

# Met odologia de HW/ SW Co-design

---

*Edna Barros (ensb@cin.ufpe.br)*



*Centro de Informática – UFPE*

# Tópicos

---

- Componentes de um sistema embarcado
- Desafios de Projeto:
  - Otimização das métricas
  - Custo
  - Time-to-market
- Tecnologias Essenciais
  - Processadores
  - IC
  - Projeto



# Tópicos

---

- Técnicas de Projeto
  - Necessidade
    - Gap de Produtividade
  - Evolução
    - Técnicas de hardware e de software
  - Técnicas atuais de Projeto de Hardware

# Sistemas Embarcados – Visão Geral

---

- Sistemas computacionais estão em quase todos os equipamentos
- Geralmente pensamos em computadores pessoais (“desktop”) ...
  - PCs 
  - Laptops 
  - Mainframes
  - Servidores
- Mas existem outros tipos de sistemas computacionais...
  - Bem mais comum...

# Sistemas Embarcados – Visão Geral

- Sistemas Computacionais Embarcados
  - Sistemas computacionais dentro de equipamentos eletrônicos
  - Difícil definição: semelhança com computadores pessoais
  - Milhões de unidades produzidas anualmente
  - Estimativa: 50 unidades por residência e por automóvel

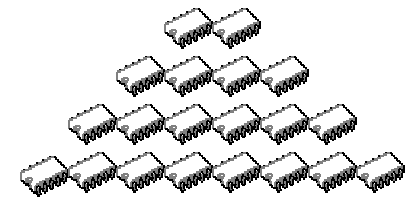
Computadores estão aqui..



E aqui...



E mesmo aqui...

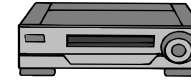
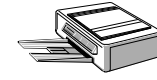
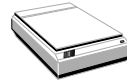


Tais processadores possuem alto volume de produção e baixo custo.

# Uma pequena lista de Sistemas Embarcados

Freios ABS  
Camaras auto-foco  
Lavadoras automáticas  
Briquedos  
Sistemas de Transmissão  
Eletrônica de avião  
Carregadores de bateria  
Filmadoras  
Telefones celulares  
Telefones sem fio  
Sistema de navegação  
Camaras digitais  
Disk drives  
Leitoras de cartão  
Instrumentos eletrônicos  
Controle de Fábricas  
Máquinas de Fax  
Identificadores de digitais  
Sistemas de segurança  
Instrumentos medicos

Modems  
Decodificadores MPEG  
Cartões de rede  
Roteadores  
Pagers  
Copiadoras  
Pontos de venda  
Video games  
Impressoras  
Telefones via satélite  
Scanners  
Forno de micro-ondas  
Reconhecedores de voz  
Sistemas de som  
Sistemas de teleconferencia  
Televisores  
Controladores de temperatura  
TV set-top boxes  
Vídeo cassette e DVD's  
Lavadoras e secadoras

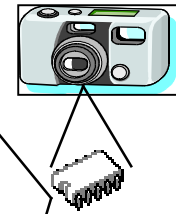
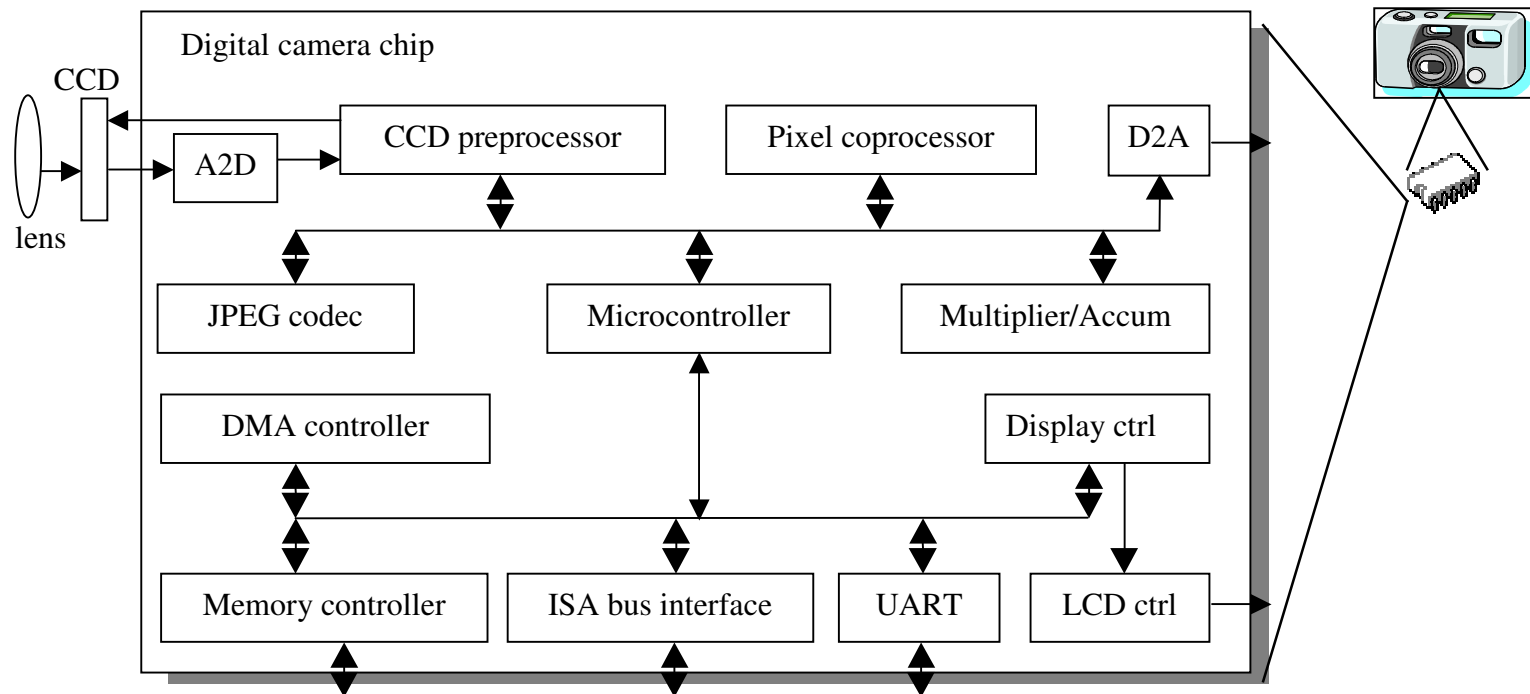


# Algumas características dos Sistemas Embarcados

---

- Funcionalidade definida
  - Executa um único programa repetidamente
- Restrições mais rígidas
  - Baixo custo, baixo consumo de potência, pequenos, rápidos, etc.
- Reativos e de tempo real...
  - Atua continuamente com o ambiente e reage a suas mudanças
  - Deve computar alguns resultados em tempo real (sem atrasos)

# Exemplo de um Sistema Embarcado



- Funcionalidade única
- Restrições de projeto críticas
- Reativa e de tempo real



# Desafios de Projeto

---

- Objetivo principal:
  - Desenvolver uma implementação com a desejada funcionalidade
- Desafios de projeto:
  - Otimização “simultânea” das diferentes métricas de projeto
- Métrica de Projeto:
  - Uma característica mensurável de uma implementação

# Desafios de Projeto: Otimização das Métricas de Projeto

---

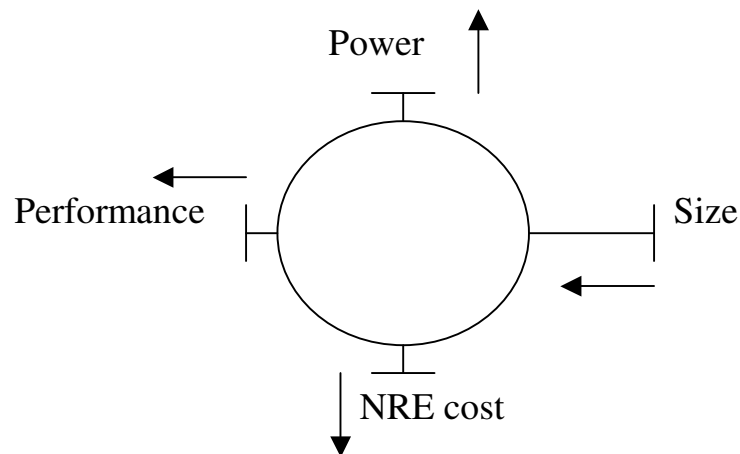
- Métricas mais usadas:
  - Custo unitário: custo para produzir cada unidade do sistema (excluindo os custos de projeto – não recorrentes)
  - Custo NRE (Non-Recurring Engineering cost): custo de projeto do sistema
  - Tamanho
  - Desempenho: tempo de execução ou taxa de processamento do sistema
  - Potência
  - Flexibilidade: a habilidade de mudar a funcionalidade sem grande aumento do custo NRE

