



UNIVERSIDADE
FEDERAL DE
SERGIPE



DEPARTAMENTO
DE COMPUTAÇÃO

Mecanismos de interconexão

Arquitetura de Computadores

Bruno Prado

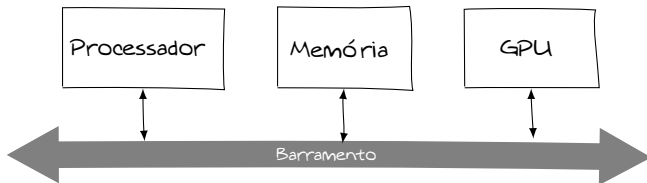
Departamento de Computação / UFS

Introdução

- ▶ Por que são necessários mecanismos de interconexão em computadores?

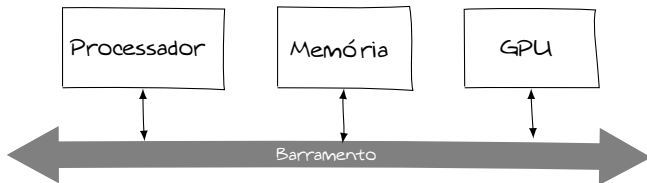
Introdução

- ▶ Por que são necessários mecanismos de interconexão em computadores?
 - ▶ Para suportar a transferência de dados entre os dispositivos da plataforma, como processador, memória ou periféricos de E/S



Introdução

- ▶ Por que são necessários mecanismos de interconexão em computadores?
 - ▶ Para suportar a transferência de dados entre os dispositivos da plataforma, como processador, memória ou periféricos de E/S



O barramento é uma das principais formas de interconectar os componentes da plataforma

Introdução

- ▶ Interconexão com barramentos
 - ▶ Conectam todos os componentes do sistema com modos de operação assíncrono (protocolo) ou síncrono (relógio) e diferentes organizações

Introdução

- ▶ Interconexão com barramentos
 - ▶ Conectam todos os componentes do sistema com modos de operação assíncrono (protocolo) ou síncrono (relógio) e diferentes organizações
- ✓ Escalabilidade
- ✓ Baixo custo

Introdução

- ▶ Interconexão com barramentos

- ▶ Conectam todos os componentes do sistema com modos de operação assíncrono (protocolo) ou síncrono (relógio) e diferentes organizações

✓	Escalabilidade	✗	Gargalo (congestionamento)
✓	Baixo custo	✗	Concorrência (retenção)

Introdução

- ▶ Modos de operação de barramento
 - ▶ Síncrono
 - ▶ Com uma referência de tempo (horários de aulas), os dispositivos sincronizam a transferência de dados

13:00	Aula 1
15:00	Aula 2
17:00	Aula 3

Introdução

- ▶ Modos de operação de barramento

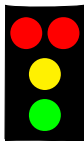
- ▶ Síncrono

- ▶ Com uma referência de tempo (horários de aulas), os dispositivos sincronizam a transferência de dados

13:00	Aula 1
15:00	Aula 2
17:00	Aula 3

- ▶ Assíncrono

- ▶ Através de um protocolo de comunicação (semáforo de trânsito), são definidas as etapas da comunicação



Introdução

- ▶ Papel dos dispositivos no barramento
 - ▶ **Mestre:** iniciam ou solicitam as transações para o barramento, como o processador ou DMA
 - ▶ **Escravo:** atendem ou respondem as transações do barramento, como a memória ou periférico

Introdução

- ▶ Papel dos dispositivos no barramento
 - ▶ **Mestre:** iniciam ou solicitam as transações para o barramento, como o processador ou DMA
 - ▶ **Escravo:** atendem ou respondem as transações do barramento, como a memória ou periférico

As transações de escrita e leitura de dados no barramento são atômicas

Introdução

- ▶ Sinais de reinicialização e sincronismo
 - ▶ Reinicialização (*reset*)
 - ▶ Restaura uma condição ou estado inicial do sistema
 - ▶ Pode ser utilizado para limitação de tempo (*timeout*) ou de recuperação de falha (*fail recovery*)

Introdução

- ▶ Sinais de reinicialização e sincronismo
 - ▶ Reinicialização (*reset*)
 - ▶ Restaura uma condição ou estado inicial do sistema
 - ▶ Pode ser utilizado para limitação de tempo (*timeout*) ou de recuperação de falha (*fail recovery*)
 - ▶ Sincronismo (*clock*)
 - ▶ Simplifica o projeto de circuitos digitais através de uma referência de ciclo de relógio para todas as operações
 - ▶ Implementado como uma onda quadrada de 1 bit com período igual ao inverso da frequência

