



Instituto Federal de Santa Catarina
Área de Telecomunicações

MIC29004 – Microprocessadores

Prof. Roberto de Matos
roberto.matos@ifsc.edu.br

São José, agosto de 2013.

Aviso de direitos Autorais:
Transparências baseadas no trabalho do
[Prof. Eduardo Augusto Bezerra](#)

Microcontroladores

MIC29004 – Microprocessadores

Microcontroladores

Componentes básicos de sistemas computacionais processados:

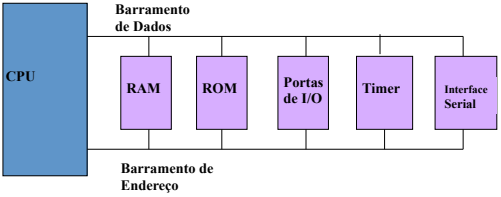
- CPU
- Memória de dados e programa
- Sistema de entrada/saída

MIC29004 – Microprocessadores

Microcontroladores

Microprocessadores de Propósito Geral

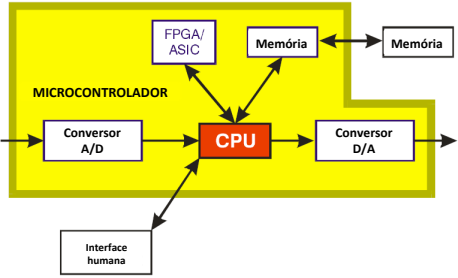
Sem RAM, ROM ou dispositivos de I/O



Vantagem: flexibilidade, sistema expansível ;
Desvantagem: custo, roteamento de placa e dimensões do circuito.

MIC29004 – Microprocessadores

Microcontroladores



MIC29004 – Microprocessadores

Microcontroladores: aplicações

MIC29004 – Microprocessadores

FPGA: aplicações

Figure 2. Where will the computers be?

Where has computer science focused?

Where are the processors?

MIC29004 – Microprocessadores

FPGA: aplicações

Figure 3. Projected CPU shipments in 2000.

| Microcontroller Solutions 8,288,300,000 | | | | |
|--|---|--|--|---|
| Cores ??? | Microcontroller units 7,257,000,000 | Embedded Microprocessor units 281,300,000 | Digital signal processor 600,000,000 | Computational Microprocessor units 150,000,000 |
| 16 bit (ARM) | 4 bit 1,680,000,000 | 8 bit 20,200,000 | Texas Instruments | x86 |
| 32 bit (MIPS) | 8 bit 4,770,000,000 | 16 bit 108,000,000 | Advanced Micro Devices | PowerPC |
| ASSP | 16 bit 764,000,000 | 32 bit 153,100,000 | | SPARC |
| ASIC | 32 bit 43,000,000 | | | |

Source: DARPA

MIC29004 – Microprocessadores



Microcontroladores: aplicações

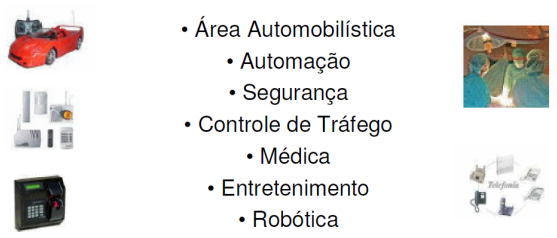
MIC29004 – Microprocessadores

Microcontroladores: aplicações

MIC29004 – Microprocessadores

Microcontroladores: aplicações

- Área Automobilística
 - Automação
 - Segurança
- Controle de Tráfego
 - Médica
- Entretenimento
 - Robótica



MIC29004 – Microprocessadores

Microcontroladores: aplicações

- Embarcados em:
 - Sistemas automotivos
 - Aviônicos
 - Brinquedos
 - Dispositivos médicos
 - Eletrodomésticos
- Bilhões de unidades



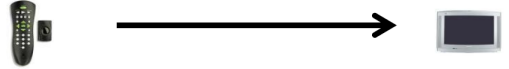
MIC29004 – Microprocessadores

Microcontroladores: aplicações


- Produtos de uso pessoal: Celulares, pagers, relógios, gravadores portáteis, calculadoras, câmeras fotográficas
- Laptops: mouse, teclado, modem, fax, placa de som, carregador de bateria
- Domótica: tranca eletromagnética, despertador, termostato, ar condicionado, controle remoto de TV, secador de cabelo, aparelho de DVD, geladeira, lavadora de roupa/louça, forno de microondas