# Desafios de Projeto: Otimização das Métricas de Projeto

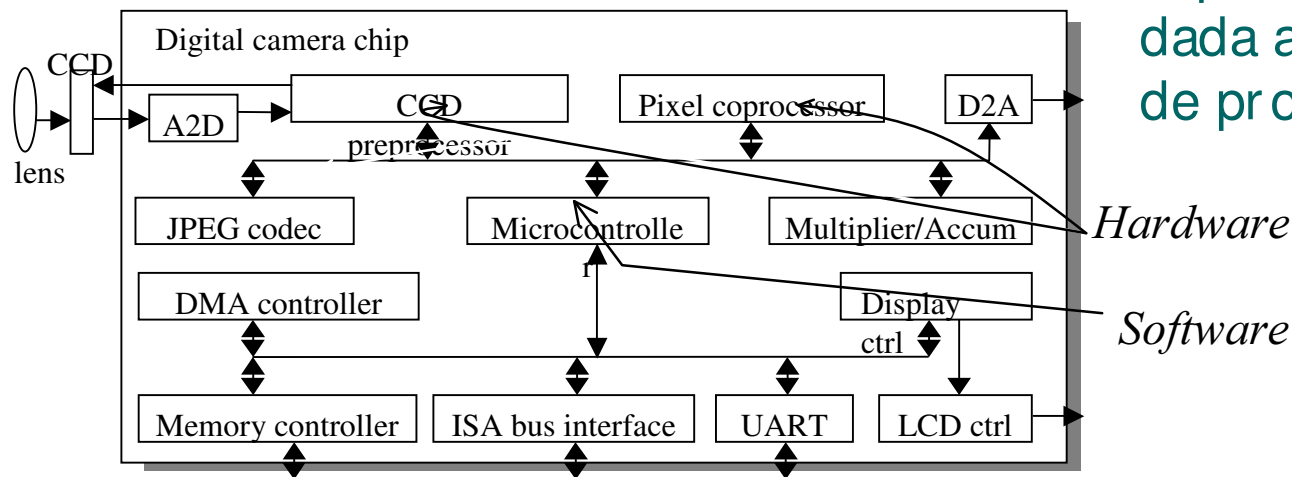
---

- Métricas mais usadas:
  - Tempo de prototipação
  - Time-to-market
  - Manutenibilidade: a habilidade de modificar o sistema após início da produção
  - Correção, segurança, et c...

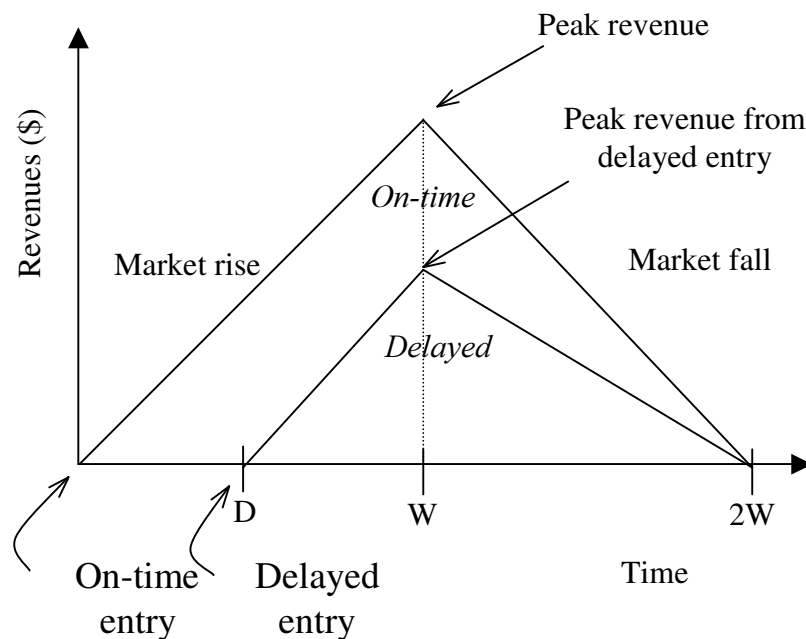
# Otimização das Métricas de Projeto: Conflicto



- Conhecimento de **software and hardware** é necessário para a otimização das métricas
  - O projetista deve conhecer as várias tecnologias para escolher a melhor implementação para a dada aplicação e restrições de projeto.



# Time-to-market : uma métrica crítica



- Area =  $1/2 * \text{base} * \text{height}$ 
  - Sem atraso =  $1/2 * 2W * W$
  - Com atraso =  $1/2 * (W-D+W) * (W-D)$
- Percentual de perda nos lucros =  $(D(3W-D) / 2W^2) * 100\%$
- Alguns exemplos:
  - Lifetime  $2W=52$  wks, delay  $D=4$  wks  
 $(4*(3*26-4)/2*26^2) = 22\%$
  - Lifetime  $2W=52$  wks, delay  $D=10$  wks  
 $(10*(3*26-10)/2*26^2) = 50\%$

# Custo Unitário de NRE

---

- Custos:

- *Custo total = custo NRE + custo unit. \* # de unids.*

- *Custo por prod. = custo total / # de unids.*

- = (custo NRE / # de unids) + custo unit.*

- Exemplo

- NRE=\$2000, unit.=\$100

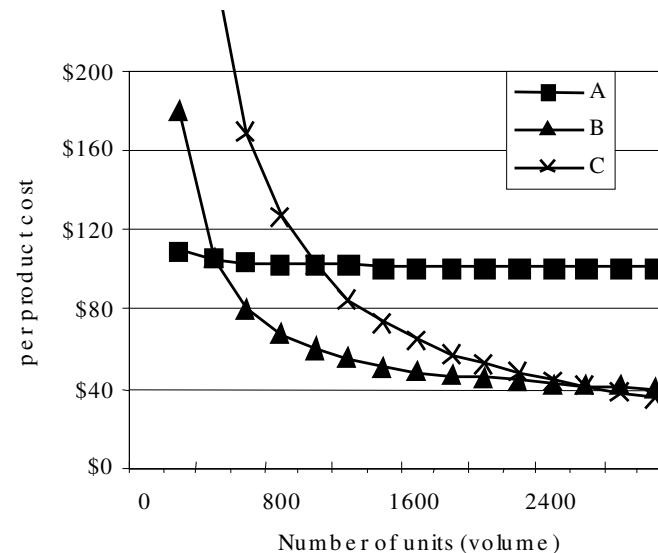
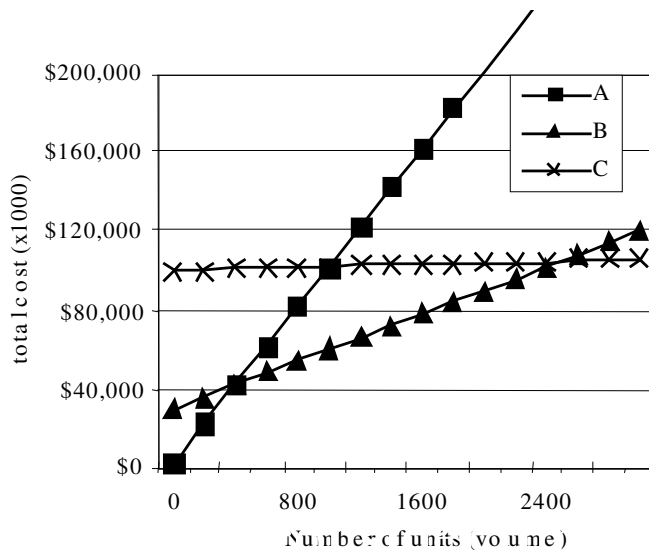
- Para 10 unidades

- Custo total = \$2000 + 10\*\$100 = \$3000

- Custo por produto = \$2000/10 + \$100 = \$300

# Custo Unitário de NRE

- Comparando diferentes tecnologias
  - Tecnologia A: NRE=\$2,000, unit=\$100
  - Tecnologia B: NRE=\$30,000, unit=\$30
  - Tecnologia C: NRE=\$100,000, unit=\$2



# Tecnologias Essenciais para Sistemas Embarcados

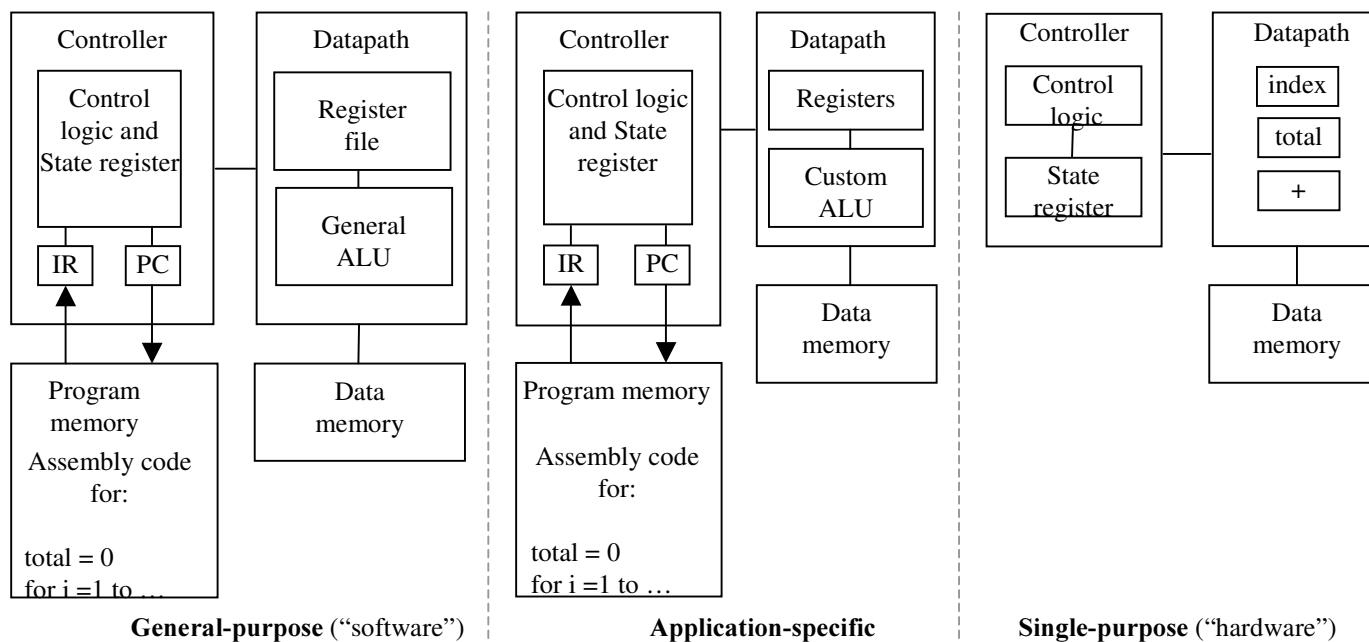
---

- Tecnologia
  - A maneira de realizar uma tarefa, especialmente usando processos, métodos ou conhecimento
- Tecnologias essenciais para sistemas embarcados
  - Tecnologia dos Processadores
  - Tecnologia para IC
  - Tecnologia de Projeto



