Integração em Média Escala (MSI) → 1971
 - 100-3.000 dispositivos em um chip
- Integração em Larga Escala (LSI) → 1971-1977
 - Mais de 1.000 componentes em um chip
- Integração em Muito Larga Escala (VLSI) → 1978-1991
 - Mais de 10.000 componentes em um chip
- Integração em Ultra Larga Escala (ULSI) → 1991-atualidade
 - Mais de 1.000.000.000 dispositivos em um chip

Tabela Resumo das Gerações dos Computadores

- Veja um [vídeo](#) que resume bem esse histórico

Geração	Datas aproximadas	Tecnologia	Velocidade normal (operações por segundo)
1	1946–1957	Válvula	40.000
2	1957–1964	Transistor	200.000
3	1965–1971	Integração em pequena e média escala	1.000.000
4	1972–1977	Integração em grande escala	10.000.000
5	1978–1991	Integração em escala muito grande	100.000.000
6	1991–	Integração de escala ultra grande	> 1.000.000.000



Conceitos Básicos e Evolução dos Computadores

Evolução da Arquitetura Intel x86

Evolução da Arquitetura Intel x86

- Duas arquiteturas mais utilizadas → x86 e ARM ⇔ Propostas Diferentes!
 - **x86** → Arquitetura CISC (complexa) para desktops (foco em desempenho)
 - **ARM** → Arquitetura RISC (reduzida) para sistemas embarcados (foco em performance *per Watt*)
- Iniciou-se com o **8080**, de 8 bits → Usado no primeiro computador pessoal, o **Altair**
- Evoluiu para o **8086**, de 16 bits → Primeiro processador da família x86
- Posteriormente, veio o **80386**, de 32 bits → Permitia multitarefa e tinha vários recursos
- Depois, introduziu o **Itanium**, de 64 bits → Maior processamento em servidores
 - **Core 2** foi o primeiro processador comercial da Intel de 64 bits (e o **Opteron** da AMD, pioneiro)
- Hoje em dia é uma arquitetura com recursos muito poderosos e.g. SSE4 e AVX512



Processadores Intel da Década de 1970

	(a) Processadores da década de 1970				
	4004	8008	8080	8086	8088
Introduzido	1971	1972	1974	1978	1979
Velocidade de clock	108 kHz	108 kHz	2 MHz	5 MHz, 8 MHz, 10 MHz	5 MHz, 8 MHz
Largura do barramento	4 bits	8 bits	8 bits	16 bits	8 bits
Número de transistores	2.300	3.500	6.000	29.000	29.000
Dimensão da tecnologia de fabricação (μm)	10	8	6	3	6
Memória endereçável	640 bytes	16 kB	64 kB	1 MB	1 MB

Processadores Intel da Década de 1980

	(b) Processadores da década de 1980			
	80286	386TM DX	386TM SX	486TM DX CPU
Introduzido	1982	1985	1988	1989
Velocidade de clock	6–12,5 MHz	16–33 MHz	16–33 MHz	25–50 MHz
Largura do barramento	16 bits	32 bits	16 bits	32 bits
Número de transistores	134.000	275.000	275.000	1,2 milhão
Dimensão da tecnologia de fabricação (μm)	1,5	1	1	0,8–1
Memória endereçável	16 MB	4 GB	16 MB	4 GB
Memória virtual	1 GB	64 TB	64 TB	64 TB
Cache	—	—	—	8 kB

Processadores Intel da Década de 1990

	(c) Processadores da década de 1990			
	486TM SX	Pentium	Pentium Pro	Pentium II
Introduzido	1991	1993	1995	1997
Velocidade de clock	16–33 MHz	60–166 MHz,	150–200 MHz	200–300 MHz
Largura do barramento	32 bits	32 bits	64 bits	64 bits
Número de transistores	1,185 milhão	3,1 milhões	5,5 milhões	7,5 milhões
Dimensão da tecnologia de fabricação (μm)	1	0,8	0,6	0,35
Memória endereçável	4 GB	4 GB	64 GB	64 GB
Memória virtual	64 TB	64 TB	64 TB	64 TB
Cache	8 kB	8 kB	512 kB L1 e 1 MB L2	512 kB L2