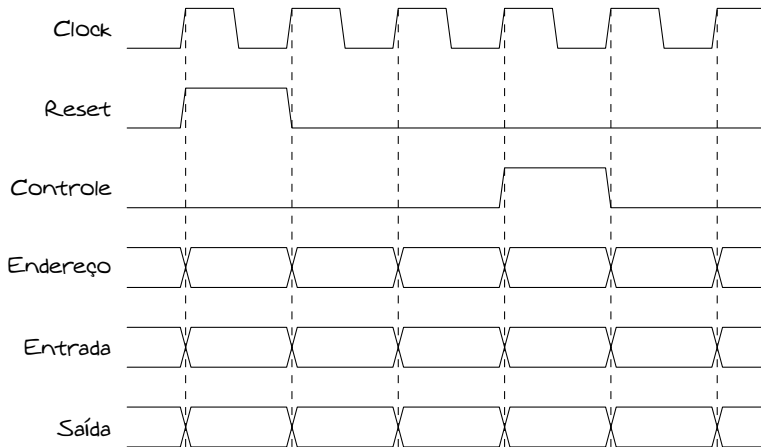
Introdução

- ▶ Sinais de reinicialização e sincronismo
 - ▶ Reinicialização (*reset*)
 - ▶ Restaura uma condição ou estado inicial do sistema
 - ▶ Pode ser utilizado para limitação de tempo (*timeout*) ou de recuperação de falha (*fail recovery*)
 - ▶ Sincronismo (*clock*)
 - ▶ Simplifica o projeto de circuitos digitais através de uma referência de ciclo de relógio para todas as operações
 - ▶ Implementado como uma onda quadrada de 1 bit com período igual ao inverso da frequência

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{2,4 \text{ GHz}} = \frac{1}{2,4 \times 10^9} \approx 0,42 \text{ ns}$$

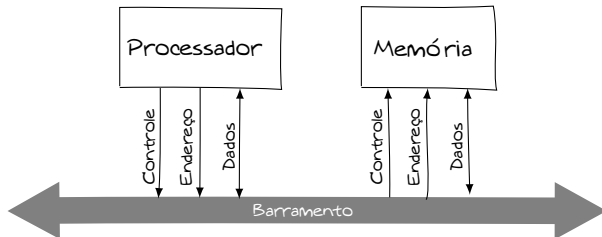
Introdução

- ▶ Diagrama de tempo
 - ▶ Especifica o comportamento de sinais no tempo



Estrutura lógica

- ▶ A estrutura lógica de um barramento consiste em uma série de linhas de controle e dados
 - ▶ Controle + Endereçamento + Dados



Estrutura lógica

- ▶ Linha de controle
 - ▶ Define que operação será realizada pela transação
 - ▶ Escrita e leitura de memória (código e dados) ou de dispositivos conectados ao barramento (E/S)
 - ▶ Gerenciamento de interrupção

Estrutura lógica

- ▶ Linha de controle
 - ▶ Define que operação será realizada pela transação
 - ▶ Escrita e leitura de memória (código e dados) ou de dispositivos conectados ao barramento (E/S)
 - ▶ Gerenciamento de interrupção
 - ▶ Sequência de controle de uma transação
 - ▶ Requisição de operação (*request*)
 - ▶ Concessão de permissão (*grant*)
 - ▶ Reconhecimento de requisição (*acknowledgement*)

Estrutura lógica

- ▶ Linha de endereço
 - ▶ Armazena o endereço de origem ou destino do dispositivo que será acessado no barramento

# Bits	Endereçamento
8	0x00 - 0xFF
16	0x0000 - 0xFFFF
32	0x00000000 - 0xFFFFFFFF
64	0x0000000000000000 - 0xFFFFFFFFFFFFFFFF

Estrutura lógica

- ▶ Linha de dados
 - ▶ É o caminho para transferência dos dados entre os componentes da plataforma, com principal parâmetro a quantidade de bits que podem ser transmitidos ou a largura do barramento

Estrutura lógica

- ▶ Linha de dados
 - ▶ É o caminho para transferência dos dados entre os componentes da plataforma, com principal parâmetro a quantidade de bits que podem ser transmitidos ou a largura do barramento
 - ▶ Apesar do fluxo bidirecional, a recepção e transmissão podem não acontecer simultaneamente
 - ▶ Mestre → Escravo (escrita)
 - ▶ Mestre ← Escravo (leitura)

