



UNIVERSIDADE
FEDERAL DE
SERGIPE



DEPARTAMENTO
DE
COMPUTAÇÃO

Introdução

Sistemas Embarcados

Bruno Prado

Departamento de Computação / UFS

Introdução

- ▶ O que é um sistema embarcado?

Introdução

- ▶ O que é um sistema embarcado?
 - ▶ É um sistema computacional de função dedicada que está incorporado em um sistema elétrico e/ou mecânico para controle de sua operação

Introdução

- ▶ O que é um sistema embarcado?
 - ▶ É um sistema computacional de função dedicada que está incorporado em um sistema elétrico e/ou mecânico para controle de sua operação
 - ▶ Automotivo: *airbag*, injeção eletrônica e anti-travamento de freios (ABS)

Introdução

- ▶ O que é um sistema embarcado?
 - ▶ É um sistema computacional de função dedicada que está incorporado em um sistema elétrico e/ou mecânico para controle de sua operação
 - ▶ Automotivo: *airbag*, injeção eletrônica e anti-travamento de freios (ABS)
 - ▶ Aviação: sistemas anti-colisão, de posicionamento global (GPS) e de vôo não tripulado (UAV)

Introdução

- ▶ O que é um sistema embarcado?
 - ▶ É um sistema computacional de função dedicada que está incorporado em um sistema elétrico e/ou mecânico para controle de sua operação
 - ▶ Automotivo: *airbag*, injeção eletrônica e anti-travamento de freios (*ABS*)
 - ▶ Aviação: sistemas anti-colisão, de posicionamento global (*GPS*) e de voo não tripulado (*UAV*)
 - ▶ Bens de consumo: celular, dispositivos vestíveis, eletrodomésticos e televisão inteligentes

Introdução

- ▶ O que é um sistema embarcado?
 - ▶ É um sistema computacional de função dedicada que está incorporado em um sistema elétrico e/ou mecânico para controle de sua operação
 - ▶ Automotivo: *airbag*, injeção eletrônica e anti-travamento de freios (*ABS*)
 - ▶ Aviação: sistemas anti-colisão, de posicionamento global (*GPS*) e de voo não tripulado (*UAV*)
 - ▶ Bens de consumo: celular, dispositivos vestíveis, eletrodomésticos e televisão inteligentes
 - ▶ Internet das Coisas (*IoT*): lâmpada, medidor de eletricidade e fechaduras conectadas à Internet

Introdução

- ▶ O que é um sistema embarcado?
 - ▶ É um sistema computacional de função dedicada que está incorporado em um sistema elétrico e/ou mecânico para controle de sua operação
 - ▶ Automotivo: *airbag*, injeção eletrônica e anti-travamento de freios (*ABS*)
 - ▶ Aviação: sistemas anti-colisão, de posicionamento global (*GPS*) e de voo não tripulado (*UAV*)
 - ▶ Bens de consumo: celular, dispositivos vestíveis, eletrodomésticos e televisão inteligentes
 - ▶ Internet das Coisas (*IoT*): lâmpada, medidor de eletricidade e fechaduras conectadas à Internet
 - ▶ Sistemas médicos: equipamento para exames de imagem, marcapasso e monitoramento de sinais vitais

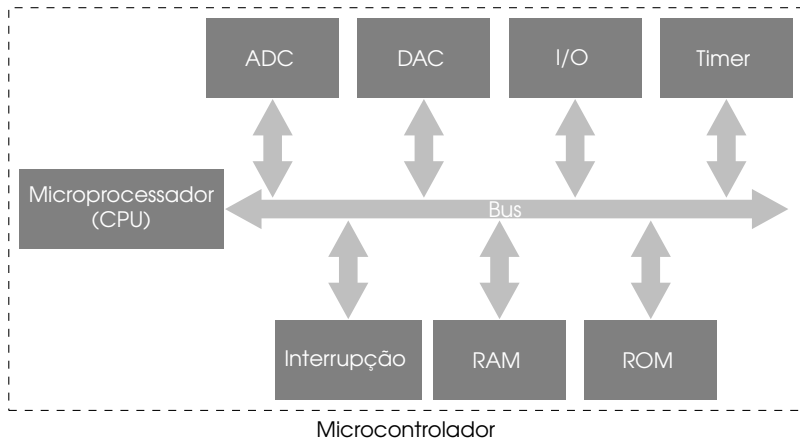
Introdução

- ▶ O que é um sistema embarcado?
 - ▶ É um sistema computacional de função dedicada que está incorporado em um sistema elétrico e/ou mecânico para controle de sua operação
 - ▶ Automotivo: *airbag*, injeção eletrônica e anti-travamento de freios (ABS)
 - ▶ Aviação: sistemas anti-colisão, de posicionamento global (GPS) e de voo não tripulado (UAV)
 - ▶ Bens de consumo: celular, dispositivos vestíveis, eletrodomésticos e televisão inteligentes
 - ▶ Internet das Coisas (IoT): lâmpada, medidor de eletricidade e fechaduras conectadas à Internet
 - ▶ Sistemas médicos: equipamento para exames de imagem, marcapasso e monitoramento de sinais vitais