Processadores Intel Recentes

	(d) Processadores recentes			
	Pentium III	Pentium 4	Core 2 Duo	Core i7 EE 4960X
Introduzido	1999	2000	2006	2013
Velocidade de clock	450–660 MHz	1,3–1,8 GHz	1,06–1,2 GHz	4 GHz
Largura do barramento	64 bits	64 bits	64 bits	64 bits
Número de transistores	9,5 milhões	42 milhões	167 milhões	1,86 bilhão
Dimensão da tecnologia de fabricação (nm)	250	180	65	22
Memória endereçável	64 GB	64 GB	64 GB	64 GB
Memória virtual	64 TB	64 TB	64 TB	64 TB
Cache	512 kB L2	256 kB L2	2 MB L2	1,5 MB L2/15 MB L3
Número de cores	1	1	2	6



Conceitos Básicos e Evolução dos Computadores

Sistemas Embarcados

Computador de Propósito Geral e Específico

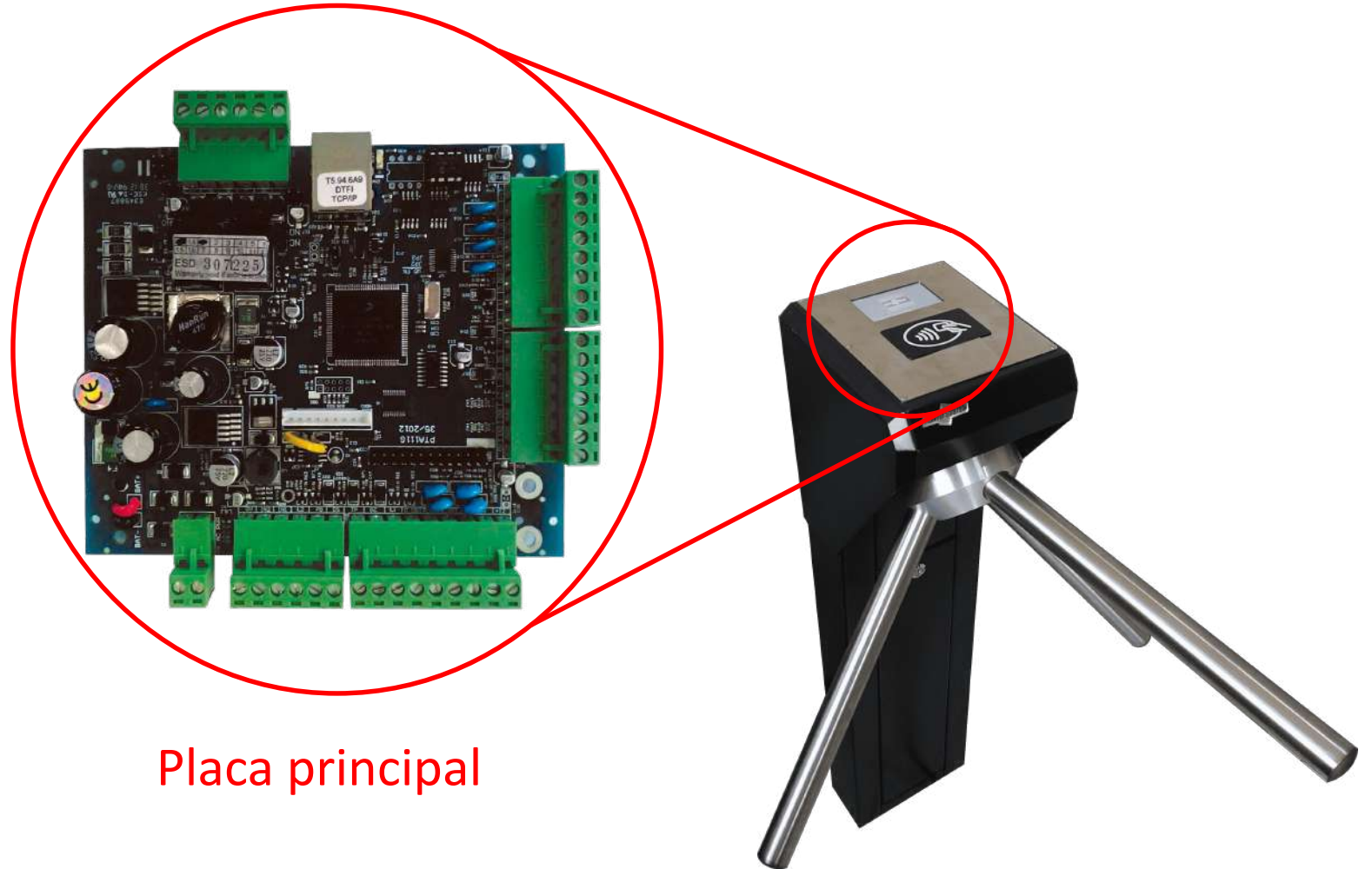
- **Propósito Geral** → Realiza várias tarefas diferentes, como **aplicações do dia-a-dia**
 - Exemplo: Computador pessoal com um processador x86-64
- **Propósito Específico** → Projetado para realizar uma **única tarefa**
 - Exemplo: Microcontrolador que controla uma catraca biometrica
- **Sistema Embarcado** → Um computador embutido em um sistema maior
 - Possui Propósito específico → Controle das partes elétricas e mecânicas