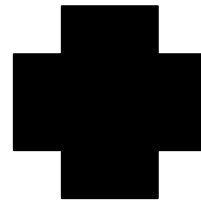
# Tecnologia dos Processadores

- Arquitetura do componente de computação que implementa a funcionalidade desejada
- Não precisam ser programáveis



# Tecnologia de Processadores

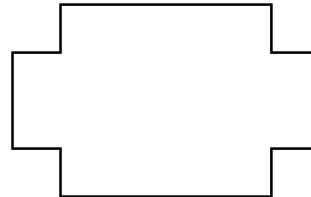
- Processadores podem variar na adequação ao problema



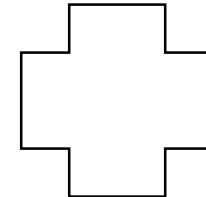
**Funcionalidade  
Desejada**



**Processador de  
uso geral**



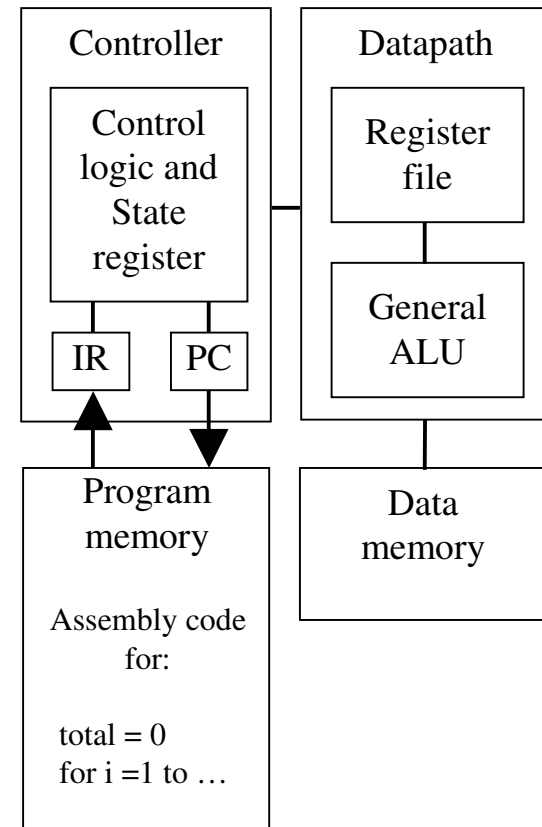
**Processador de  
aplicação específica**



**Processador de  
propósito  
único**

# Processadores de uso geral

- Programados via software
- Memória para dados e programa
- Vantagens
  - Pequenos *time-to-market* e custo não recorrente
  - Alta flexibilidade
- Desvantagens
  - Necessidade de adicionar dispositivos
  - Alto consumo
  - Baixo desempenho
- Ex: Power PC, Pentium, Z80



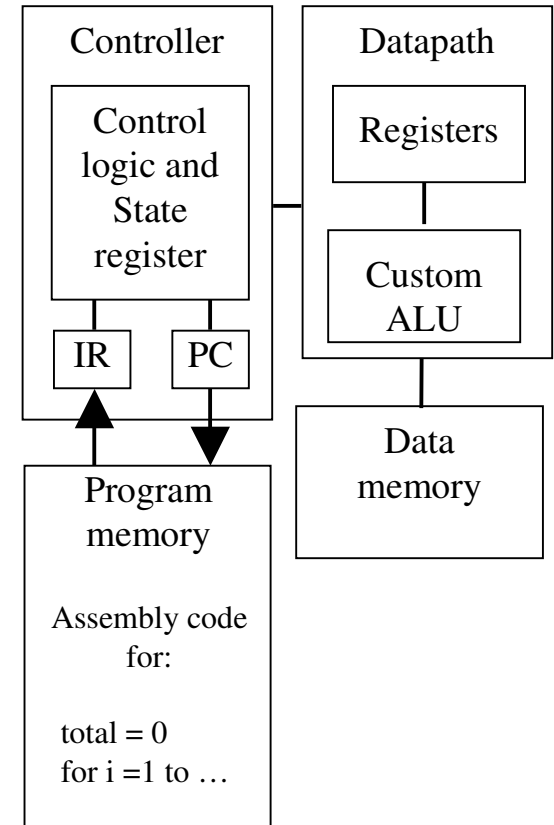
# Processadores

- Processadores embarcados (embedded)
  - Proc. de uso geral adaptados para sistemas embarcados:
    - Dispositivos internos
    - Menor potência
    - Facilidade para desenvolver software

| Produto | Clock (MHz) | No. I/O | Portas Seriais | Timers/Contad. | Canais DMA | WDT | Controle Interrupção | Refresh DRAM |
|---------|-------------|---------|----------------|----------------|------------|-----|----------------------|--------------|
| 80386DX | 16,20,25,33 | 0       | Não            | 0              | 0          | Não | Não                  | Não          |
| 80386EX | 25          | 24      | 3              | 3              | 2          | Sim | Sim (8259A)          | Sim          |

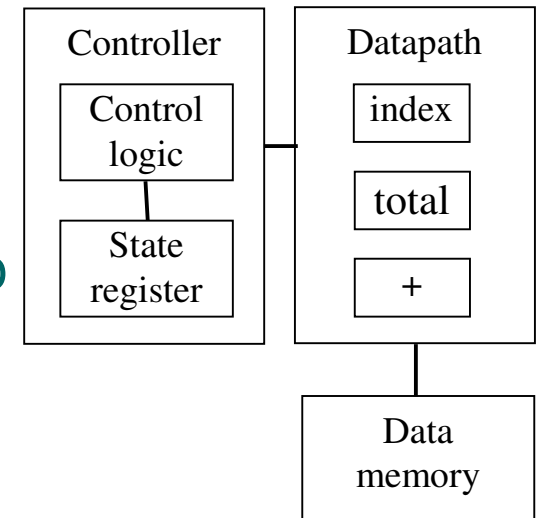
# Processadores de Aplicação Específica (ASIPs)

- Processador programável otimizado para uma classe de problema
- Características
  - Memória de programa
  - U.E. otimizada
  - Periféricos especiais
- Vantagem
  - Bom compromisso entre flexibilidade, velocidade, tamanho e potência
- Ex: Microcontroladores (ex. Nitron, 8051)  
DSPs



# Processadores de propósito único

- Circuito digital projetado para executar um único algoritmo
- Características
  - Contém apenas o necessário ao algoritmo
  - Não tem memória de programa
- Vantagens
  - Projeto sob encomenda pode obter o melhor do tamanho, potência, velocidade, mas perde em flexibilidade
- Ex: co-processadores e periféricos



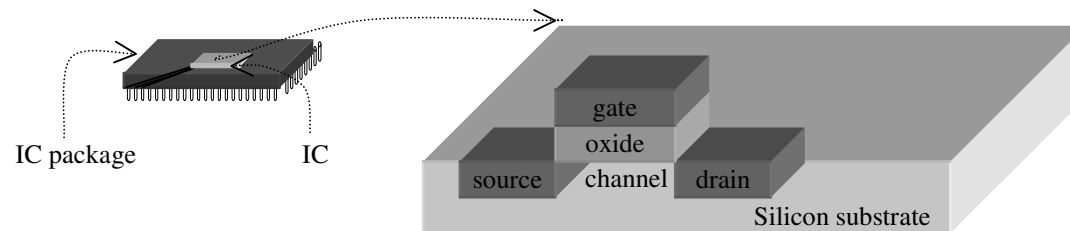
# Seleção de Processadores

| Processor                         | Clock speed | Periph.  | Bus Width | MIPS  | Power | Trans. | Price |
|-----------------------------------|-------------|--|-----------|-------|-------|--------|-------|
| <b>General Purpose Processors</b> |             |  |           |       |       |        |       |
| Intel PIII                        | 1GHz        | 2x16 K<br>L1, 256K<br>L2, MMX                    | 32        | ~900  | 97W   | ~7M    | \$900 |
| IBM PowerPC 750X                  | 550 MHz     | 2x32 K<br>L1, 256K<br>L2                         | 32/64     | ~1300 | 5W    | ~7M    | \$900 |
| MIPS R5000                        | 250 MHz     | 2x32 K<br>2 way set assoc.                       | 32/64     | NA    | NA    | 3.6M   | NA    |
| StrongARM SA-110                  | 233 MHz     | None   | 32        | 268   | 1W    | 2.1M   | NA    |
| <b>Microcontroller</b>            |             |  |           |       |       |        |       |
| Intel 8051                        | 12 MHz      | 4K ROM, 128<br>RAM, 32 I/O,<br>Timer, UART       | 8         | ~1    | ~0.2W | ~10K   | \$7   |
| Motorola 68HC811                  | 3 MHz       | 4K ROM, 192<br>RAM, 32 I/O,<br>Timer, WDT, SPI   | 8         | ~.5   | ~0.1W | ~10K   | \$5   |
| <b>Digital Signal Processors</b>  |             |  |           |       |       |        |       |
| TI C5416                          | 160 MHz     | 128K, SRAM, 3 T1<br>Ports, DMA, 13<br>ADC, 9 DAC | 16/32     | ~600  | NA    | NA     | \$34  |
| Lucent DSP32C                     | 80 MHz      | 16K Inst., 2K Data,<br>Serial Ports, DMA         | 32        | 40    | NA    | NA     | \$75  |