Estrutura lógica

- ▶ Arbitração de barramento
 - ▶ É necessário quando existe no sistema mais de um dispositivo mestre no barramento, o que pode causar inconsistências em acessos concorrentes

Estrutura lógica

- ▶ Arbitração de barramento
 - ▶ É necessário quando existe no sistema mais de um dispositivo mestre no barramento, o que pode causar inconsistências em acessos concorrentes
 - ▶ Sequência de controle
 1. Um dos dispositivos mestre ganha exclusividade para acesso do barramento, bloqueando os demais (*lock*)

Estrutura lógica

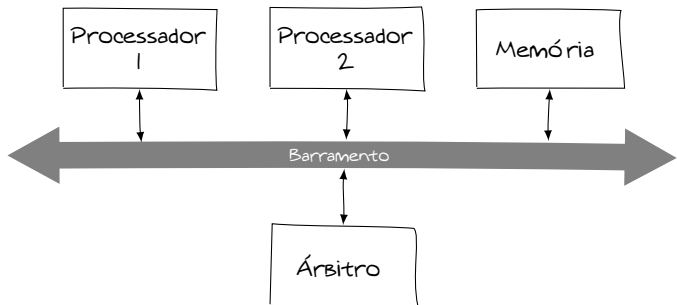
- ▶ Arbitração de barramento
 - ▶ É necessário quando existe no sistema mais de um dispositivo mestre no barramento, o que pode causar inconsistências em acessos concorrentes
 - ▶ Sequência de controle
 1. Um dos dispositivos mestre ganha exclusividade para acesso do barramento, bloqueando os demais (*lock*)
 2. É feita a transferência dos dados entre os dispositivos

Estrutura lógica

- ▶ Arbitração de barramento
 - ▶ É necessário quando existe no sistema mais de um dispositivo mestre no barramento, o que pode causar inconsistências em acessos concorrentes
 - ▶ Sequência de controle
 1. Um dos dispositivos mestre ganha exclusividade para acesso do barramento, bloqueando os demais (*lock*)
 2. É feita a transferência dos dados entre os dispositivos
 3. Com o término da transação, o barramento é liberado para acesso dos outros dispositivos mestres (*unlock*)

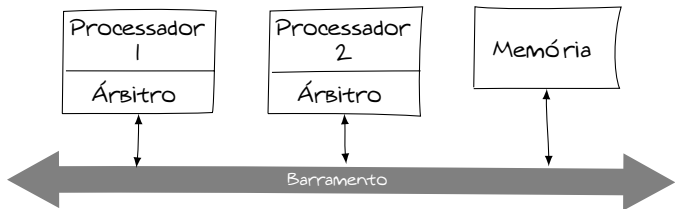
Estrutura lógica

- ▶ Método centralizado de arbitração
 - ▶ O árbitro centralizado define a prioridade dos dispositivos mestres para acessar o barramento



Estrutura lógica

- ▶ Método descentralizado de arbitração
 - ▶ É feito um controle colaborativo para acesso dos dispositivos mestres ao barramento



Estrutura física

- ▶ A estrutura física de um barramento pode ser implementada através de linhas paralelas e seriais
 - ▶ Podem existir linhas dedicadas para sincronismo de reinicialização (*reset*) e relógio (*clock*)

Estrutura física

- ▶ A estrutura física de um barramento pode ser implementada através de linhas paralelas e seriais
 - ▶ Podem existir linhas dedicadas para sincronismo de reinicialização (*reset*) e relógio (*clock*)
 - ▶ Em linhas compartilhadas, é utilizada a técnica de multiplexação para chaveamento de função

Estrutura física

- ▶ A estrutura física de um barramento pode ser implementada através de linhas paralelas e seriais
 - ▶ Podem existir linhas dedicadas para sincronismo de reinicialização (*reset*) e relógio (*clock*)
 - ▶ Em linhas compartilhadas, é utilizada a técnica de multiplexação para chaveamento de função
 - ▶ Na comunicação paralela, todos os bits são transmitidos simultaneamente, enquanto que na transmissão serial, os bits são enviados um bit por vez

Estrutura física

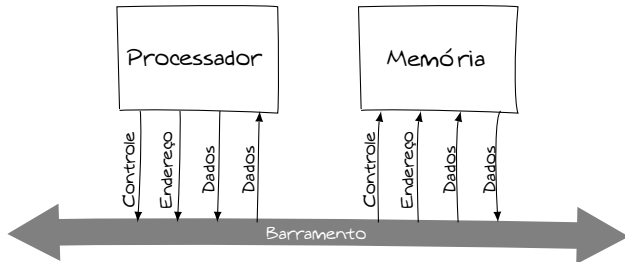
- ▶ Tipos de linhas físicas de interconexão
 - ▶ Dedicadas
 - ▶ São meios físicos exclusivos para certos tipos de dados
 - ▶ Apresenta baixa retenção e grande vazão de dados, porém com área física e custos de produção maiores