Sistema Computacional embarcado à uma Catraca

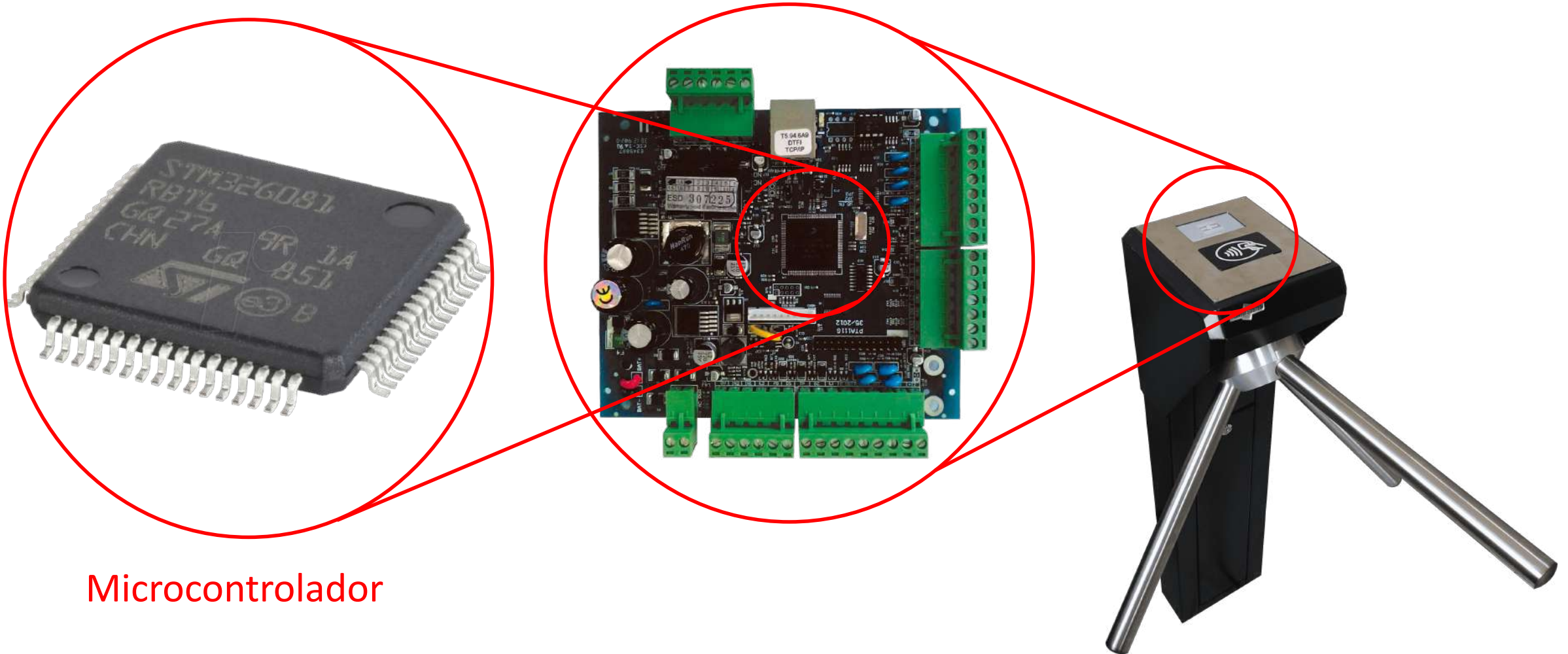


Sistema Computacional embarcado à uma Catraca



Placa principal

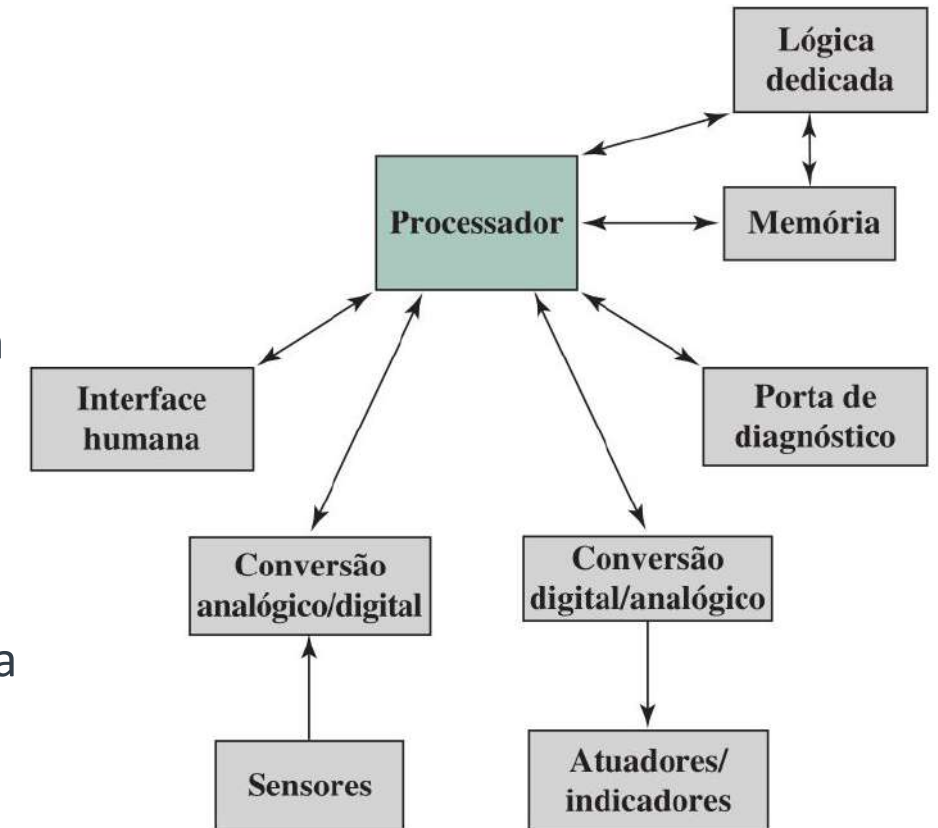
Sistema Computacional embarcado à uma Catraca