MIC29004 – Microprocessadores


Microcontroladores: aplicações



Outro exemplo corriqueiro é o despertador

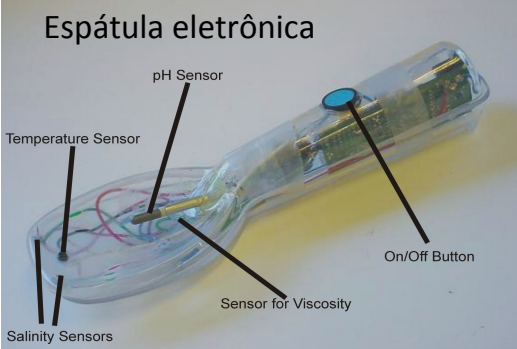


Outro exemplo é a parte de segurança



Microcontroladores: aplicações

Espátula eletrônica



Microcontroladores: aplicações

Espátula eletrônica



Microcontroladores: aplicações

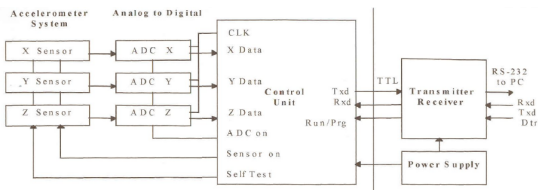


MIC29004 – Microprocessadores

Microcontroladores: aplicações

MIC29004 – Microprocessadores

Microcontroladores: aplicações



MIC29004 – Microprocessadores

Microcontroladores: aplicações

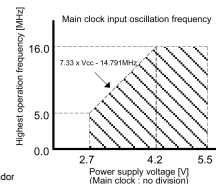
MIC29004 – Microprocessadores

Microcontroladores: Limitações

MIC29004 – Microprocessadores

Limitações

- Limitação importante: velocidade de processamento
- Não adequados para aplicações com tempo de resposta abaixo de poucos microsegundos
- Ambiente de desenvolvimento (compiladores, montadores, linkers, bibliotecas, plataformas de software e hardware, ...) – pode ser de uso complexo e custo elevado
- Tamanho dos programas e dados (recursos de memória escassos)
- Programas sequenciais



MIC29004 – Microprocessador

Limitações

PIC

- Disponibilidade em encapsulamento DIP para uso direto em placas de prototipação
- Valores na ordem de US\$1 a US\$9

• **Limitação:** Custo das ferramentas – Compilador ~US\$200; Debug ~US\$150.

AVR

- Ferramentas gratuitas (gcc)
- IDE disponível para Windows, Mac e Linux, incluindo debug
- AVR-Dragon da Atmel custa em torno de US\$50 e pode ser utilizado para programação e depuração
- **Limitação:** poucas famílias de dispositivos disponíveis (pouca variedade) ao se comparar com o PIC

MIC29004 – Microprocessadores

Limitações

Microcontrolador:

Vantagens:

- Mais versátil que CPLD, especialmente para aplicações analógicas (A/D, D/A).
- Facilidade para implementar algoritmos complexos e funções densas

Desvantagens:

- Temporização difícil de ser determinada para aplicações mais complexas (em C)
- Normalmente, menos desempenho em tempo de execução do que CPLD

CPLD:

Vantagens:

- Temporização eficiente e precisa

Desvantagens:

- Normalmente, melhor desempenho em tempo de execução do que microcontroladores
- Limitação para aplicações complexas e lógicas densas

MIC29004 – Microprocessadores

Limitações

Programa Exemplo: Loop

```
/* pulses pin PORTB<3>
eight times */

pulse:
movlw 0x08
movwf counter

pulse_lp0:
bsf PORTB, 3
bcf PORTB, 3
decfsz counter, F
goto pulse_lp0
return
```

Assembly

```
/* pulses pin PORTB<3>
eight times */

void pulse ()
{
int i;
for (i=0; i<8; i++)
{ output_high(PIN_B3);
output_low(PIN_B3);
}
return;
}
```

C

MIC29004 – Microprocessadores

Limitações

Compilador Ineficiente

```
/* pulses pin PORTB<3>
eight times */

0000: movlw 0x8
0001: movwf 0x20
0002: bsf 0x6,0x3
0003: bcf 0x6,0x3
0004: decfsz 0x20
```