98% dos microprocessadores fabricados
são usados em sistemas embarcados

Introdução

► Microcontrolador × microprocessador

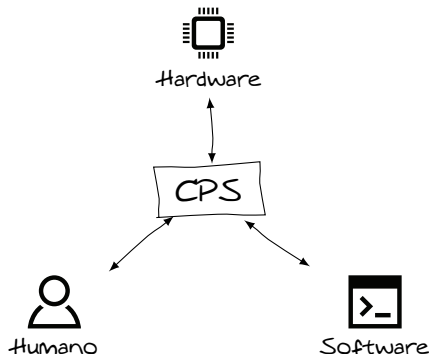


Introdução

- ▶ Como diferenciar um sistema embarcado de outros sistemas computacionais?

Introdução

- ▶ Como diferenciar um sistema embarcado de outros sistemas computacionais?
 - ▶ Sistema ciber-físico (CPS): integra aplicações computacionais de múltiplo domínio (ciber) em um ambiente de atuação, comunicação e sensoriamento (físico)

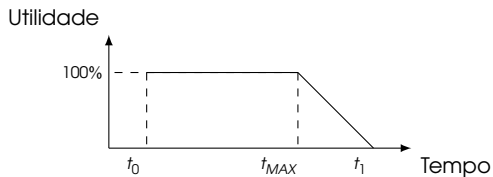


Introdução

- ▶ Como diferenciar um sistema embarcado de outros sistemas computacionais?

Introdução

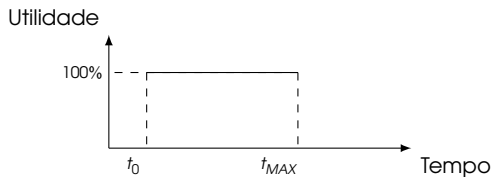
- ▶ Como diferenciar um sistema embarcado de outros sistemas computacionais?
 - ▶ Sistema de tempo real (*RTS*): as operações devem ser realizadas em um determinado intervalo de tempo



- ▶ Suave (*soft*): o atraso no prazo não deixa o sistema inoperante (lentidão em sistema multimídia)

Introdução

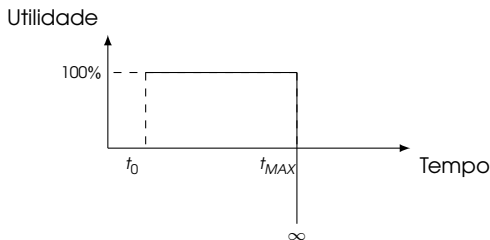
- ▶ Como diferenciar um sistema embarcado de outros sistemas computacionais?
 - ▶ Sistema de tempo real (*RTS*): as operações devem ser realizadas em um determinado intervalo de tempo



- ▶ Suave (*soft*): o atraso no prazo não deixa o sistema inoperante (lentidão em sistema multimídia)
- ▶ Firme (*firm*): resultados não úteis após o *deadline* (avisar falta de combustível após falha)

Introdução

- ▶ Como diferenciar um sistema embarcado de outros sistemas computacionais?
 - ▶ Sistema de tempo real (*RTS*): as operações devem ser realizadas em um determinado intervalo de tempo



- ▶ Suave (*soft*): o atraso no prazo não deixa o sistema inoperante (lentidão em sistema multimídia)
- ▶ Firme (*firm*): resultados não úteis após o *deadline* (avisar falta de combustível após falha)
- ▶ Rígida (*hard*): impacto catastrófico no sistema (não acionamento do *airbag* durante colisão)

Introdução

- ▶ Questões chave em sistemas embarcados

Introdução

- ▶ Questões chave em sistemas embarcados
 - ▶ Como definir a arquitetura mais adequada entre as várias disponíveis? ARM? AVR? RISC-V?

Introdução

- ▶ Questões chave em sistemas embarcados
 - ▶ Como definir a arquitetura mais adequada entre as várias disponíveis? ARM? AVR? RISC-V?
 - ▶ Qual será o custo efetivo de cada unidade? Onde será feita a sua fabricação (*PCB* + montagem)?

Introdução

- ▶ Questões chave em sistemas embarcados
 - ▶ Como definir a arquitetura mais adequada entre as várias disponíveis? ARM? AVR? RISC-V?
 - ▶ Qual será o custo efetivo de cada unidade? Onde será feita a sua fabricação (*PCB* + montagem)?
 - ▶ Existem restrições para funcionamento em tempo real ou com tolerância a falhas (redundância)?