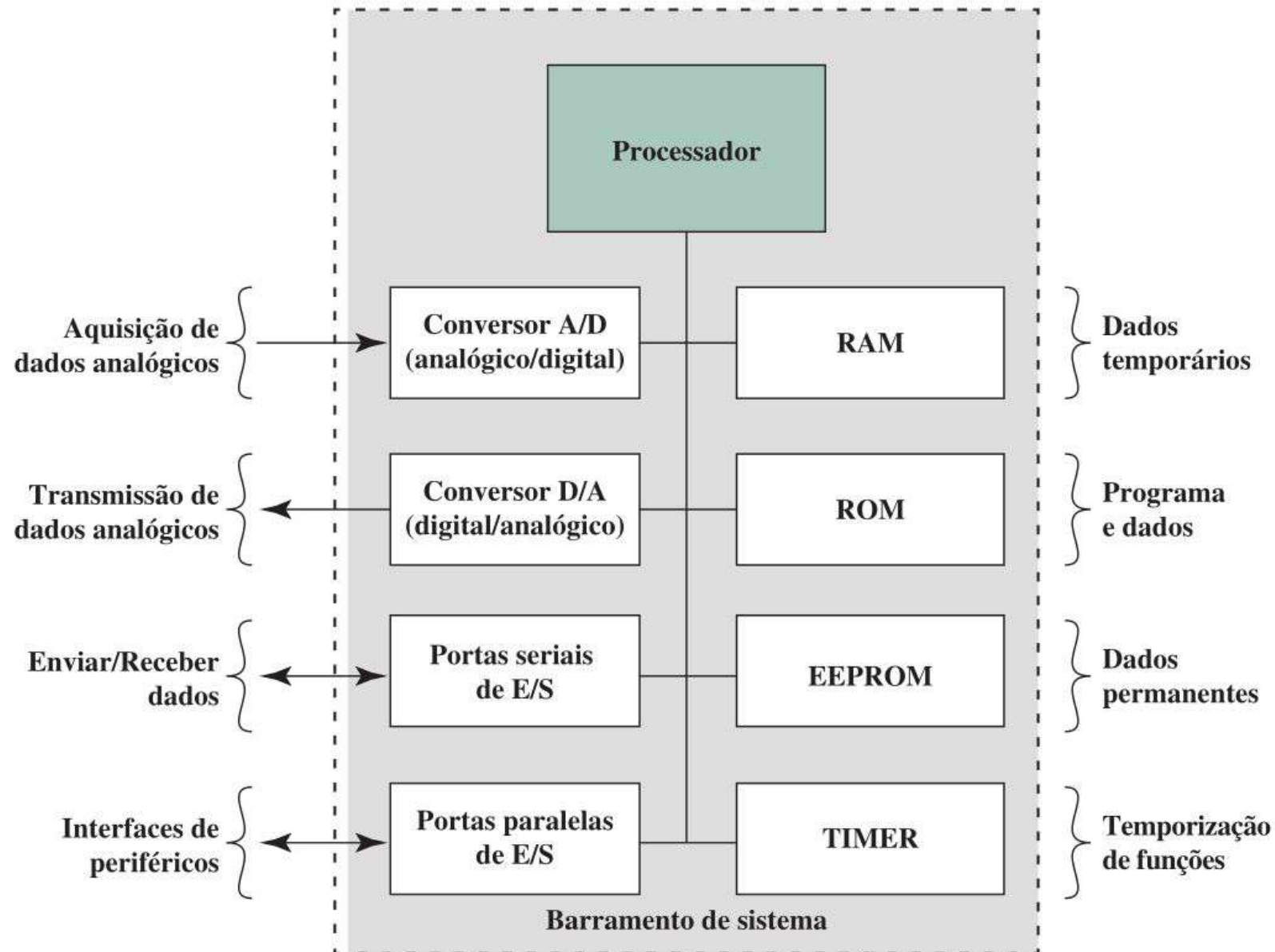
Microcontrolador

Organização de Sistemas Embarcados

- Possuem (geralmente) um **microcontrolador** como cérebro
 - Computador funcional em um único circuito integrado
 - Possui processador, memórias e periféricos em um *chip*
 - Pequenos, baratos e consomem pouca energia
 - Possui o mínimo de recursos para o funcionamento
 - Empacotamento, velocidade, memória e periféricos variam
- Sentem e atuam no ambiente via **sensores** e **atuadores**
 - O **sensor** lê uma característica física e transforma em sinal elétrico e.g. sente temperatura
 - O **atuador** transforma o sinal elétrico em uma característica física e.g. “atua” com um movimento



Elementos de um Microcontrolador



Internet das Coisas

- Vários dispositivos conectados pela Internet!
- Dispositivos cotidianos trocando informações pela rede e.g. carro, televisão, Alexa, luzes, etc...



Quantidade de Funcionalidades

- Alguns sistemas embarcados suportam várias funcionalidades
- **Termômetro** → Apenas lê sensor de temperatura, processo e mostra o display
- **Multimídia** → Pode realizar várias funcionalidades e ter até Sistema Operacional e.g. Android