Estrutura física

- ▶ Tipos de linhas físicas de interconexão
 - ▶ Dedicadas
 - ▶ São meios físicos exclusivos para certos tipos de dados
 - ▶ Apresenta baixa retenção e grande vazão de dados, porém com área física e custos de produção maiores
 - ▶ Multiplexadas
 - ▶ Permitem por um tempo determinado o compartilhamento do meio físico de transmissão
 - ▶ Possui área física e custo reduzidos, entretanto, o compartilhamento reduz o desempenho

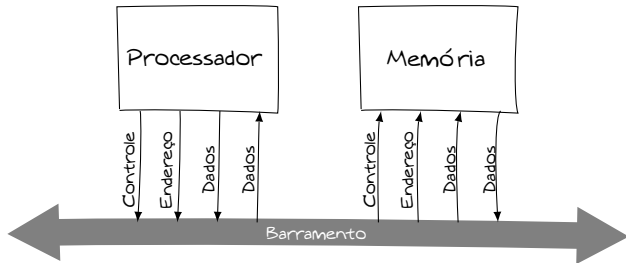
Estrutura física

- ▶ Linhas de dados dedicadas ou paralelas
 - ▶ Controle (1) + Endereço (32) + Dados (32 + 32)



Estrutura física

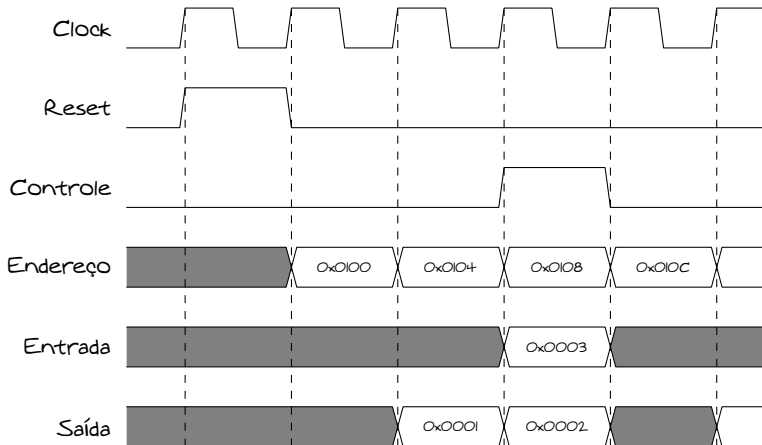
- ▶ Linhas de dados dedicadas ou paralelas
 - ▶ Controle (1) + Endereço (32) + Dados (32 + 32)



Comunicação *full-duplex* com 97 linhas dedicadas

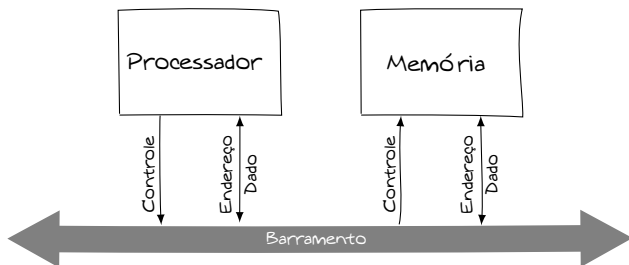
Estrutura física

- ▶ Linhas de dados dedicadas ou paralelas
 - ▶ Cada sinal possui sua própria linha



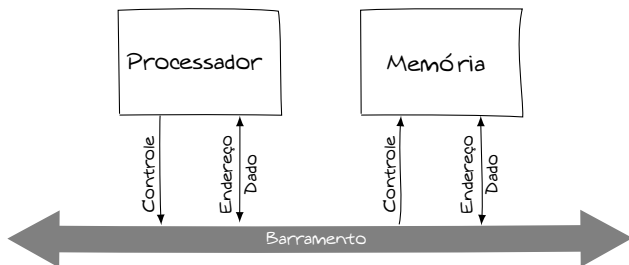
Estrutura física

- ▶ Linhas multiplexadas ou seriais
 - ▶ Controle (1) + Endereço/dados (32)



