

# 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

 Ambientes de Projeto de Sistemas Embarcados 2

---

---

---

---

---

---


---

---

## Tópicos

---

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

 Ambientes de Projeto de Sistemas Embarcados 3

---

---

---

---



---

---

---

---

## 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...

Universidade Federal de Pernambuco Ambientes de Projeto de Sistemas Embarcados 4

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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.

Universidade Federal de Pernambuco Ambientes de Projeto de Sistemas Embarcados 5

---

---

---

---

---

---




















































---

---

---

---

## Uma pequena lista de Sistemas Embarcados

Freios ABS	Modems			
Cameras auto-foco	Decodificadores MPEG			
Lavadoras automáticas	Cartões de rede			
Briquetes	Roteadores			
Sistemas de Transmissão	Pagers			
Eletrônica de avião	Copiadoras			
Carregadores de bateria	Pontos de venda			
Filmadoras	Video games			
Telefones celulares	Impressoras			
Telefones sem fio	Telefones via satélite			
Sistema de navegação	Scanners			
Cameras digitais	Forno de micro-ondas			
Disk drives	Reconhecedores de voz			
Leitoras de cartão	Sistemas de som			
Instrumentos eletrônicos	Sistemas de teleconferência			
Controle de Fábricas	Televisores			
Máquinas de Fax	Controladores de temperatura			
Identificadores de digitais	TV set-top boxes			
Sistemas de segurança	Video cassette e DVD's			
Instrumentos médicos	Lavadoras e secadoras			

Universidade Federal de Pernambuco Ambientes de Projeto de Sistemas Embarcados 6

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Algumas características dos Sistemas Embarcados

- Funcionalidade definida
  - Executa um único programa repetitivamente
- 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)



Ambientes de Projeto de Sistemas Embarcados 7

---

---

---

---

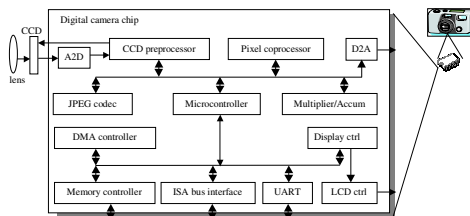
---

---

---

---

## Exemplo de um Sistema Embarcado



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



Ambientes de Projeto de Sistemas Embarcados 8

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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



Ambientes de Projeto de Sistemas Embarcados 9

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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

UFRJ Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 10

---

---

---

---

---

---

---

---

## Desafios de Projeto: Otimização das Métricas de Projeto

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

UFRJ Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 11

---

---

---

---

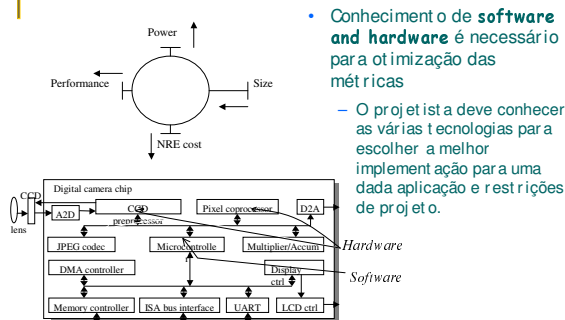
---

---

---

---

## Otimização das Métricas de Projeto: Conflito



UFRJ Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 12

---

---

---

---

---

---

---

---

### Time-to-market : uma métrica crítica

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

Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 13

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Custo Unitário de NRE

- Custos:
  - $\text{Custo total} = \text{custo NRE} + \text{custo unit.} * \# \text{ de unids.}$
  - $\text{Custo por prod.} = \text{custo total} / \# \text{ de unids.}$   
 $= (\text{custo NRE} / \# \text{ de unids}) + \text{custo unit.}$
- Exemplo
  - NRE=\$2000, unit.=\$100
  - Para 10 unidades
    - Custo total =  $2000 + 10*100 = 3000$
    - Custo por produto =  $2000/10 + 100 = 300$

Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 14

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### 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

Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 15

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Tecnologias Essenciais para Sistemas Embarcados

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



Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 16

---

---

---

---

---

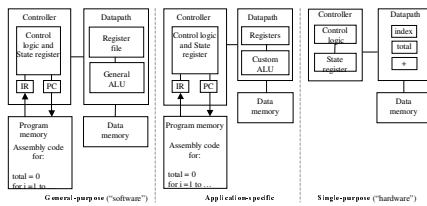
---

---

---

## Tecnologia dos Processadores

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



Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 17

---

---

---

---

---

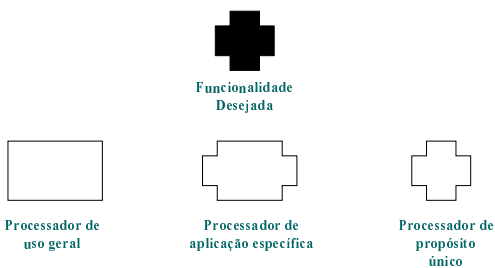
---

---

---

## Tecnologia de Processadores

- Processadores podem variar na adequação ao problema



Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 18

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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: PowerPC, Pentium, Z80

Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 19

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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

Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 20

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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

Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 21

---

---

---

---

---

---

---

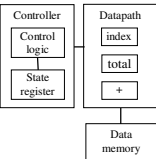
---

---

---

## 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



Fonte: University of Michigan Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 22

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Seleção de Processadores

Processor	Clock speed	Periph.	Bus Width	MIPS	Power	Trans.	Price
General Purpose Processors							
Intel PIII	1GHz	2x16 K L1, 256K L2, MMX	32	~900	97W	~7M	\$900
IBM PowerPC 750K	550 MHz	2x32 K L1, 256K L2	32/64	~1300	5W	~7M	\$900
MIPS R5000	250 MHz	2x32 K L1, 2-way set assoc.	32/64	NA	NA	3.6M	NA
StrongARM SA-110	233 MHz	None	32	268	1W	2.1M	NA
Microcontroller							
Intel 8051	12 MHz	4K ROM, 128 RAM, 32 I/O, Timer, UART	8	~1	~0.2W	~10K	\$7
Motorola 68HC811	3 MHz	4K ROM, 192 RAM, 32 I/O, Timer, WDT, SPI	8	~5	~0.1W	~10K	\$5
Digital Signal Processors							
TI C5416	160 MHz	128K, SRAM, 3 TI Ports, DMA, 13 ADC, 9 DAC	16/32	~600	NA	NA	\$34
Lucent DSP32C	80 MHz	14K Inst., 2K Data, Serial Ports, DMA	32	~6	NA	NA	\$75

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

Fonte: University of Michigan Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 23

---

---

---

---

---

---

---

---

---

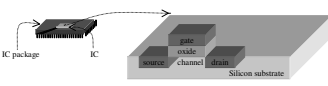
---

---

---

## 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
  - IC's possuem inúmeros níveis
  - Tecnologias de IC diferem com respeito a quem constrói os níveis e quando



Fonte: University of Michigan Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 24

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## Tecnologia de IC

- Tipos de tecnologias
  - Full-custo m/ VLSI
  - Semi-custo m ASIC (gate array and standard cell)
  - PLD (Programmable Logic Device)

Universidade Federal de Pernambuco Ambiente s de Projeto de Sistemas Embarcados 25

---

---

---

---

---

---

---

---

## Full-custo m/ VLSI

- Todos os níveis são otimizad os 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

Universidade Federal de Pernambuco Ambiente s de Projeto de Sistemas Embarcados 26

---

---

---

---

---

---

---

---

## Semi-custo m

- 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 m (de \$10k a \$100k)
- Desvantagens
  - Ainda requer semanas ou meses de desenvolvimento

Universidade Federal de Pernambuco Ambiente s de Projeto de Sistemas Embarcados 27

---

---

---

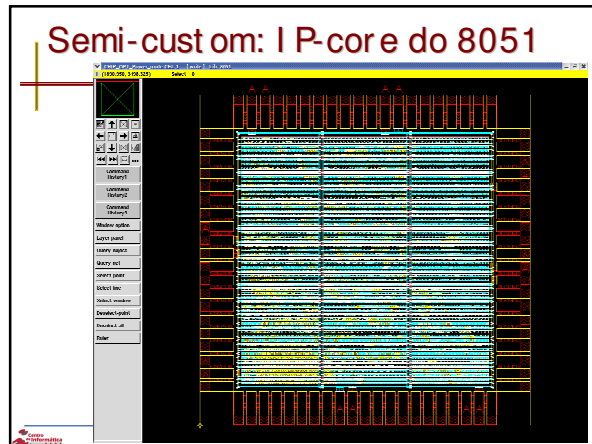
---

---

---

---

---



---

---

---

---

---

---

---

---

### PLD (Programmable Logic Device)

- Todos os níveis já existem
  - Projetos são comprados 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

Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 29

---

---

---

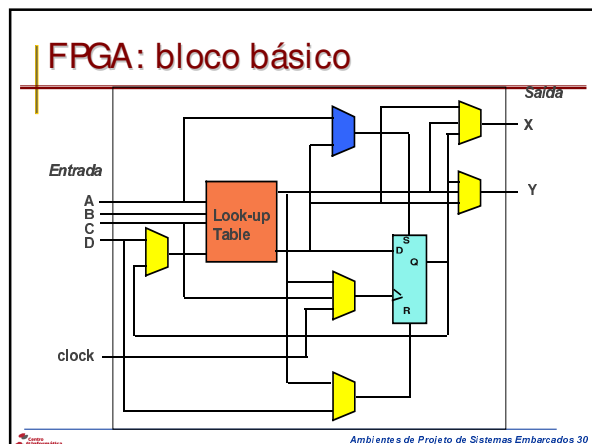
---

---

---

---

---



---

---

---

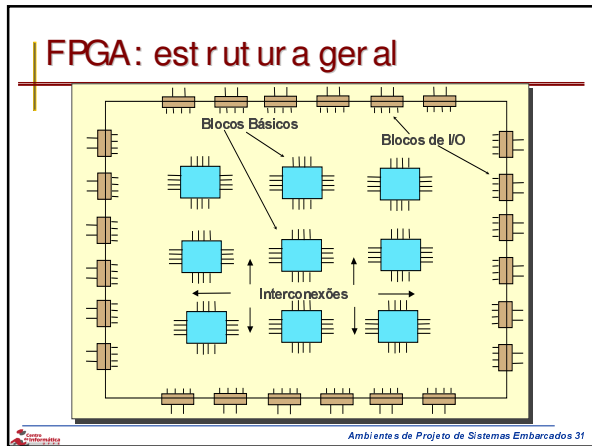
---

---

---

---

---



---

---

---

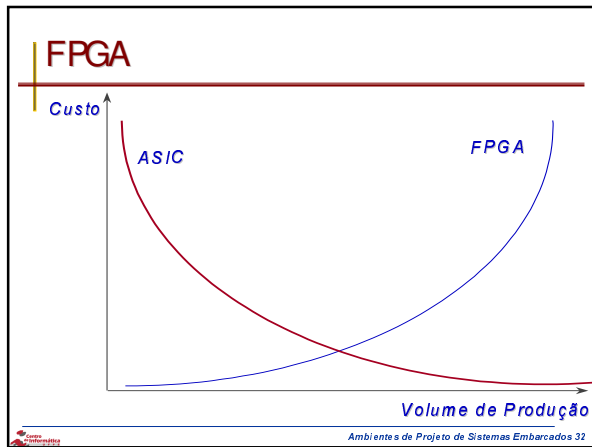
---

---

---

---

---



---

---

---

---

---

---

---

---

- ### 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
- Universidade Federal de Pernambuco  
Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 33