Uma função



Várias funções



Conceitos Básicos e Evolução dos Computadores

Arquitetura ARM

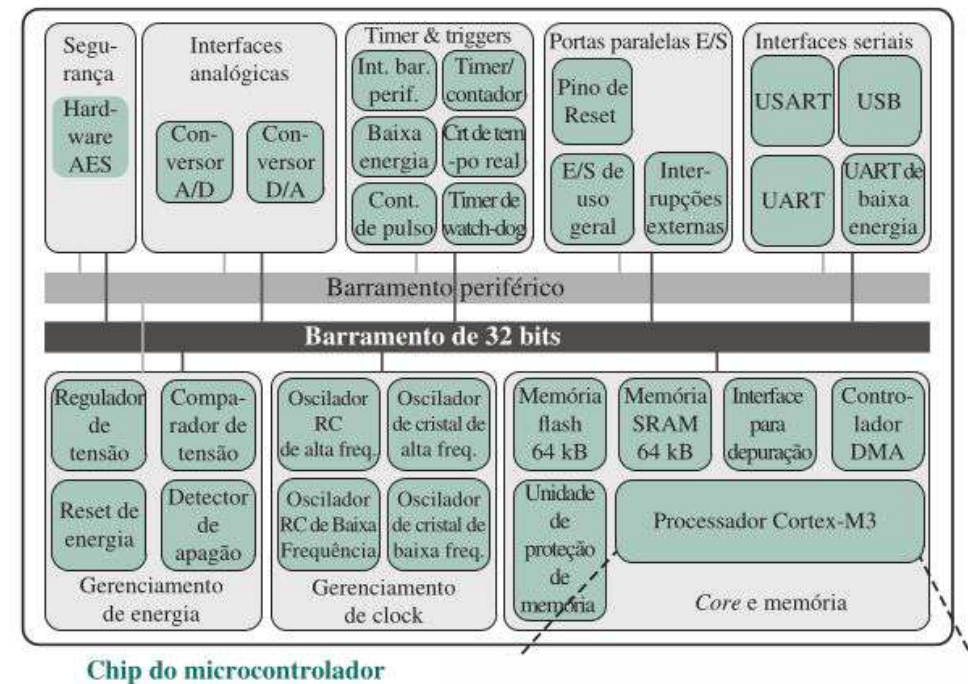
Arquitetura ARM

- Arquitetura de processadores RISC otimizada para sistemas embarcados
- Os *chips* ARM são processadores de alta velocidade → Ótimo *trade-off* consumo/potência
 - São conhecidos pelo pequeno tamanho do chip e pelo baixo consumo de energia.
- Muito usados em smartphones, veículos, televisões *smart*
 - Alguns notebooks estão começando a usar
- Possui alguns **conjuntos de instruções** para diferentes aplicações → 16/32 bits, 32 bits, 64 bits
 - Altas capacidades de processamento → Unidade vetorial **NEON**
 - Recursos para atuar em baixa potência → Modo *sleep*

The ARM logo, consisting of the lowercase letters 'arm' in a bold, blue, sans-serif font.