Introdução

- ▶ Questões chave em sistemas embarcados
 - ▶ Como definir a arquitetura mais adequada entre as várias disponíveis? ARM? AVR? RISC-V?
 - ▶ Qual será o custo efetivo de cada unidade? Onde será feita a sua fabricação (*PCB* + montagem)?
 - ▶ Existem restrições para funcionamento em tempo real ou com tolerância a falhas (redundância)?
 - ▶ O sistema possui limitações de consumo de potência? Qual deve ser a autonomia com bateria?

Introdução

- ▶ Questões chave em sistemas embarcados
 - ▶ Como definir a arquitetura mais adequada entre as várias disponíveis? ARM? AVR? RISC-V?
 - ▶ Qual será o custo efetivo de cada unidade? Onde será feita a sua fabricação (*PCB* + montagem)?
 - ▶ Existem restrições para funcionamento em tempo real ou com tolerância a falhas (redundância)?
 - ▶ O sistema possui limitações de consumo de potência? Qual deve ser a autonomia com bateria?
 - ▶ Em que condições ambientais de temperatura, umidade e pressão o sistema será submetido?

Introdução

- ▶ Questões chave em sistemas embarcados
 - ▶ Como definir a arquitetura mais adequada entre as várias disponíveis? ARM? AVR? RISC-V?
 - ▶ Qual será o custo efetivo de cada unidade? Onde será feita a sua fabricação (*PCB* + montagem)?
 - ▶ Existem restrições para funcionamento em tempo real ou com tolerância a falhas (redundância)?
 - ▶ O sistema possui limitações de consumo de potência? Qual deve ser a autonomia com bateria?
 - ▶ Em que condições ambientais de temperatura, umidade e pressão o sistema será submetido?

Custo de desenvolvimento (*NRE*)

×

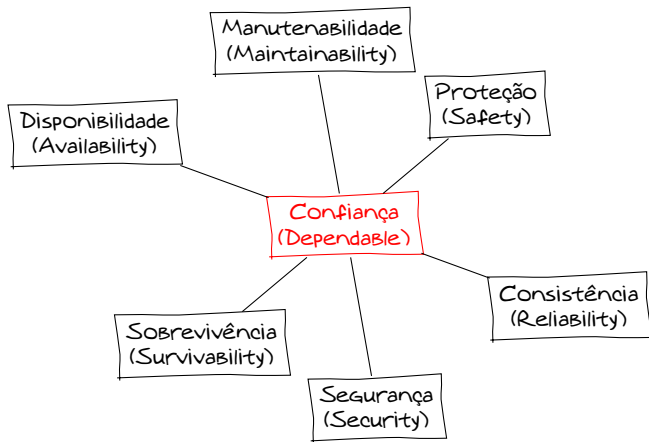
Diferencial competitivo

×

Time to market (TTM)

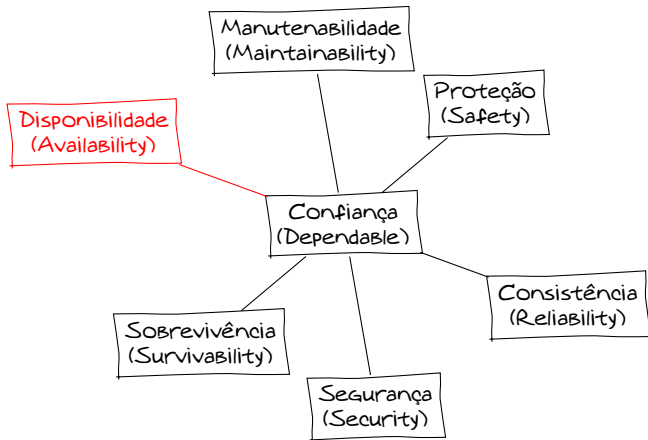
Sistemas embarcados

► Requisitos de confiança



Sistemas embarcados

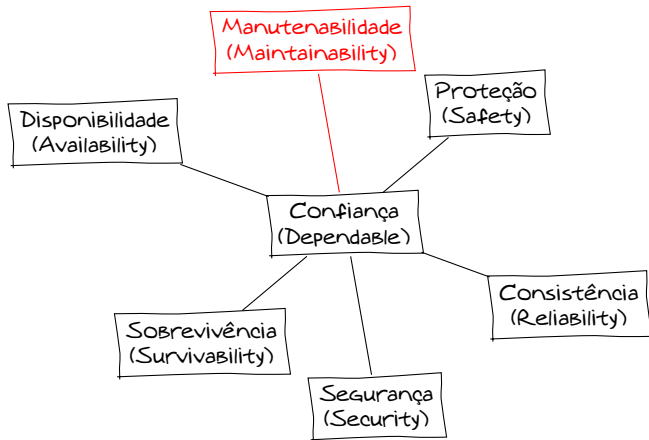
► Requisitos de confiança



Probabilidade do sistema estar disponível
(\uparrow Disponibilidade \longleftrightarrow \uparrow Consistência)