Assembly escrito pelo desenvolvedor

```
/* pulses pin PORTB<3> eight
times */
0005: CLRF 21
0006: MOVF 21,W
0007: SUBLW 07
0008: BTSS 03,0
0009: GOTO 014
000A: BSF 03,5
000B: BCF 06,3
000C: BCF 03,5
000D: BSF 06,3
000E: BSF 03,5
000F: BCF 06,3
0010: BCF 03,5
0011: BCF 06,3
0012: INCF 21,F
0013: GOTO 006
```

Assembly gerado pelo compilador

MIC29004 – Microprocessadores

8051: Introdução

MIC29004 – Microprocessadores

8051 – Introdução

Características Básicas:

- CPU de 8 bits;
- endereça 64 Kb de memória de programa externa;
- endereça 64 Kb de memória de dados externa;
- 4 kbytes de memória ROM interna para programas;
- 128 bytes de memória RAM interna para dados;
- 4 portas de entrada e saída (8 pinos cada);
- 5 vetores de interrupção:
 - 2 níveis de prioridade
 - 2 externas, 2 dos timers/counters e 1 da porta serial

MIC29004 – Microprocessadores

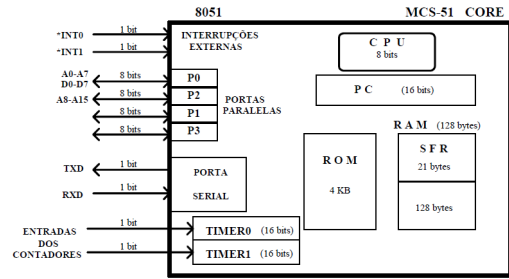
8051 – Introdução

Características Básicas:

- 111 Instruções:
 - 1 ciclo → 64 → 58%
 - 2 ciclos → 45 → 40%
 - 4 ciclos → 2 → 2%
 - 1 byte → 49 → 44%
 - 2 bytes → 46 → 41%
 - 3 bytes → 16 → 15%
- 98% de 1 ou 2 ciclos → velocidade
- 85% de 1 ou 2 bytes → compacto

MIC29004 – Microprocessadores

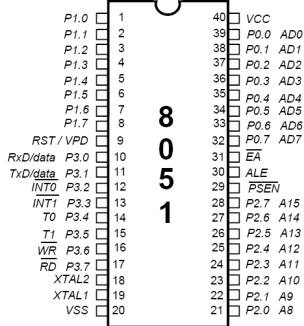
8051 – Introdução



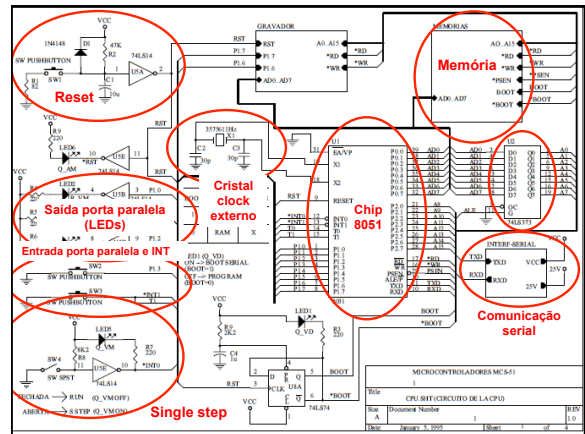
• 5 Interrupções (2 externas, 2 dos timers/counters e 1 da porta serial)