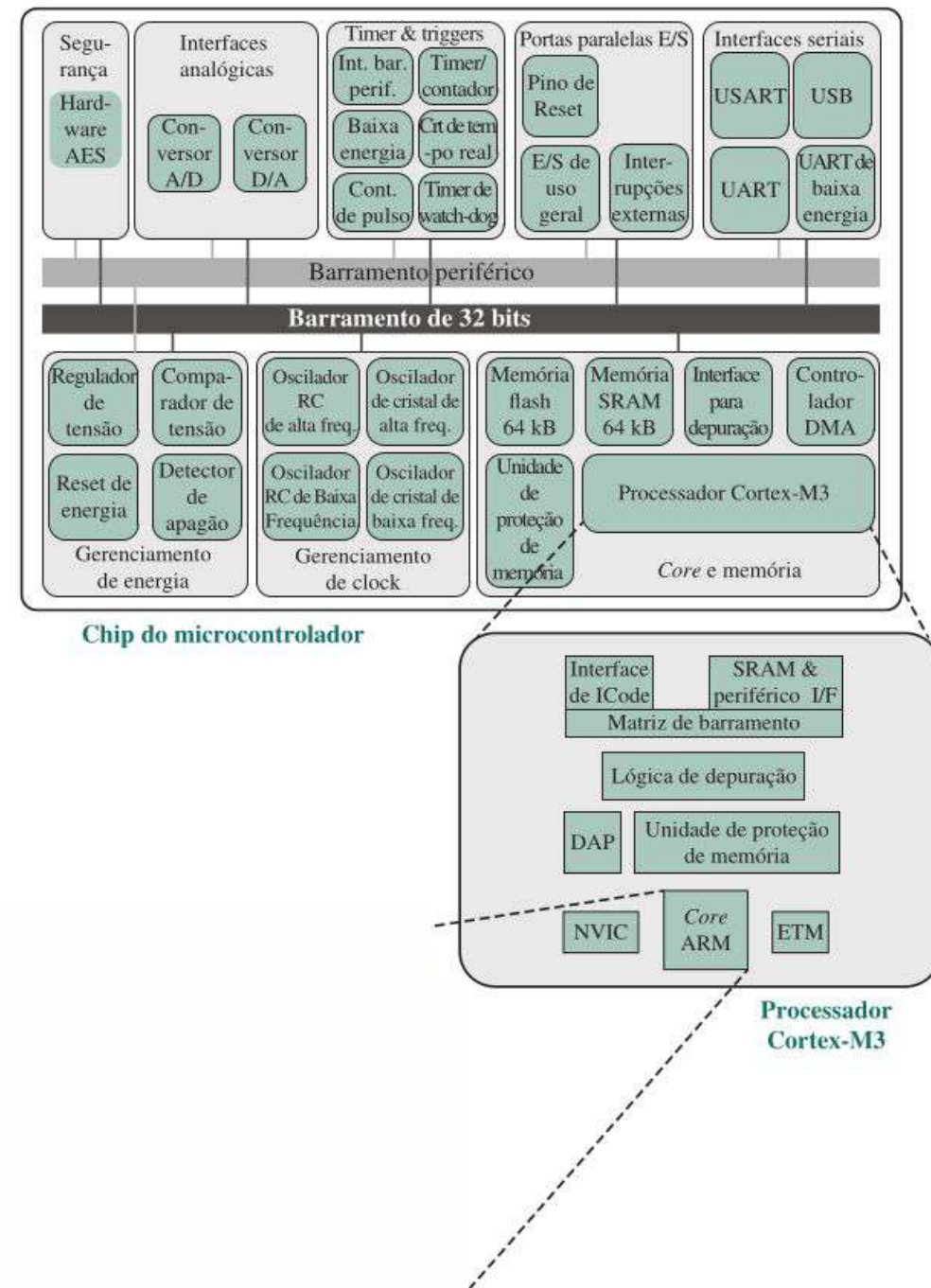
Microcontrolador baseado em ARM

- Há três perfis da arquitetura ARM:
- **Cortex-A** → *Application*
 - Alto processamento *per Watt* (não baseado em MCU)
 - Ex: *Smart TV, Smartphone, Leitor de eBook, modems, etc.*
- **Cortex-R** → *Real-time*
 - Determinístico e com baixa latência de resposta
 - Ex: Sistema de freio ABS, controladora de SSD, etc...
- **Cortex-M** → *Microcontroller*
 - Baixo consumo e barato (*low power*)
 - Ex: Brinquedos, smart watch, IoT, “sistemas burros”
- Exemplo: Chip de microcontrolador típico baseado no Cortex-M3