Sistemas embarcados

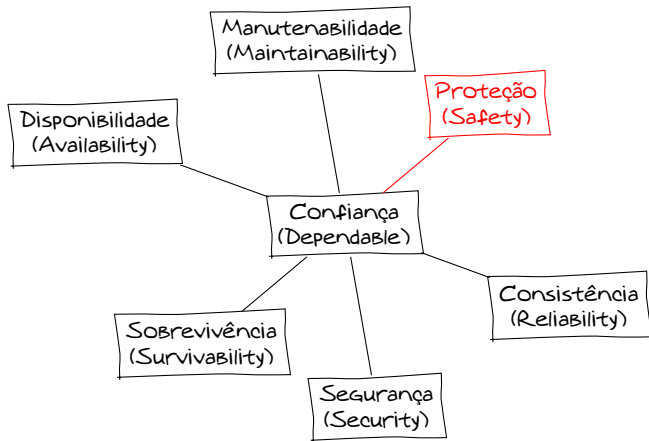
► Requisitos de confiança



Facilidade de atualização, manutenção ou reparo/substituição de componentes

Sistemas embarcados

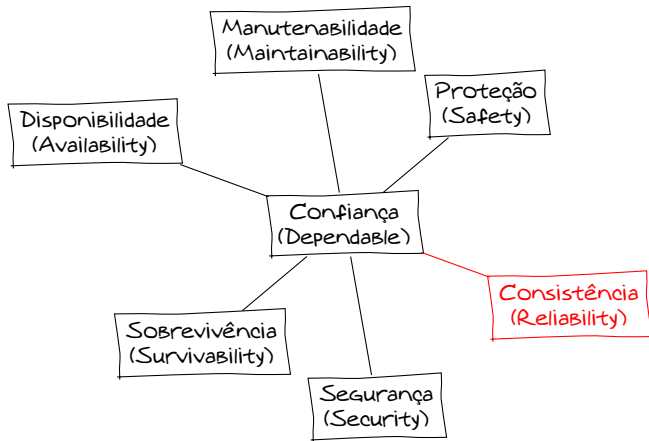
► Requisitos de confiança



Capacidade de operar sem colocar em risco o ambiente e seres humanos

Sistemas embarcados

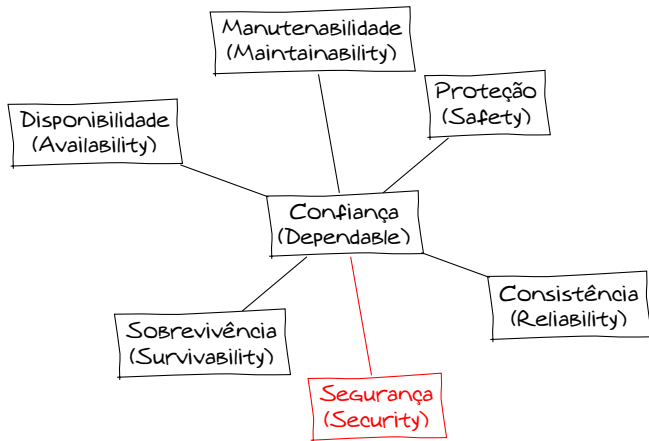
► Requisitos de confiança



Probabilidade do sistema não falhar
(tolerância a falhas)