---

---

---

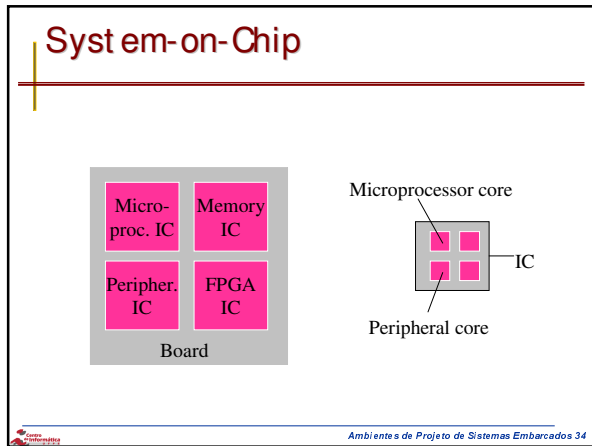
---

---

---

---

---



---

---

---

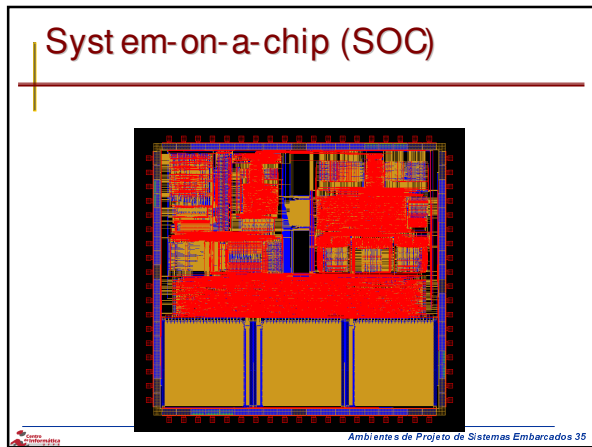
---

---

---

---

---



---

---

---

---

---

---

---

---

### Tecnologias de Projeto

Motivação

---

---

---

---

---

---

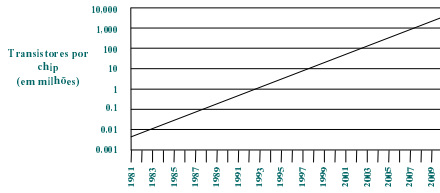
---

---

## 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*



Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 37

---

---

---

---

---

---

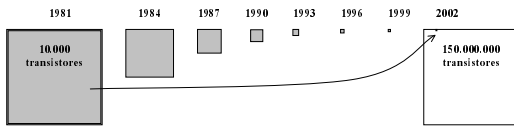
---

---

---

---

## Lei de Moore: Ilustração Gráfica



Um chip de 2002 pode conter 15.000 chips de 1981

Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 38

---

---

---

---

---

---

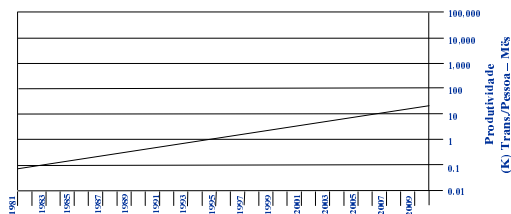
---

---

---

---

## Produtividade de Projeto



Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 39

---

---

---

---

---

---

---

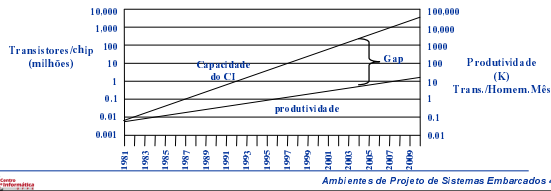
---

---

---

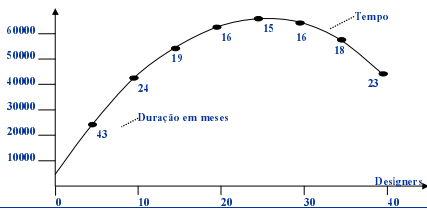
## Produtividade de Projeto X Tam. Chip

- 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



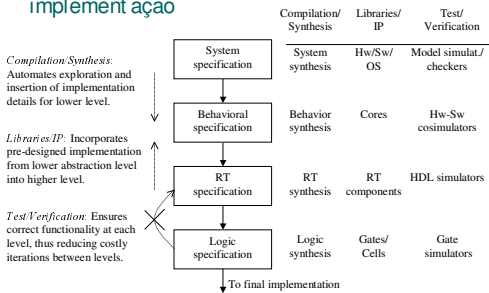
## The mythical man-month

- O problema é pior na realidade
- O aumento da equipe pode, em algum momento, tornar o projeto mais lento, devido à 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


Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 43

---

---

---

---

---

---

---

---

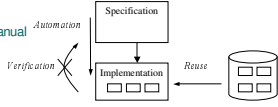
---


---

## 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
  - Verification
    - Garantir correção e completude de cada etapa de projeto
    - Co-simulação Hardware/software




Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 44

---

---

---

---

---

---

---

---


---

---

## Compilação / Síntese

---

Sequential program code (e.g., C, VHDL)	
Compilers (1960s, 1970s)	Behavioral synthesis (1990s)
Assembly instructions	Register transfers
Assemblers, linkers (1950s, 1960s)	RT synthesis (1980s, 1990s)
Machine instructions	Logic equations / FSMs
Microprocessor plus program bits	Logic synthesis (1970s, 1980s)
Implementation	Logic gates
	VLSI, ASIC, or PLD implementation


Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 45

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Independência de Tecnologias

- Compromisso básico
  - Geral vs. cust omizado
  - Tecnologia do processador vs. Tecnologia de implement ação

General, providing improved: Flexibility, Maintainability, NRE cost, Time-to-prototype, Time-to-market, Cost (low volume)

General-purpose processor, ASIP, Single-purpose processor

Customized, providing improved: Power efficiency, Performance, Size, Cost (high volume)

PLD, Semi-custom, Full-custom

Universidade Federal de Pernambuco Ambiente s de Projeto de Sistemas Embarcados 46

---

---

---

---

---

---

---

---

## Resumo

- Desaf ios de Proj et o:
  - Otimização das métricas
  - Cust o
  - Time-to-market
- Tecnologias Essenciais:
  - Processadores:
    - Propósito geral
    - Domínio Específico
    - Propósito único
  - IC
  - Proj et o

Universidade Federal de Pernambuco Ambiente s de Projeto de Sistemas Embarcados 47

---

---

---

---

---

---

---

---

## Resumo

- Técnicas de Proj et o
  - Lei de Moore e Gap de Produt ividade
  - As técnicas de hardware e de soft war e suport am o mesmo nível de abst ração
  - Técnicas at uais de Proj et o de Hardware
    - Sint ese
    - Reuso
    - Uso de plat af ormas pré-def inidas

Universidade Federal de Pernambuco Ambiente s de Projeto de Sistemas Embarcados 48

---

---

---

---

---

---

---

---



## Programa do Curso

---

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

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 49

---

---

---

---

---

---

---

---

## Avaliação

---

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

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 50

---

---

---

---

---

---

---

---

## Bibliografia

---

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

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO Ambiente de Projeto de Sistemas Embarcados 51

---

---

---

---

---

---

---

---