Estrutura física

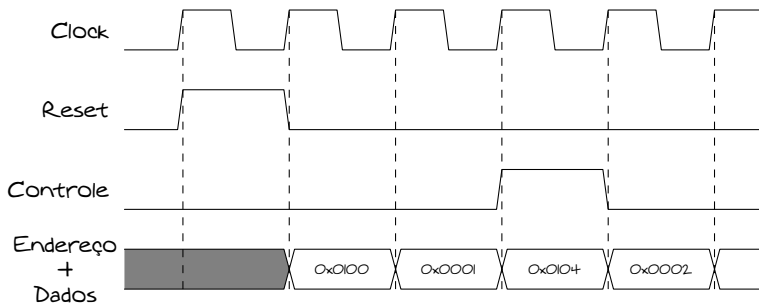
- ▶ Linhas multiplexadas ou seriais
 - ▶ Controle (1) + Endereço/dados (32)



Comunicação *half-duplex* com 33 linhas físicas, representando uma redução de 66% das linhas e demandando o dobro da frequência de operação para ter o mesmo desempenho com relação à dedicada

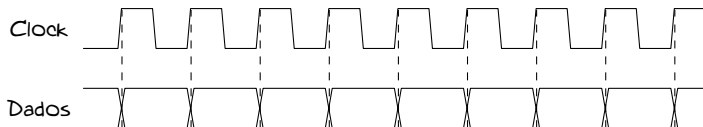
Estrutura física

- ▶ Linhas multiplexadas ou seriais
 - ▶ Os sinais são intercalados em linhas compartilhadas



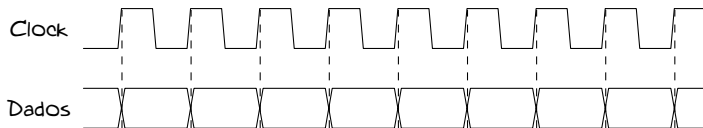
Barramento síncrono

- ▶ Os eventos do barramento são coordenados com utilização de ciclos de relógio (*clock*)
 - ▶ Os sinais de dados são sincronizados pelo relógio



Barramento síncrono

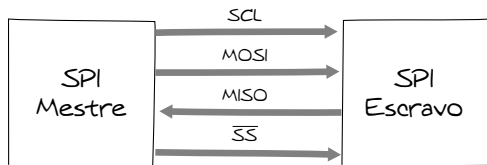
- ▶ Os eventos do barramento são coordenados com utilização de ciclos de relógio (*clock*)
 - ▶ Os sinais de dados são sincronizados pelo relógio



A transmissão pode ser paralela ou serial

Barramento síncrono

- ▶ *Serial Peripheral Interface (SPI)*
 - ▶ Desenvolvido pela Motorola
 - ▶ Comunicação *full-duplex* serial

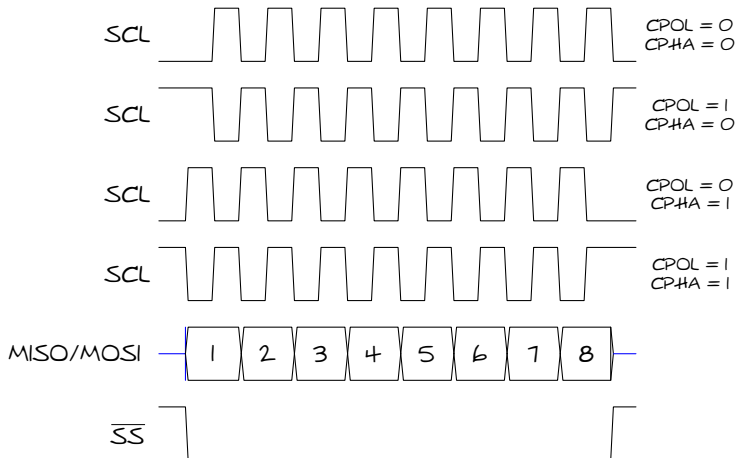


- ▶ *Serial CLock (SCL)*
- ▶ *Master Output Slave Input (MOSI)*
- ▶ *Master Input Slave Output (MISO)*
- ▶ *Slave Select (SS)*

Barramento síncrono

► Serial Peripheral Interface (SPI)