Sistemas embarcados

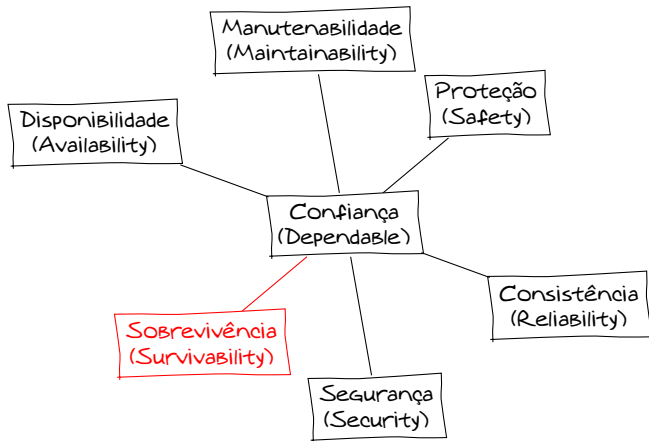
► Requisitos de confiança



Habilidade de proteger a si mesmo de ataques acidentais ou intencionais

Sistemas embarcados

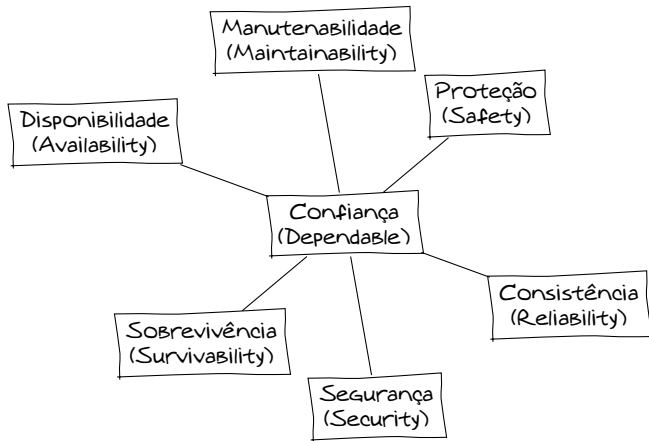
► Requisitos de confiança



Resiliência para manter o funcionamento sob ataque ou falha de componentes

Sistemas embarcados

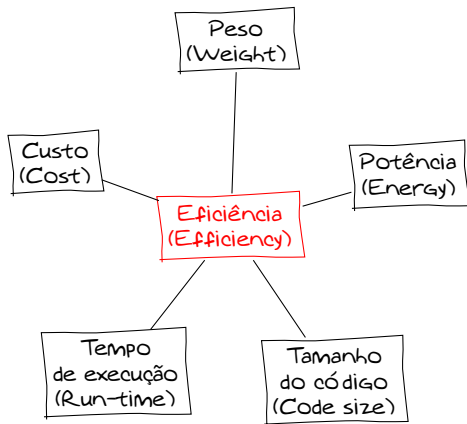
► Requisitos de confiança



Nenhum sistema é 100% confiável
(falha dos componentes ou humana)

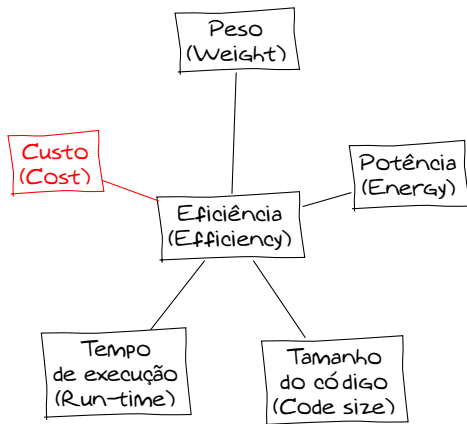
Sistemas embarcados

► Requisitos de eficiência



Sistemas embarcados

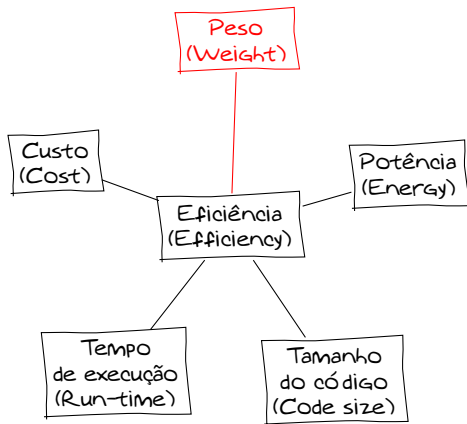
► Requisitos de eficiência



Quanto menor o custo, maior a competitividade, desde que não comprometa a funcionalidade ou qualidade

Sistemas embarcados

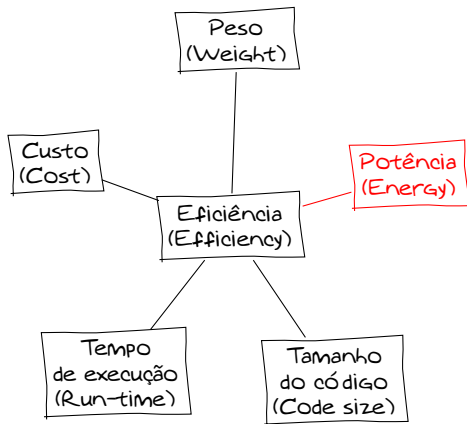
► Requisitos de eficiência



Com um peso menor e maior portabilidade, os custos associados à fabricação e ao transporte são reduzidos

Sistemas embarcados

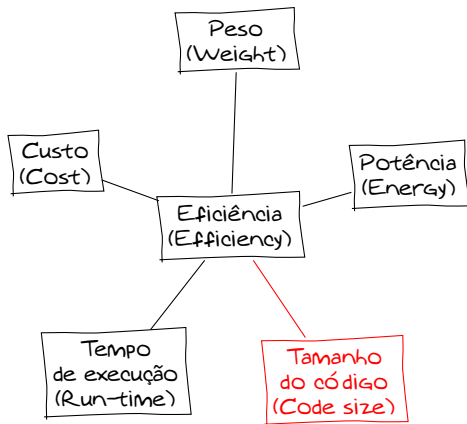
► Requisitos de eficiência



É a quantidade de eletricidade consumida na execução das operações, devendo sempre ser reduzida