Sources: Intel, Motorola, MIPS, ARM, TI, and IBM Website/Datasheet; Embedded Systems Programming, Nov. 1998

# Tecnologia de IC

- Maneira de mapear uma implementação digital (gate-level) em um circuito integrado
  - IC: Integrated circuit, ou “chip”
  - Tecnologias de IC diferem no nível de especialização do projeto
  - ICs possuem inúmeros níveis
  - Tecnologias de IC diferem com respeito a quem constrói os níveis e quando





# Tecnologia de I C

---

- Tipos de t e c n o l o g i a s
  - Full-cust om/ VLSI
  - Semi-cust om ASI C (gat e ar r a y a n d s t a n d a r d c e l l)
  - PLD (Pr o g r a m m a b l e L o g i c D e v i c e)

# Full-custom/ VLSI

---

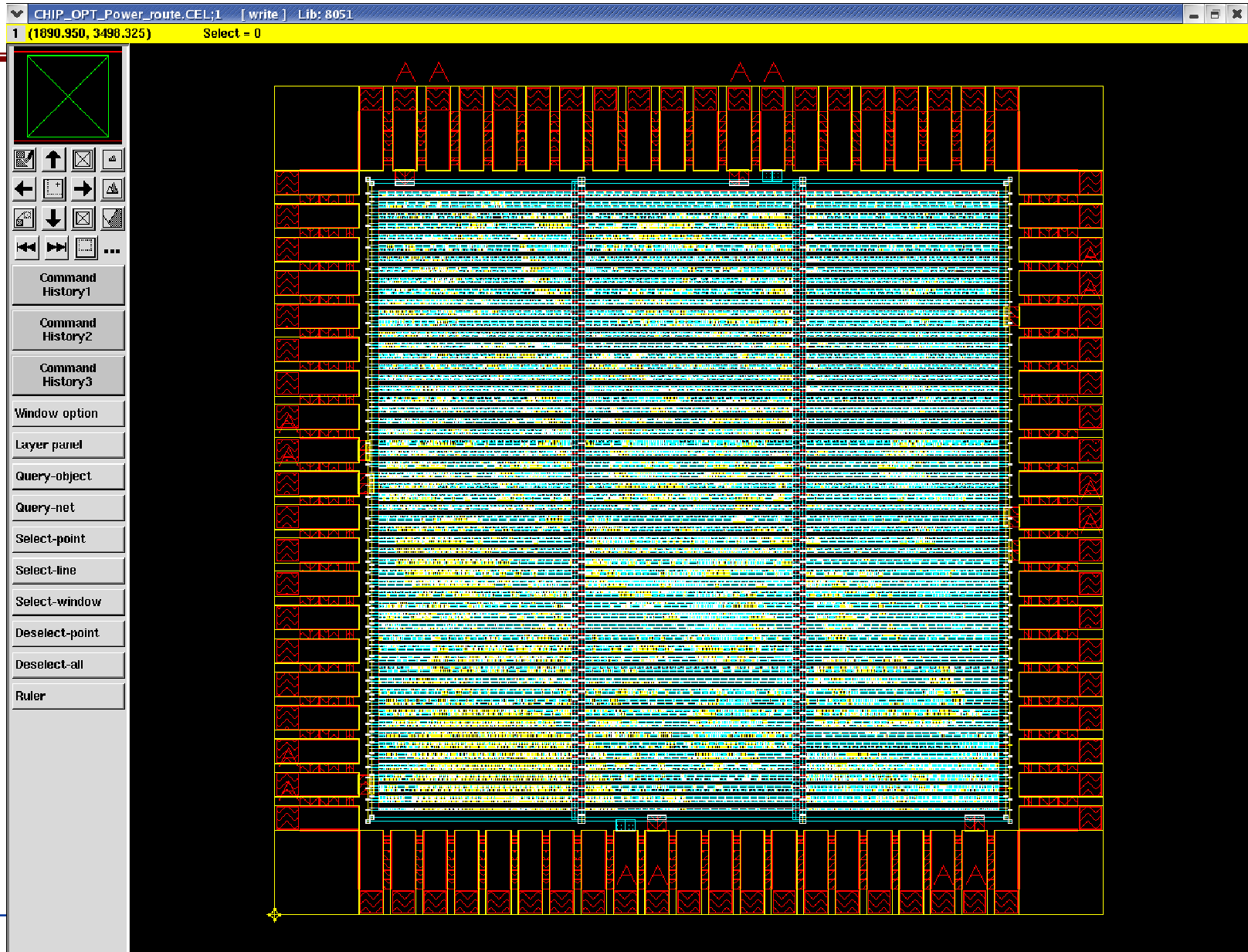
- Todos os níveis são otimizados para uma implementação particular de um sistema embarcado
  - Posicionamento dos transistores
  - Dimensionamento dos transistores
  - Roteamento dos fios
- Vantagens
  - Excelente desempenho, pequeno tamanho, baixa potência
- Desvantagens
  - Custo NRE alto (e.g., \$300k), time-to-market bastante longo

# Semi-custo

---

- Níveis inferiores são completa ou parcialmente construídos
  - Projetistas devem rotear os fios ou posicionar alguns blocos
- Vantagens
  - Bom desempenho, bom tamanho, custo NRE menor que full-custo (de \$ 10k a \$ 100k)
- Desvantagens
  - Ainda requer semanas ou meses de desenvolvimento