► Envio e recepção dos dados

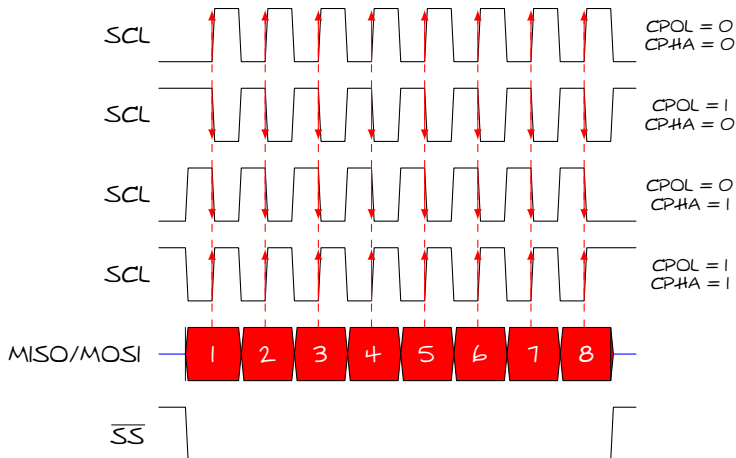


► Frequência de SCL fixada entre 1 e 100 MHz e seleção do escravo (\overline{SS}) ativado em nível negativo

Barramento síncrono

► Serial Peripheral Interface (SPI)

► Envio e recepção dos dados



► Frequência de SCL fixada entre 1 e 100 MHz e seleção do escravo (\overline{SS}) ativado em nível negativo

Barramento síncrono

- ▶ Comunicação síncrona
 - ▶ Vantagens
 - ✓ Alto desempenho
 - ✓ Menor complexidade

Barramento síncrono

- ▶ Comunicação síncrona
 - ▶ Vantagens
 - ✓ Alto desempenho
 - ✓ Menor complexidade
 - ▶ Desvantagens
 - ✗ Menor flexibilidade de uso
 - ✗ Taxa fixa de transmissão

Aplicações

- ▶ Padrões síncronos de comunicação
 - ▶ *Inter-Integrated Circuit (I2C)*
 - ▶ Projetado pela Philips
 - ▶ Conexão e controle de periféricos com baixa velocidade (SDRAM, DAC/ADC, LCD, ...)
 - ▶ *Controller Area Network (CAN)*
 - ▶ Desenvolvido pela Bosch
 - ▶ Utilizado em componentes eletrônicos da indústria automotiva (Direção elétrica, airbags, ABS, ...)
 - ▶ *Local Interconnect Network (LIN)*
 - ▶ Criado por BMW, VW, Volvo e Daimler-Chrysler
 - ▶ Alternativa mais barata ao CAN

Barramento assíncrono

- ▶ Neste tipo de barramento os dados são transmitidos através de um protocolo de comunicação
 - ▶ É feita a sinalização do início e término da transmissão



Barramento assíncrono

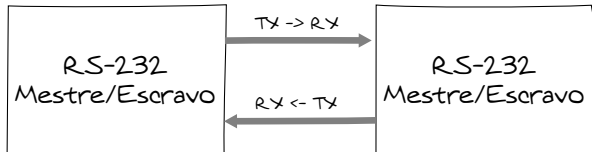
- ▶ Neste tipo de barramento os dados são transmitidos através de um protocolo de comunicação
 - ▶ É feita a sinalização do início e término da transmissão



A transmissão pode ser paralela ou serial

Barramento assíncrono

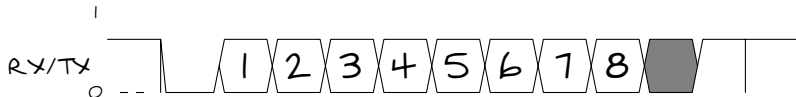
- ▶ *Recommended Standard 232* (RS-232)
 - ▶ Desenvolvido pela Electronic Industries Alliance
 - ▶ Comunicação *full-duplex* serial



- ▶ Transmissão (TX)
- ▶ Recepção (RX)

Barramento assíncrono

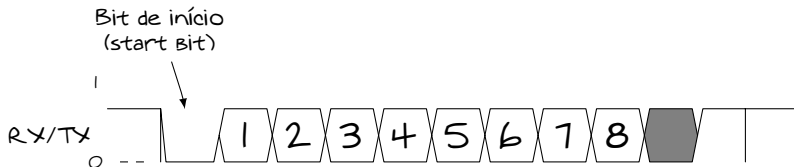
- ▶ *Recommended Standard 232 (RS-232)*
 - ▶ Envio e recepção dos dados



O dispositivo trabalha com taxa de transmissão (*baud rate*) que pode ser definida ou configurada automaticamente por sincronismo (*modem*)

Barramento assíncrono

- ▶ *Recommended Standard 232* (RS-232)
 - ▶ Envio e recepção dos dados



O dispositivo trabalha com taxa de transmissão (*baud rate*) que pode ser definida ou configurada automaticamente por sincronismo (*modem*)