Sistemas embarcados

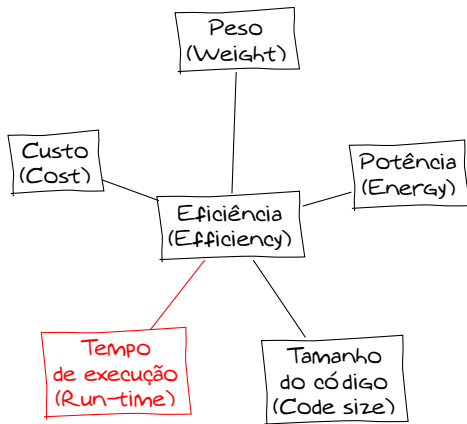
► Requisitos de eficiência



A quantidade memória interna utilizada é proporcional ao tamanho do código binário gerado

Sistemas embarcados

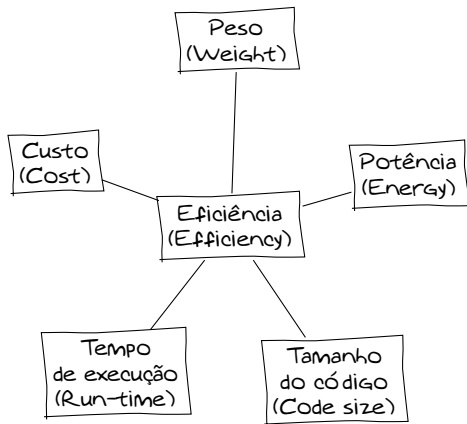
► Requisitos de eficiência



É preciso utilizar a menor quantidade possível de tempo e de recursos para atender as restrições de tempo

Sistemas embarcados

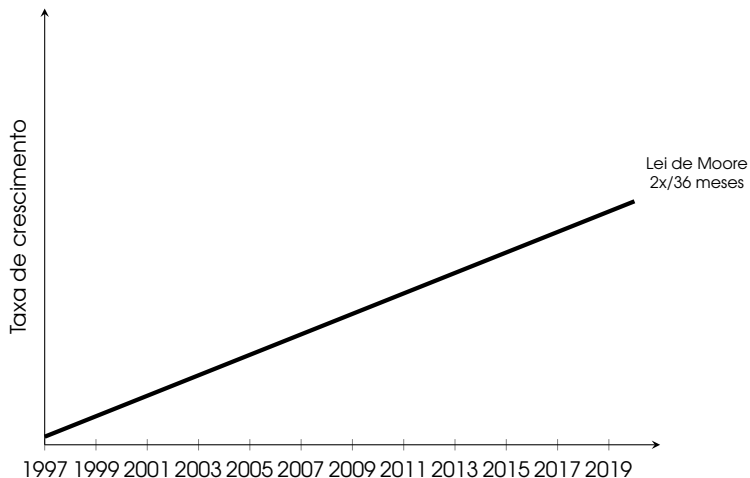
► Requisitos de eficiência



Não importa a complexidade do sistema embarcado, sua construção e operação deve ser sempre eficiente