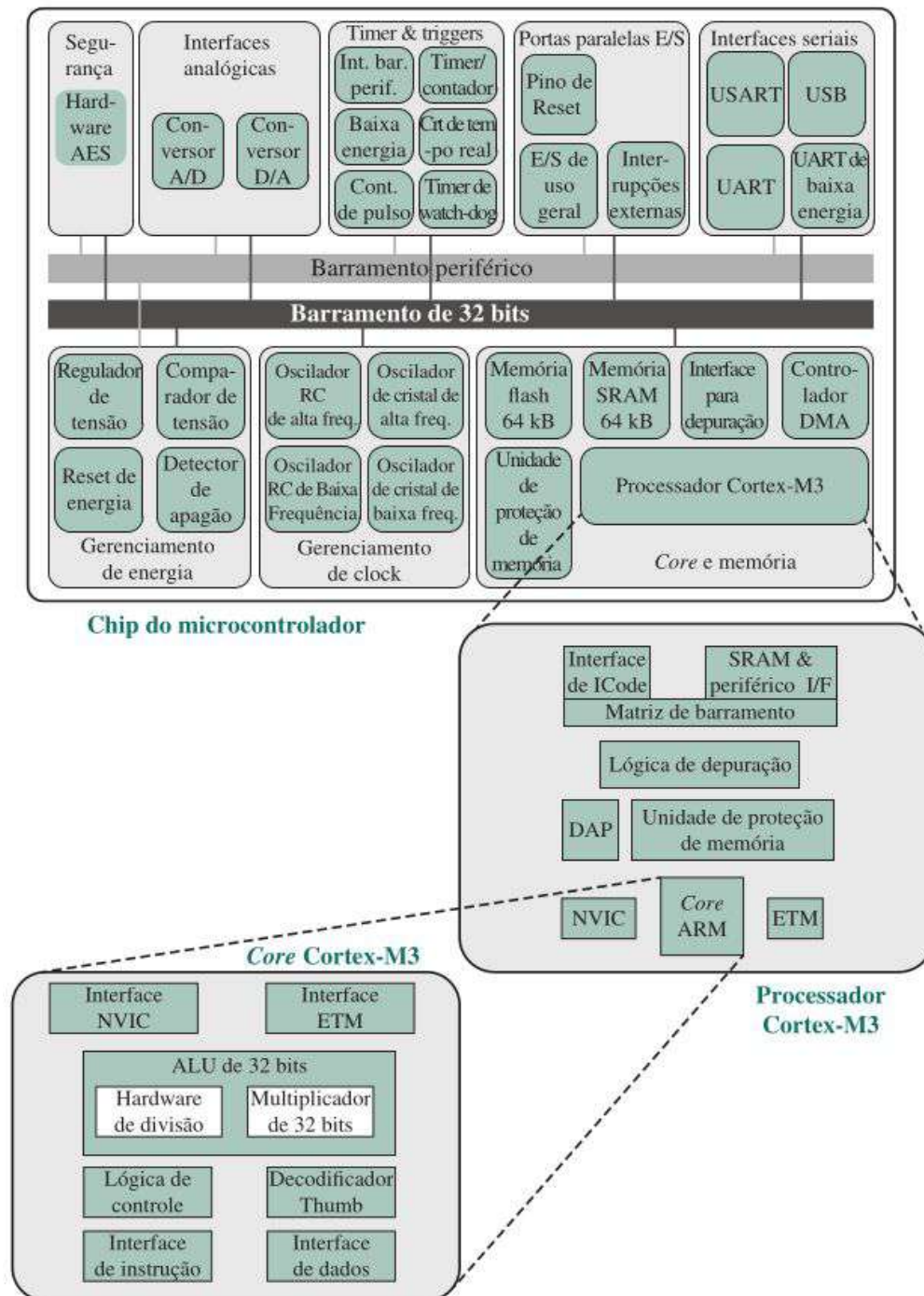
Microcontrolador baseado em ARM

- Há três perfis da arquitetura ARM:
- **Cortex-A** → *Application*
 - Alto processamento *per Watt* (não baseado em MCU)
 - Ex: *Smart TV, Smartphone, Leitor de eBook, modems, etc.*
- **Cortex-R** → *Real-time*
 - Determinístico e com baixa latência de resposta
 - Ex: Sistema de freio ABS, controladora de SSD, etc...
- **Cortex-M** → *Microcontroller*
 - Baixo consumo e barato (*low power*)
 - Ex: Brinquedos, smart watch, IoT, “sistemas burros”
- Exemplo: Chip de microcontrolador típico baseado no Cortex-M3



Microcontrolador baseado em ARM

- Há três perfis da arquitetura ARM:
- **Cortex-A** → *Application*
 - Alto processamento *per Watt* (não baseado em MCU)
 - Ex: *Smart TV, Smartphone, Leitor de eBook, modems, etc.*
- **Cortex-R** → *Real-time*
 - Determinístico e com baixa latência de resposta
 - Ex: Sistema de freio ABS, controladora de SSD, etc...
- **Cortex-M** → *Microcontroller*
 - Baixo consumo e barato (*low power*)
 - Ex: Brinquedos, smart watch, IoT, “sistemas burros”
- Exemplo: Chip de microcontrolador típico baseado no Cortex-M3





Conceitos Básicos e Evolução dos Computadores

Conclusão

Resumo da Aula

- Computadores evoluíram muito! Desde **válvulas** a **transistores** e **circuitos integrados**!
 - **Transistor** → Dispositivo eletrônico que permite o controle de elétrons, logo, de **bits**
 - Implementam portas lógicas e, portanto, computadores!
- Lei de Moore → Número de transistores que cabe em um CI dobra a cada 18 meses
- **Arquitetura x86** → Arquitetura com instruções complexas ⇔ Foco em **performance**
- **Arquitetura ARM** → Arquitetura com instruções mais simples ⇔ Foco em **consumo de energia**
- **Sistemas Embarcados** → Pequeno computador que controla um sistema maior
 - Possui um **microcontrolador** (ou microprocessador) em seu interior
 - Usa de **sensores** e **atuadores** para realizar ações

Conclusão

- Nessa Aula:
 - Conceitos Básicos e Evolução dos Computadores
- Bibliografia Principal:
 - Arquitetura e Organização de Computadores; Stallings, W.; 10ª Edição (Capítulo 1)
- Próxima Aula:
 - Sistemas Numéricos