Barramento assíncrono

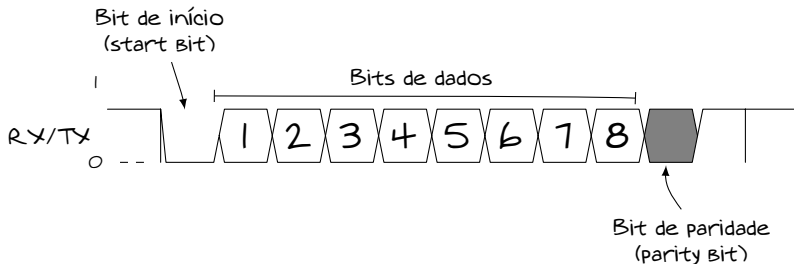
- ▶ *Recommended Standard 232 (RS-232)*
 - ▶ Envio e recepção dos dados



O dispositivo trabalha com taxa de transmissão (*baud rate*) que pode ser definida ou configurada automaticamente por sincronismo (*modem*)

Barramento assíncrono

- *Recommended Standard 232 (RS-232)*
 - Envio e recepção dos dados



O dispositivo trabalha com taxa de transmissão (*baud rate*) que pode ser definida ou configurada automaticamente por sincronismo (*modem*)

Barramento assíncrono

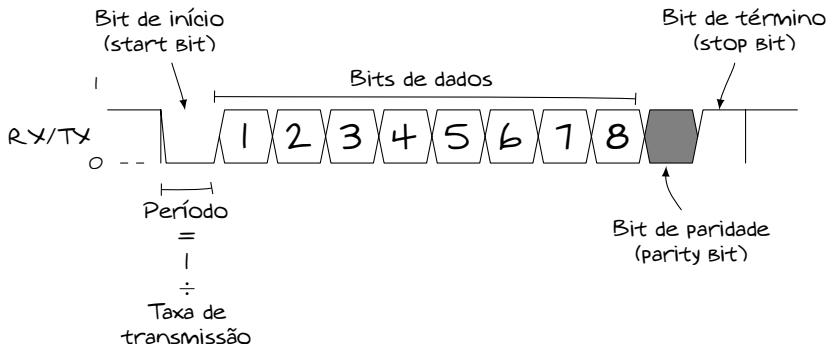
- ▶ *Recommended Standard 232* (RS-232)
 - ▶ Envio e recepção dos dados



O dispositivo trabalha com taxa de transmissão (*baud rate*) que pode ser definida ou configurada automaticamente por sincronismo (*modem*)

Barramento assíncrono

- *Recommended Standard 232 (RS-232)*
 - Envio e recepção dos dados



O dispositivo trabalha com taxa de transmissão (*baud rate*) que pode ser definida ou configurada automaticamente por sincronismo (*modem*)

Barramento assíncrono

- ▶ Comunicação assíncrona
 - ▶ Vantagens
 - ✓ Flexibilidade de uso
 - ✓ Taxa variável de transmissão

Barramento assíncrono

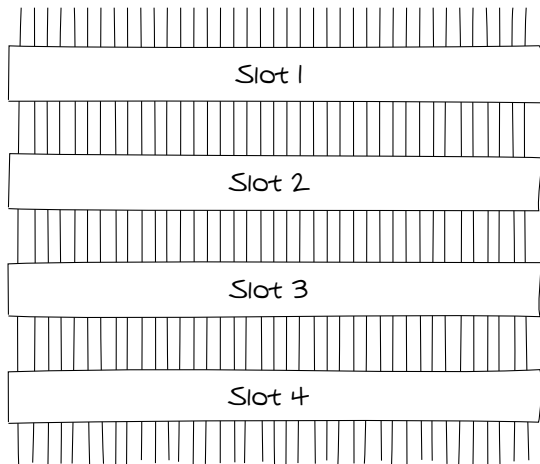
- ▶ Comunicação assíncrona
 - ▶ Vantagens
 - ✓ Flexibilidade de uso
 - ✓ Taxa variável de transmissão
 - ▶ Desvantagens
 - ✗ Maior complexidade
 - ✗ Menor vazão de dados

Aplicações

- ▶ Padrões assíncronos de comunicação
 - ▶ *Universal Serial Bus (USB)*
 - ▶ Criado por consórcio Compaq, DEC, IBM, Intel, Microsoft, NEC e Nortel
 - ▶ Padronização de interface para conexão, cabos e comunicação de dispositivos
 - ▶ *Ethernet*
 - ▶ Desenvolvido pela Xerox PARC
 - ▶ Adotado em redes de computadores e os dados são agrupados em quadros (*frames*)
 - ▶ *Asynchronous Transfer Mode (ATM)*
 - ▶ Definido pelo ANSI e ITU
 - ▶ Conjunto de padrões para transmissão de voz, dados e vídeo com dados em células (*cells*)