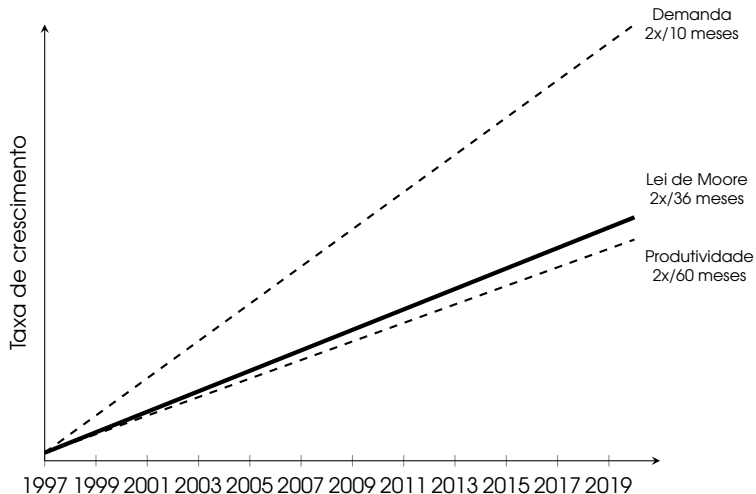
Sistemas embarcados

► Déficit de produtividade de software



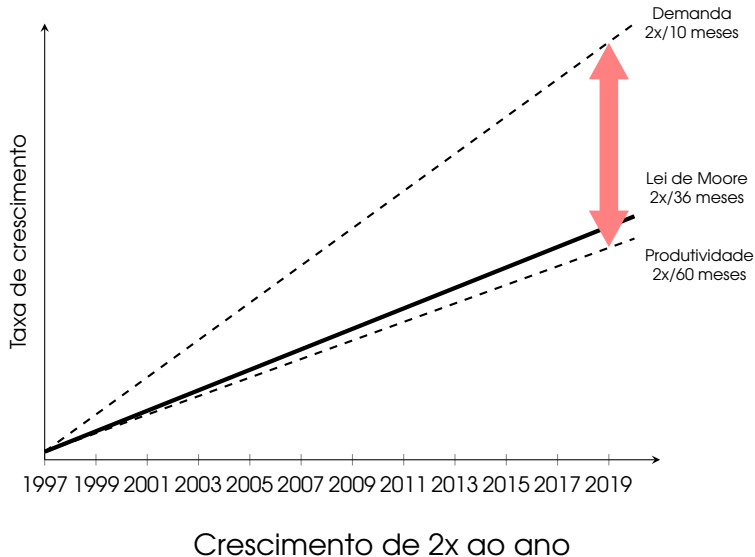
Sistemas embarcados

► Déficit de produtividade de software



Sistemas embarcados

► Déficit de produtividade de software



Sistemas embarcados

- ▶ Projeto baseado em plataforma

Sistemas embarcados

- ▶ Projeto baseado em plataforma
 - ▶ Baixo custo de desenvolvimento (*NRE*)

Sistemas embarcados

- ▶ Projeto baseado em plataforma
 - ▶ Baixo custo de desenvolvimento (*NRE*)
 - ▶ Componentes de prateleira (*off-the-shelf*)

Sistemas embarcados

- ▶ Projeto baseado em plataforma
 - ▶ Baixo custo de desenvolvimento (*NRE*)
 - ▶ Componentes de prateleira (*off-the-shelf*)
 - ▶ Interfaces padronizadas de comunicação

Sistemas embarcados

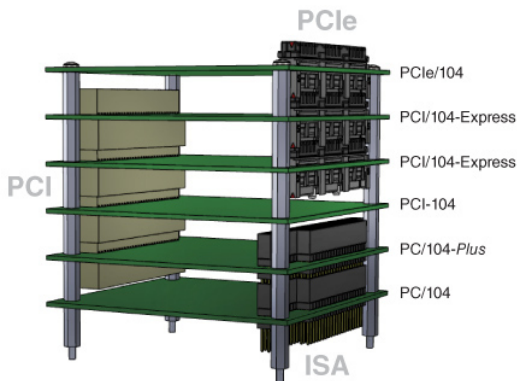
- ▶ Projeto baseado em plataforma
 - ▶ Baixo custo de desenvolvimento (*NRE*)
 - ▶ Componentes de prateleira (*off-the-shelf*)
 - ▶ Interfaces padronizadas de comunicação
 - ▶ Manutenção e validação pelo fabricante

Sistemas embarcados

- ▶ Projeto baseado em plataforma
 - ▶ Baixo custo de desenvolvimento (*NRE*)
 - ▶ Componentes de prateleira (*off-the-shelf*)
 - ▶ Interfaces padronizadas de comunicação
 - ▶ Manutenção e validação pelo fabricante
 - ▶ Volume baixo e médio de produção

Sistemas embarcados

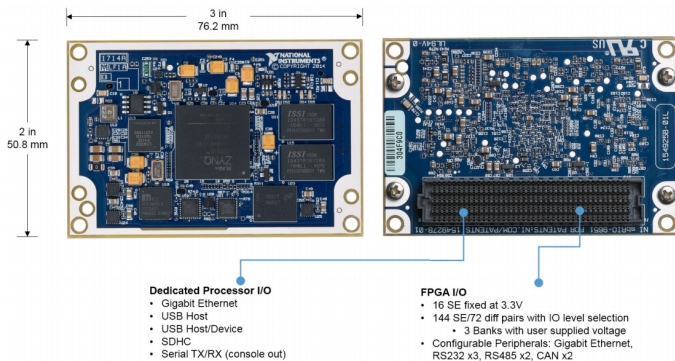
- ▶ Projeto baseado em plataforma
 - ▶ PC/104
 - ▶ Dimensões compactas de 9,5 cm × 9,0 cm
 - ▶ Empilhamento por interfaces padronizadas
 - ▶ Robusto a condições extremas de uso