# Semi-cust om: I P-core do 8051

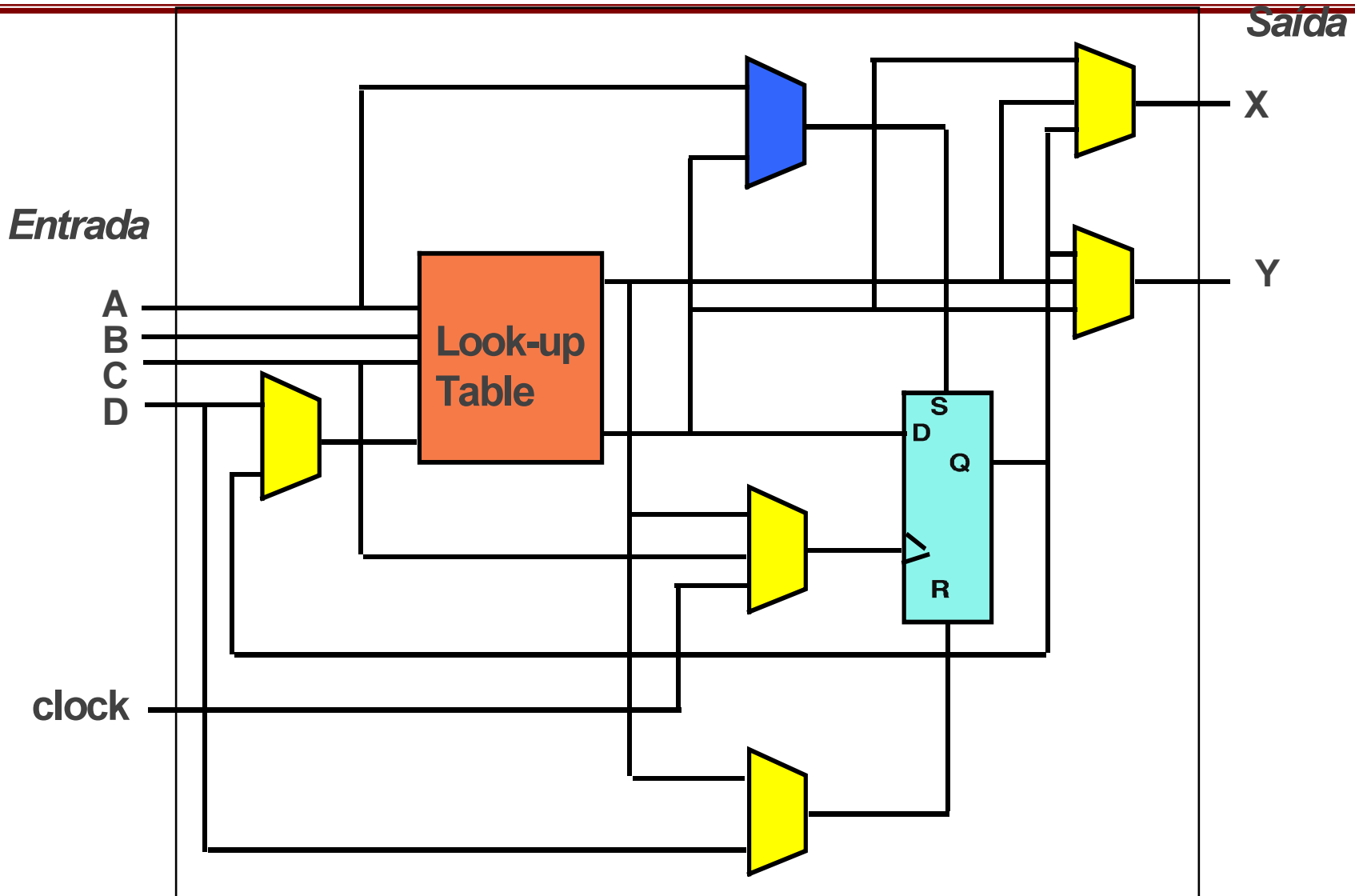


# PLD (Programmable Logic Device)

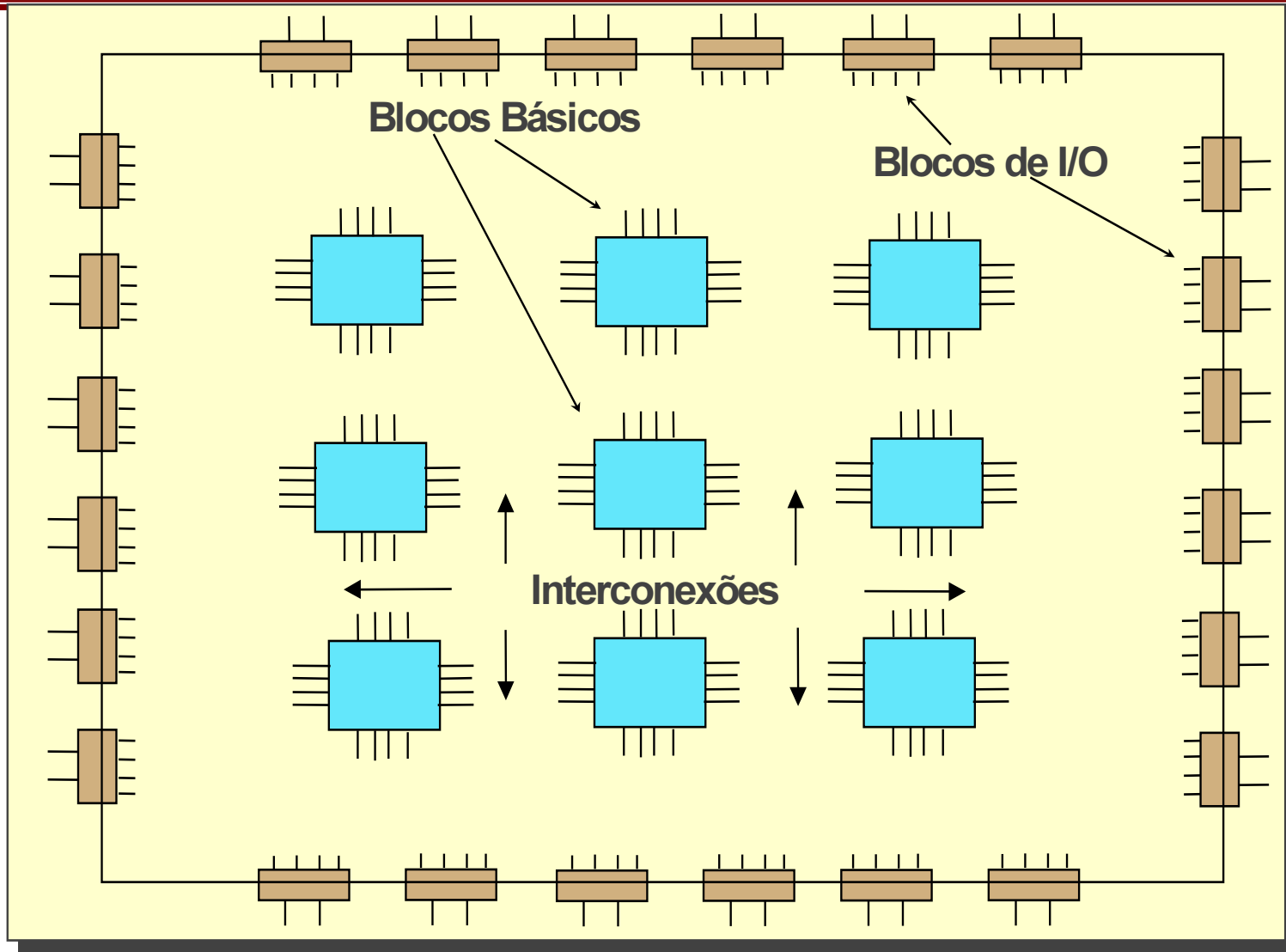
---

- Todos os níveis já existem
  - Projetistas podem comprar como IC
  - Conexões são criadas ou destruídas para implementar funcionalidade desejada.
  - Field-Programmable Gate Array (FPGA) são os mais populares
- Vantagens
  - Baixo custo NRE
- Desvantagens
  - Grandes, caros (\$30 por unidade), alto consumo de potência, lentos

# FPGA: bloco básico



# FPGA: estrutura geral



# FPGA

*Custo*

*ASIC*

*FPGA*

*Volume de Produção*

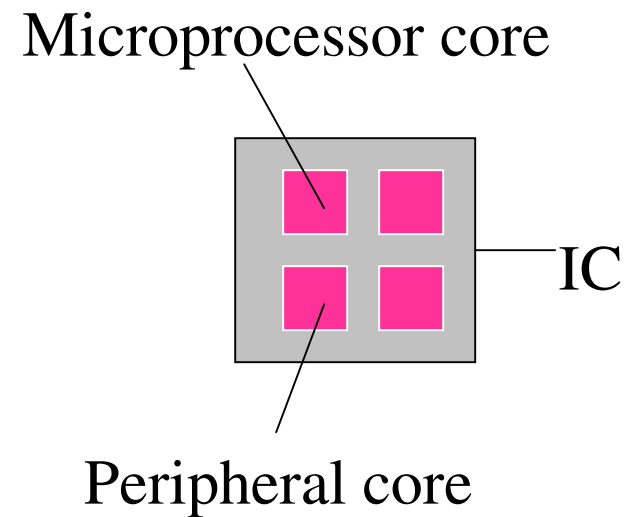
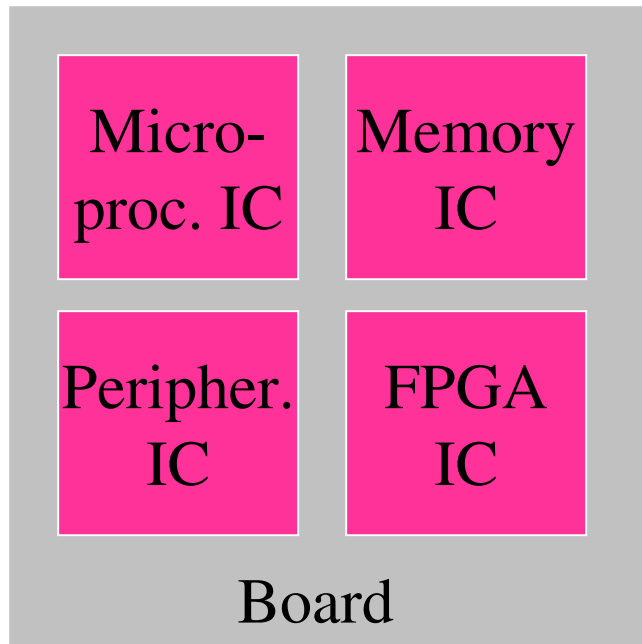


# System-On-A-Chip

---

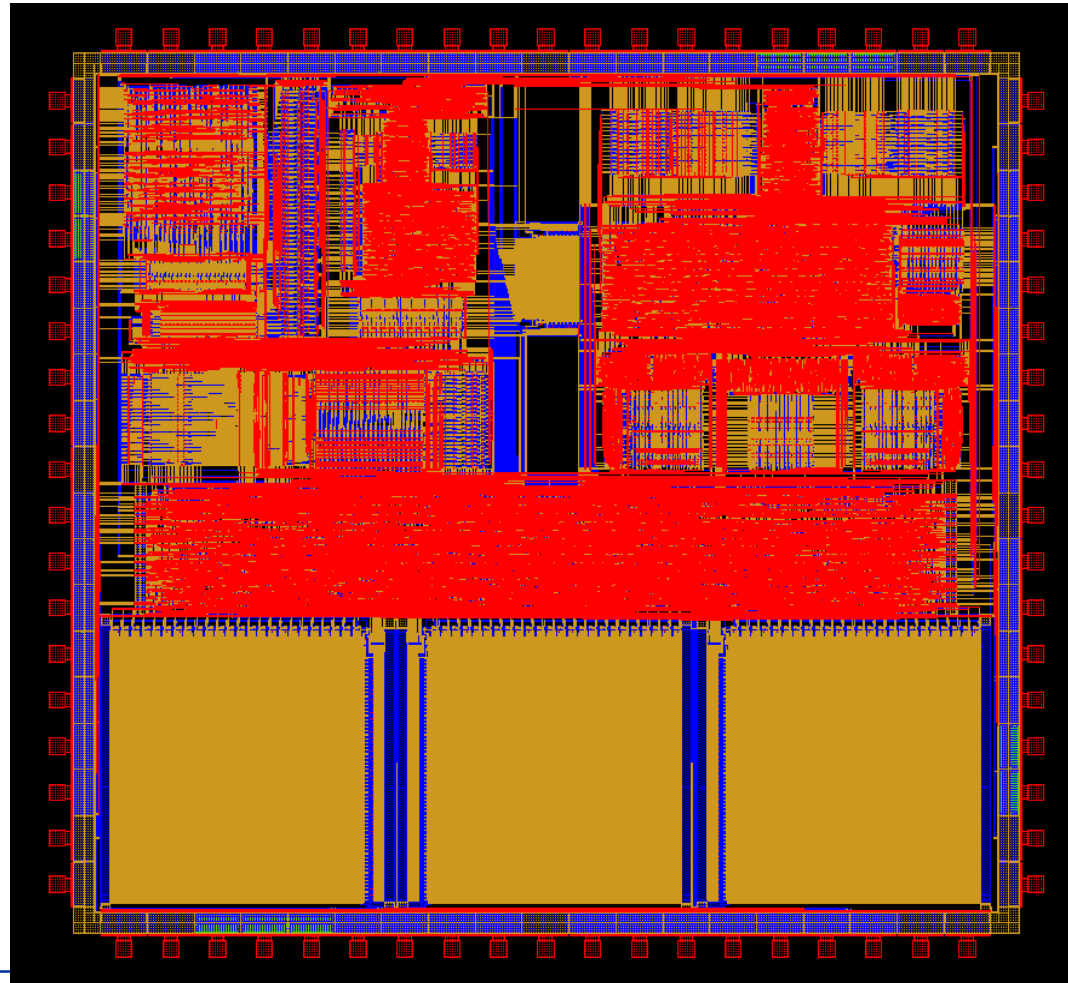
- Uso de núcleos de processadores (cores)
- Baixo custo de fabricação em série
- Alta qualidade
- Diminuição de defeitos de montagem e fabricação em geral
- Baixa potência consumida
- Pequeno tamanho
- Alta velocidade