Hierarquia de barramento

- O barramento possui o objetivo principal de interconectar todos os componentes do sistema



Eficiência, escalabilidade e padronização

Hierarquia de barramento

- ▶ Apesar da escalabilidade ser um requisito importante, um número grande de componentes interconectados geram alguns problemas
 - ▶ + Conexões \rightarrow + Extensão física
 - ▶ Maior atraso na propagação dos sinais elétricos
 - ▶ Redução de desempenho da comunicação

Hierarquia de barramento

- ▶ Apesar da escalabilidade ser um requisito importante, um número grande de componentes interconectados geram alguns problemas
 - ▶ + Conexões \rightarrow + Extensão física
 - ▶ Maior atraso na propagação dos sinais elétricos
 - ▶ Redução de desempenho da comunicação
 - ▶ Diferentes dispositivos no mesmo barramento
 - ▶ Tráfego excessivo por dispositivos de alto desempenho
 - ▶ Periféricos lentos causam grande retenção

Hierarquia de barramento

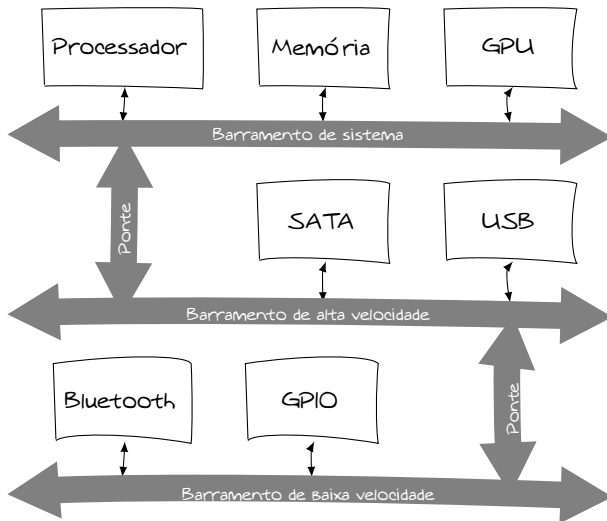
- ▶ O que é hierarquia de barramento?
 - ▶ É a utilização de múltiplos barramentos, com diferentes especificações e requisitos que são interconectados por pontes (*bridges*)

Hierarquia de barramento

- ▶ O que é hierarquia de barramento?
 - ▶ É a utilização de múltiplos barramentos, com diferentes especificações e requisitos que são interconectados por pontes (*bridges*)
 - ✓ Menor extensão física
 - ✓ Isolamento do tráfego
 - ✓ Tempo mais uniforme

Hierarquia de barramento

- Sistema com múltiplos barramentos

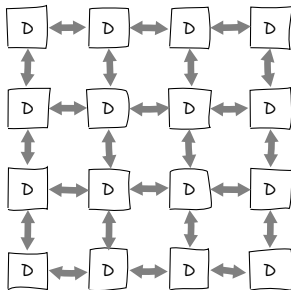


Hierarquia de barramento

- ▶ Padrões de barramento hierárquico
 - ▶ *Industry Standard Architecture* (ISA)
 - ▶ Comunicação paralela
 - ▶ Taxa máxima de 16 MB/s e uso industrial (PC-104)
 - ▶ *Peripheral Component Interconnect Express* (PCI-Express)
 - ▶ Comunicação serial
 - ▶ Taxa máxima de 32 GB/s com diversos usos
 - ▶ *Advanced Microcontroller Bus Architecture* (AMBA)
 - ▶ Comunicação paralela
 - ▶ Uso embarcado em *System-on-Chip* (SoC)
 - ▶ ...

Interconexão em rede

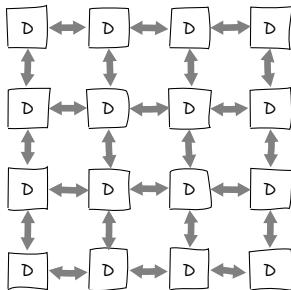
- *Network-on-Chip* (NoC)
 - Comunicação baseada em pacotes com interfaces síncronas e assíncronas, baseado em redes *mesh*



Interconexão em rede

- *Network-on-Chip* (NoC)

- Comunicação baseada em pacotes com interfaces síncronas e assíncronas, baseado em redes *mesh*



- NoC x Barramento

- ✓ Maior escalabilidade
 - ✓ Flexibilidade de projeto
 - ✓ Redução no consumo de potência