Fonte: <https://www.rtdusa.com>

Sistemas embarcados

- ▶ Projeto baseado em plataforma
 - ▶ *System on Module (SOM)*
 - ▶ Diversos fabricantes (Intel, Microchip, NI, TI, ...)
 - ▶ Conexões demandam uma placa base (*baseboard*)
 - ▶ Suporte de hardware e de software (biblioteca de componentes, *drivers*, ferramentas e *RTOS*)



Fonte: <http://www.ni.com>

Sistemas embarcados

- ▶ Projeto de *System-on-Chip* (SoC)

Sistemas embarcados

- ▶ Projeto de *System-on-Chip* (SoC)
 - ▶ Alto custo de desenvolvimento (*NRE*)

Sistemas embarcados

- ▶ Projeto de *System-on-Chip* (SoC)
 - ▶ Alto custo de desenvolvimento (NRE)
 - ▶ Componentes personalizados (IP)

Sistemas embarcados

- ▶ Projeto de *System-on-Chip* (SoC)
 - ▶ Alto custo de desenvolvimento (*NRE*)
 - ▶ Componentes personalizados (*IP*)
 - ▶ Interoperabilidade com outros sistemas

Sistemas embarcados

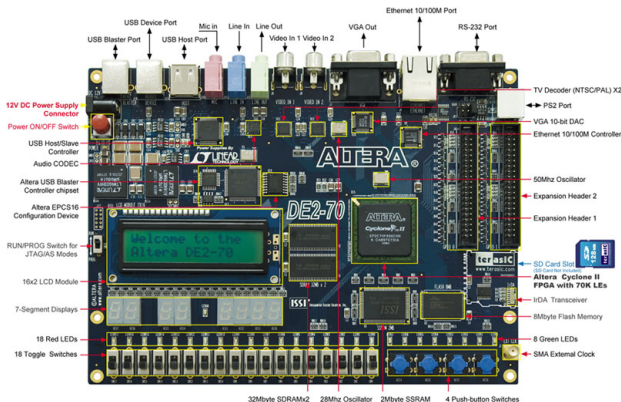
- ▶ Projeto de *System-on-Chip* (SoC)
 - ▶ Alto custo de desenvolvimento (*NRE*)
 - ▶ Componentes personalizados (*IP*)
 - ▶ Interoperabilidade com outros sistemas
 - ▶ Manutenção e validação interna

Sistemas embarcados

- ▶ Projeto de *System-on-Chip* (SoC)
 - ▶ Alto custo de desenvolvimento (*NRE*)
 - ▶ Componentes personalizados (*IP*)
 - ▶ Interoperabilidade com outros sistemas
 - ▶ Manutenção e validação interna
 - ▶ Volume baixo, médio ou alto de produção

Sistemas embarcados

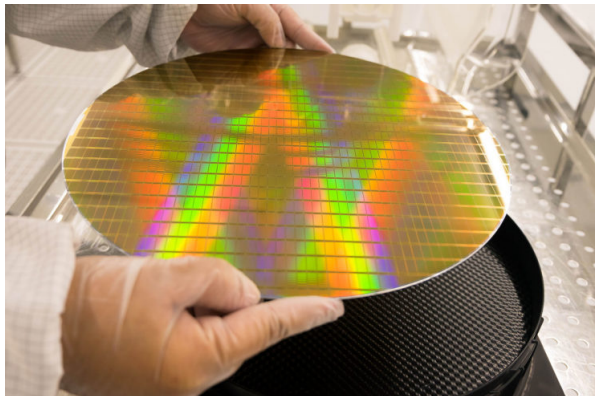
- ▶ Projeto de System-on-Chip (SoC)
 - ▶ *Field-Programmable Gate Array (FPGA)*
 - ▶ Poucos fabricantes (Intel, Lattice, Microchip e Xilinx)
 - ▶ Hardware dedicado e programável (HDL)
 - ▶ Baixo risco, tempo e volume



Fonte: <https://www.terasic.com.tw>

Sistemas embarcados

- ▶ Projeto de *System-on-Chip* (SoC)
 - ▶ *Application-Specific Integrated Circuit* (ASIC)
 - ▶ Fabricantes de semicondutores (*foundries*)
 - ▶ Hardware específico e personalizado
 - ▶ Alto risco, tempo e volume



Fonte: <https://wccftech.com>

Sistemas embarcados

- ▶ Propriedade intelectual

Sistemas embarcados

- ▶ Propriedade intelectual
 - ▶ Um software embarcado pode ser patenteado como parte de um produto inovador, não óbvio e com aplicação industrial com proteção de até 20 anos

Sistemas embarcados

- ▶ Propriedade intelectual
 - ▶ Um software embarcado pode ser patenteado como parte de um produto inovador, não óbvio e com aplicação industrial com proteção de até 20 anos
 - ▶ O projeto de uma placa de circuito impresso (*PCB*) pode ser protegido pelo registro de topografia de circuito integrado por até 10 anos