# Syst em-on-Chip



# Syst em-on-a-chip (SOC)

---



# Tecnologias de Projeto

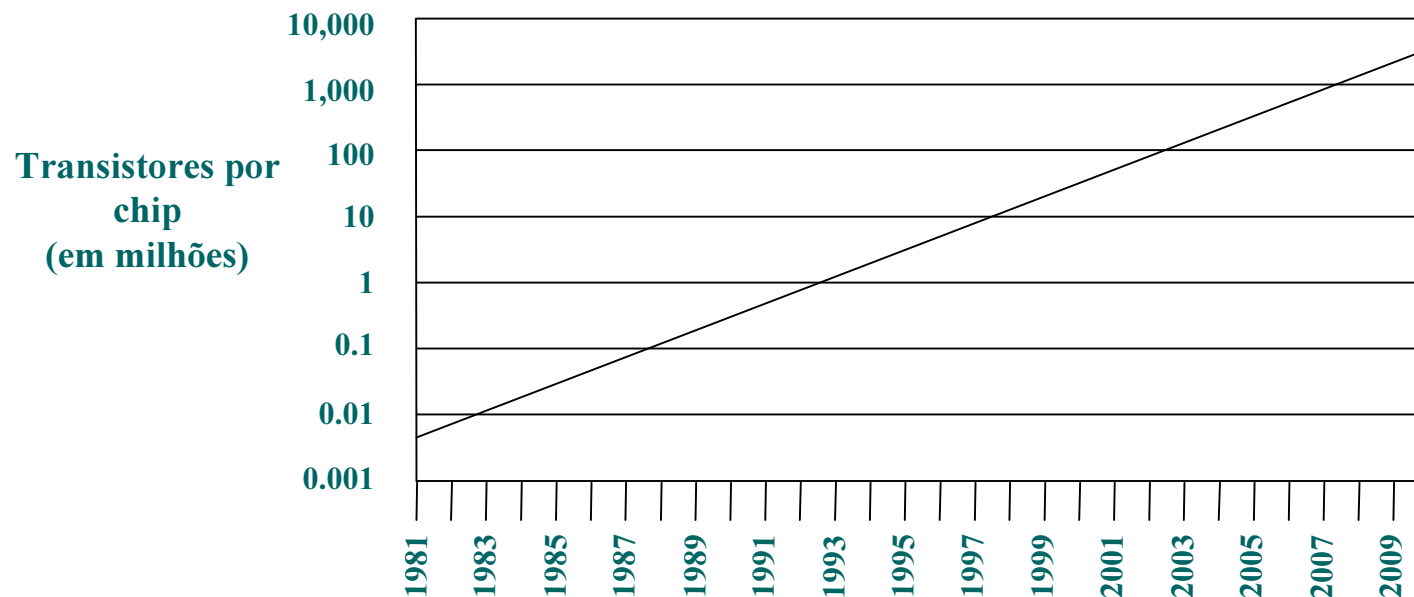
---

Motivação

# Lei de Moore

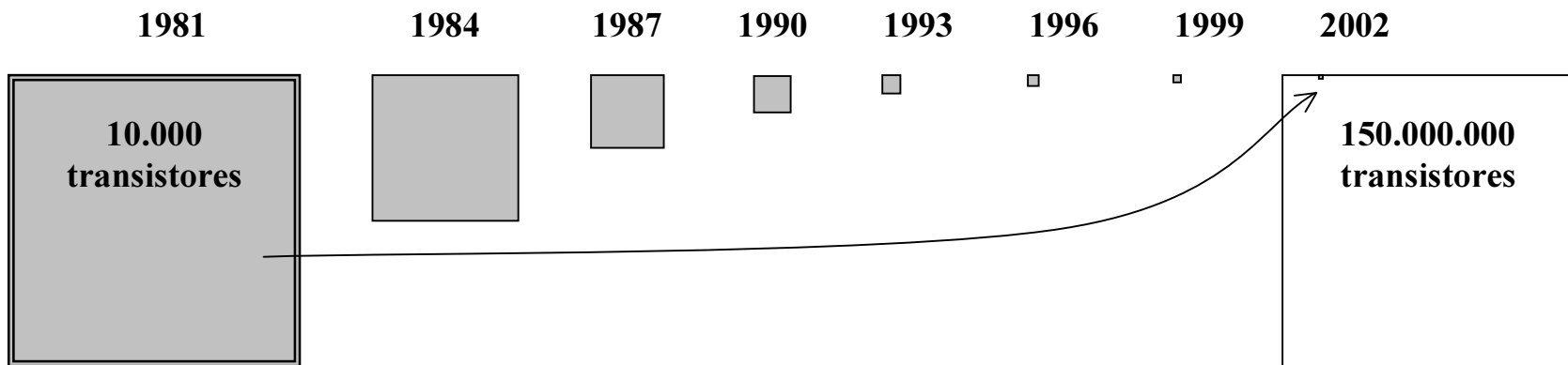
- Uma tendência que se mantém e foi prevista em 1965 por Gordon Moore

*Número de transistores praticamente dobra a cada 18 meses*



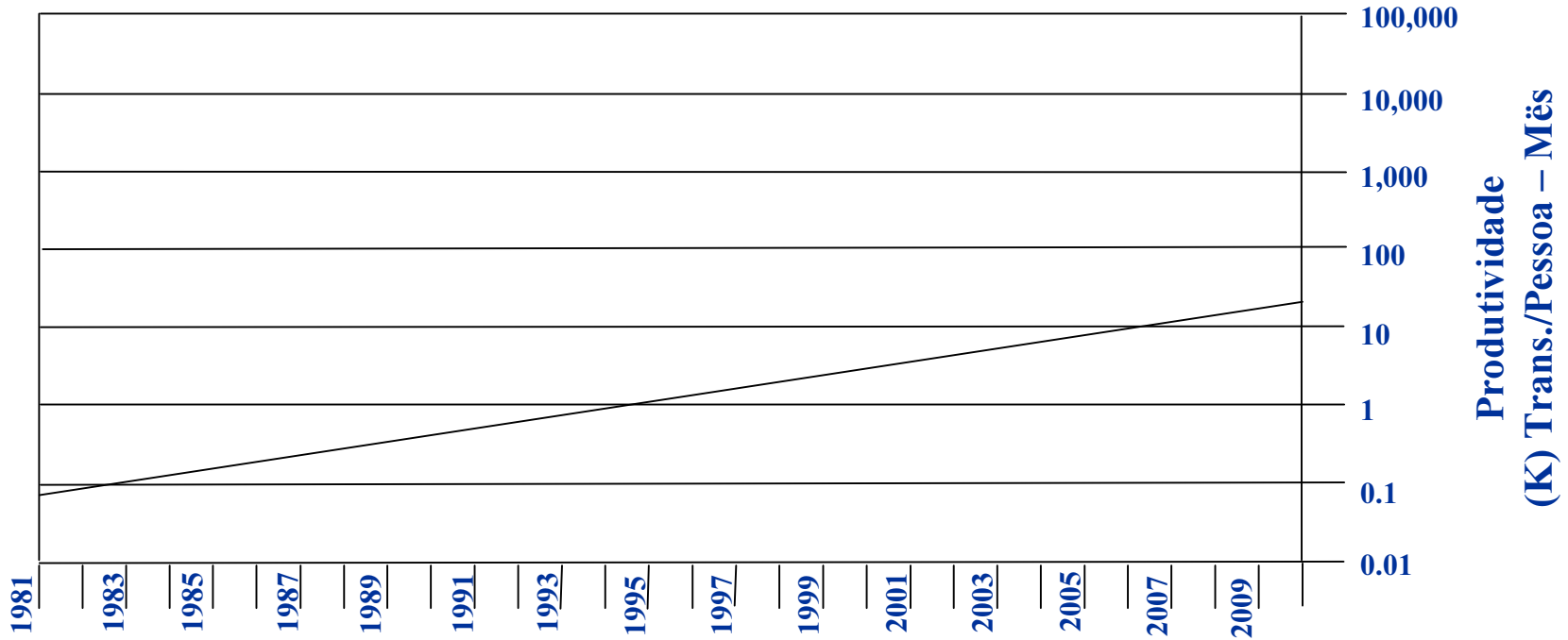
# Lei de Moore:

## Ilustração Gráfica



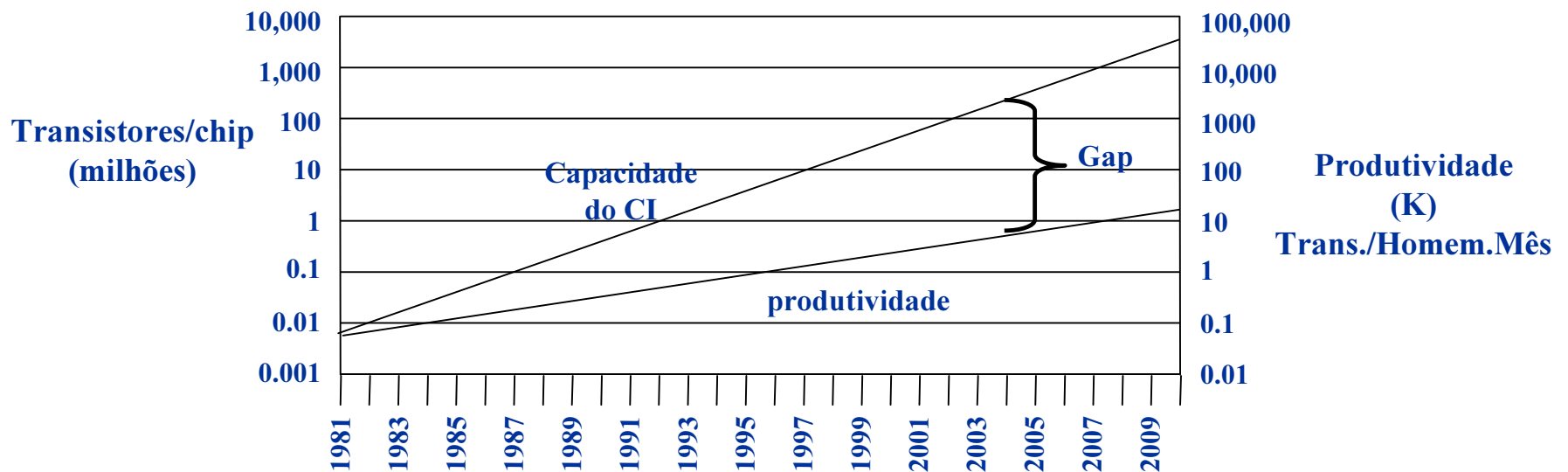
Um chip de 2002 pode conter 15.000 chips de 1981

# Produtividade de Projeto



# Produtividade de Projeto X Tam. Chip

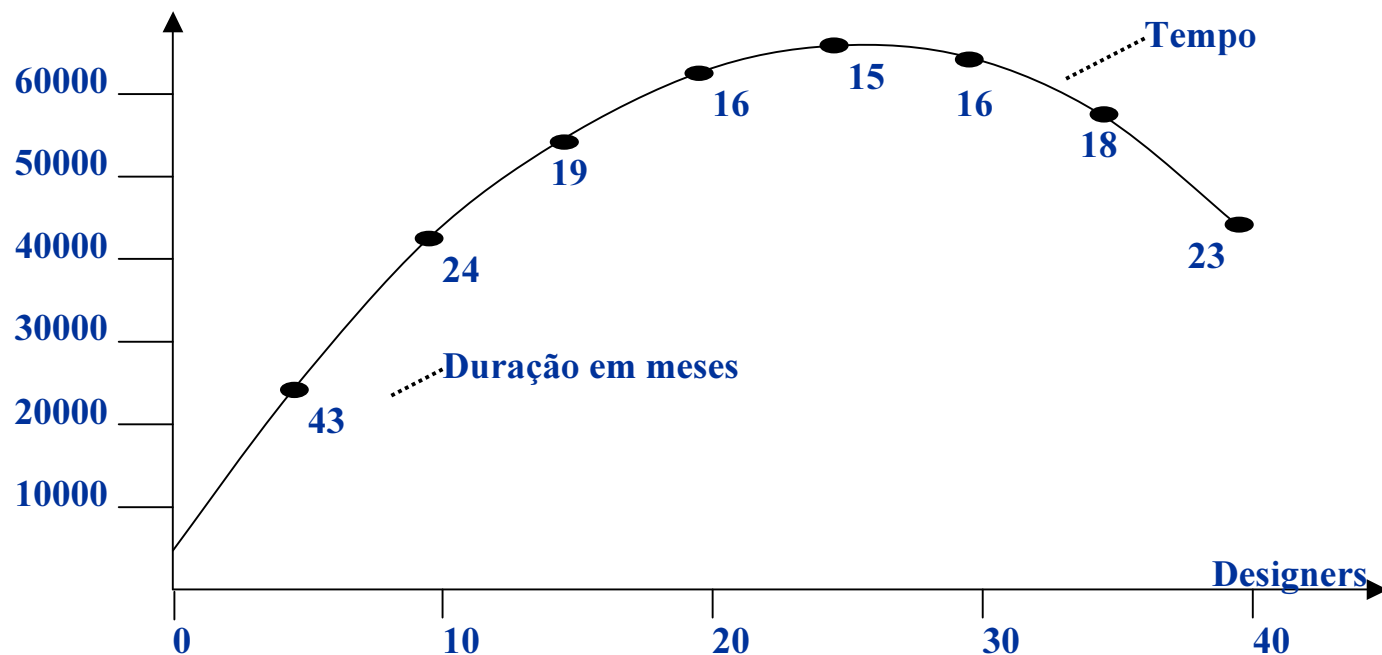
- O número de transistores por chip aumentou muito mais que a capacidade de projeto
- Maior chip em 1981 requeria 100 homem.mês
  - 10.000 transistores / 100 transistores / mês
- Maior chip em 2002 requeria 30.000 homem.mês
  - 150.000.000 / 5.000 transistores / mês
- Custo aumentou de \$1M para \$300M





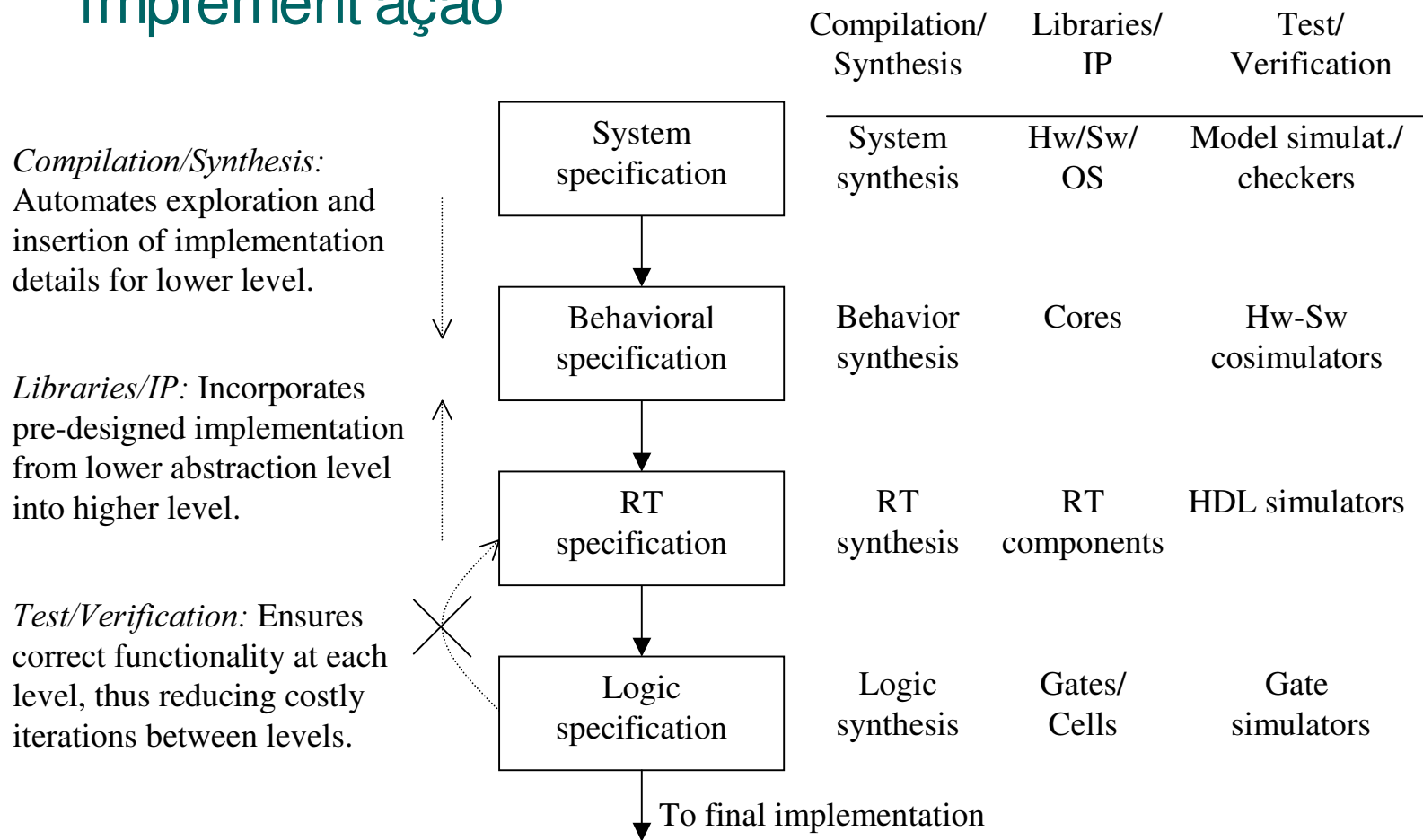
# The mythical man-month

- O problema é pior na realidade
- O aumento da equipe pode, em algum momento, tornar o projeto mais lento, devido a complexidade de gerenciamento e comunicação
- Esse efeito é conhecido na comunidade de software como “the mythical man-month” (Brooks 1975)



# Tecnologia de Projeto

- A maneira de converter uma funcionalidade em implementação



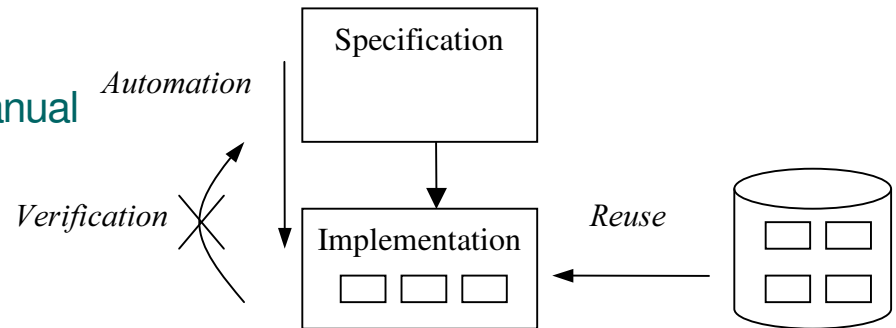
# Tecnologia de Projeto

---

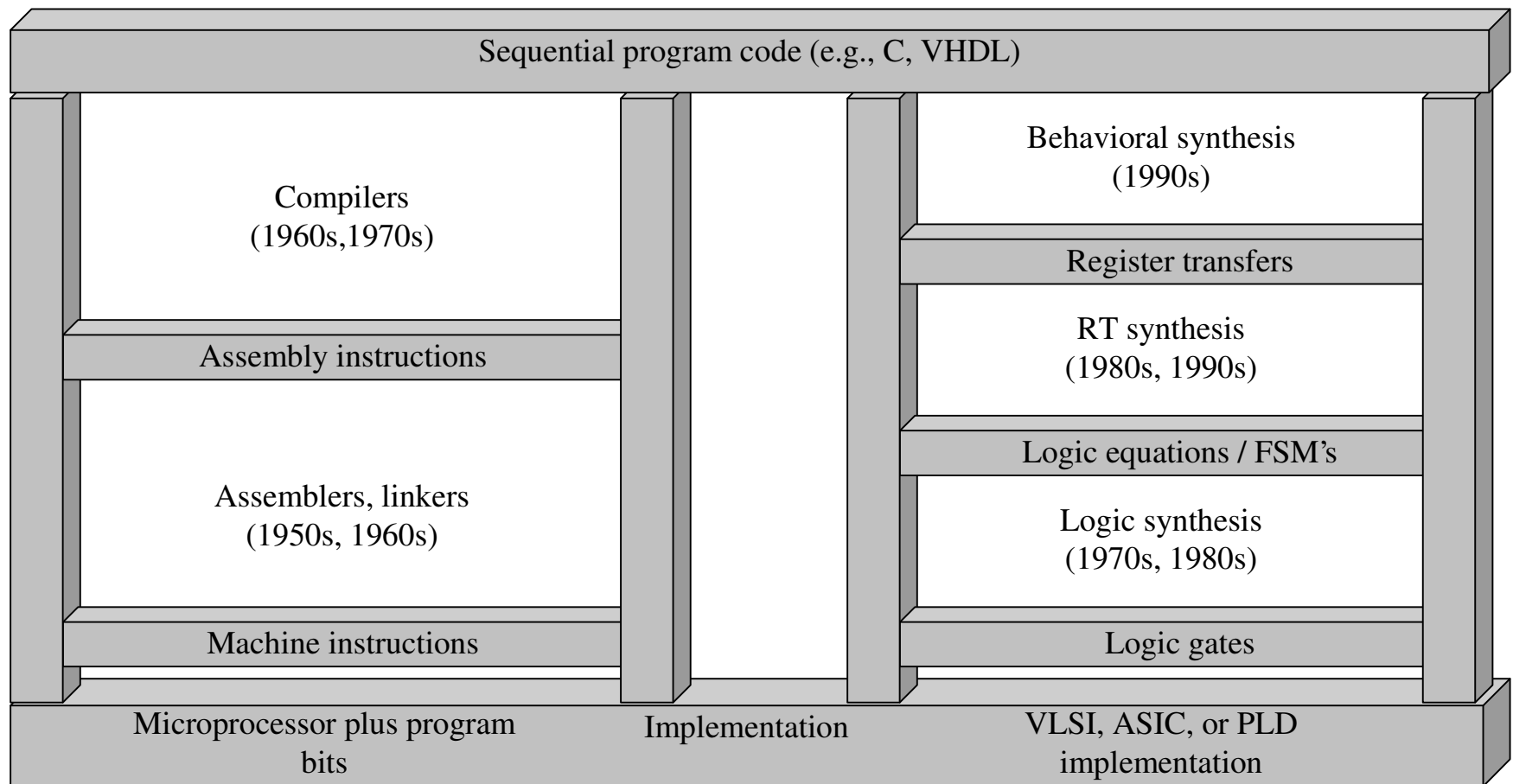
- Projeto de sistemas embarcados
  - Definição da funcionalidade
  - Conversão da funcionalidade em implementação enquanto:
    - Satisfazendo restrições de projeto
    - Otimizando outras métricas
- Dificuldades
  - Complexidade da Funcionalidade
    - Milhões de possíveis implementações
    - Métricas relacionadas e que competem
  - Gap de Produtividade
    - Menos que 10 linhas de código ou 100 transistores produzidos por dia

# Melhorando a Produtividade

- Tecnologias de Projeto
- Foco em tecnologias com visão unificada de hardware e software
  - Automação
    - Programas substituem projeto manual
    - Compilação / Síntese
  - Reuso
    - Componentes pré-definidos
    - IP-cores
    - Processadores de propósito geral e de propósito único em um mesmo IC
  - Verificação
    - Garantir corretude e completude de cada etapa de projeto
    - Co-simulação Hardware/ software

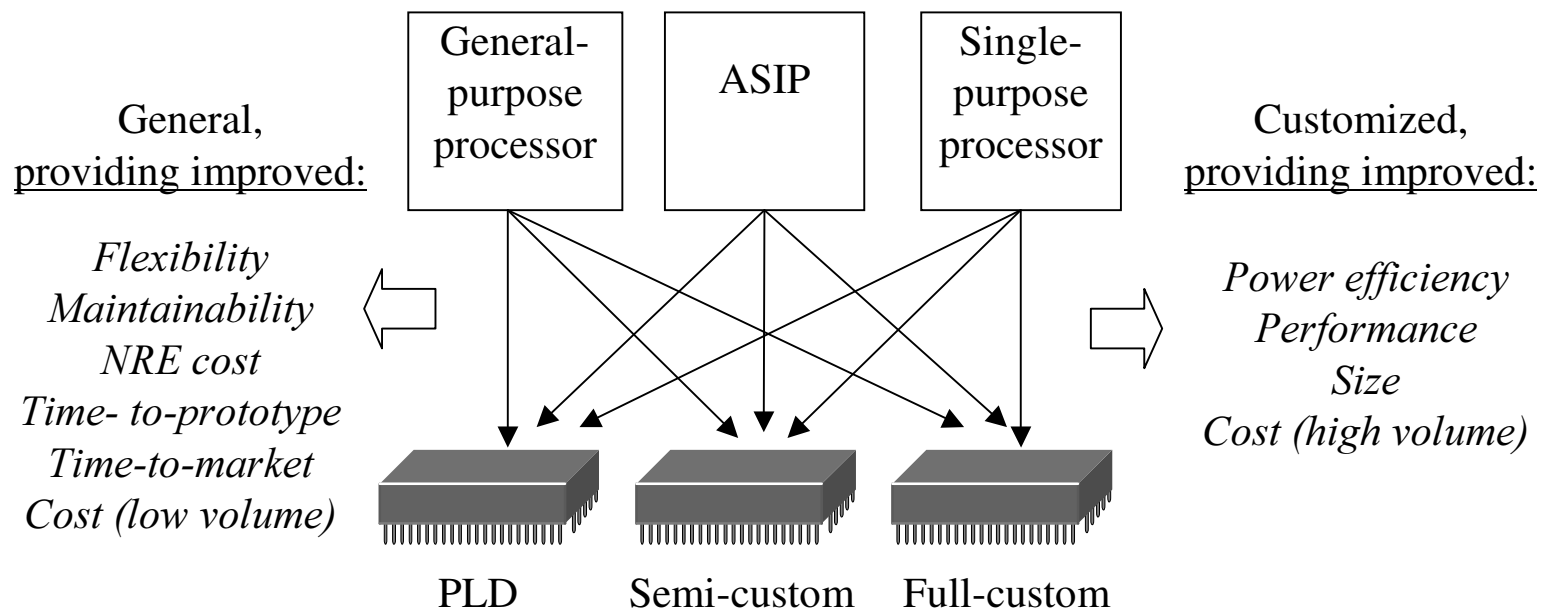


# Compilação / Síntese



# Independência de Tecnologias

- Compromisso básico
  - Geral vs. customizado
  - Tecnologia do processador vs. Tecnologia de implementação



# Resumo

---

- Desafios de Projeto:
  - Otimização das métricas
  - Custo
  - Time-to-market
- Tecnologias Essenciais
  - Processadores:
    - Propósito geral
    - Domínio Específico
    - Propósito único
  - IC
  - Projeto

# Resumo

---

- Técnicas de Projeto
  - Lei de Moore e Gap de Produtividade
  - As técnicas de hardware e de software suportam o mesmo nível de abstração
  - Técnicas atuais de Projeto de Hardware
    - Síntese
    - Reuso
    - Uso de plataformas pré-definidas



# Programa do Curso

---

- Introdução
- Processadores de Aplicação Específica: Hardware
- Processadores de propósito Geral: Software
- Periféricos
- Memória
- Interfaces
- Ferramentas de Apoio a Projetos

# Avaliação

---

- Unidade 1:
  - prova
  - lista de exercício
  - seminários
  
- Unidade 2
  - prova
  - projeto
  - seminários

# Bibliografía

---

- Embedded System Design: A Unified Hardware/ Software Introduction
  - Frank Vahid and Tony Givargis, John Wiley and Sons, 2002