MIC29004 – Microprocessadores

8051 – Introdução



MIC29004 – Microprocessadores



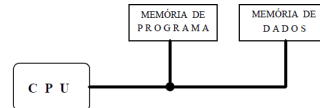
8051: Memória

MIC29004 – Microprocessadores

8051 – Memória

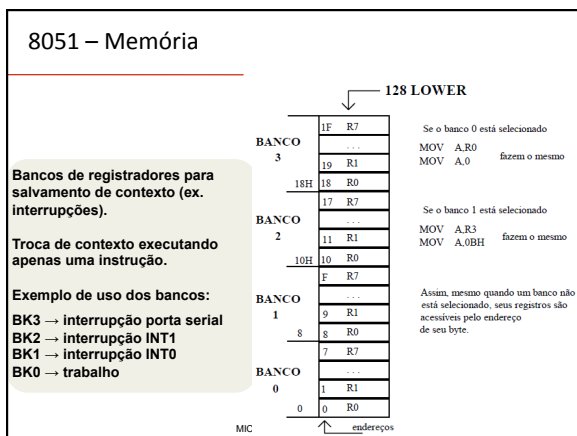
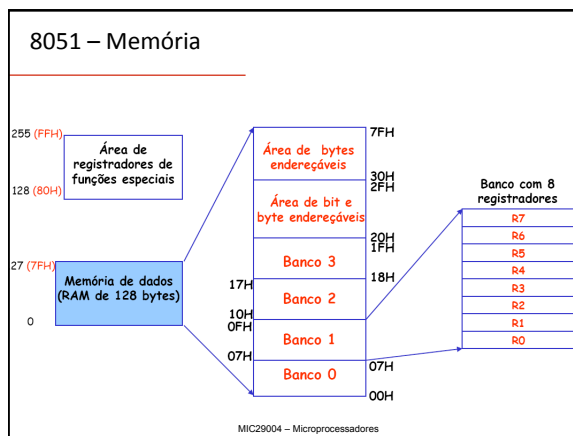
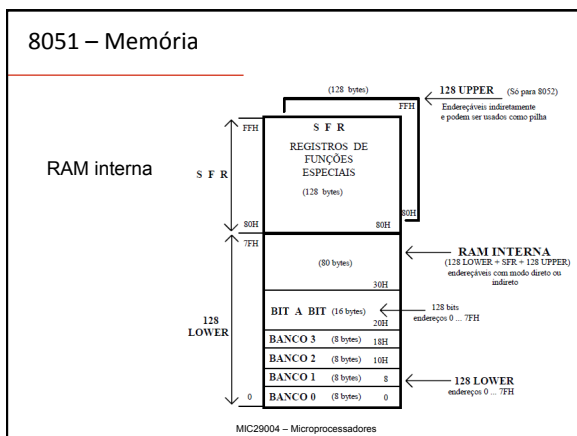
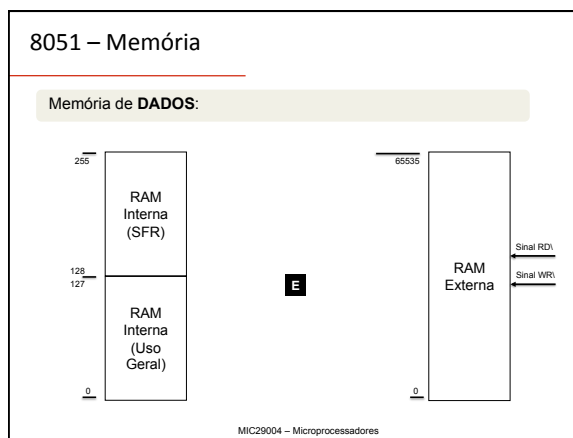
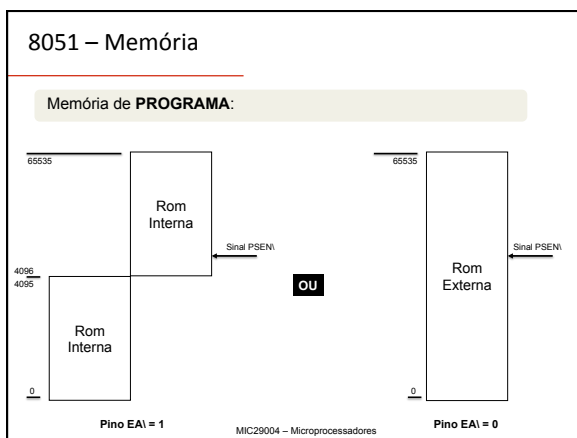
Arquitetura Harvard

- 64 KB de Memória de Programa (PC=16 bits)
- 64 KB de Memória de Dados



- 4 KB de ROM interna ativada pelo pino EA (*External Access Enable*):
 - se EA=0 → 64 KB de programa externo
 - se EA=1 → 4 KB de ROM interna e 60 KB de programa externo

MIC29004 – Microprocessadores



8051 – Memória

RAM interna com 256 bytes com nomes simbólicos para acesso direto

128 bytes (dos 256) reservados para Registros de Funções Especiais (SFR).

8051 possui conjunto mínimo, outros '51 podem possuir mais SFRs

| BIT | SÍMBOLO | NOME | ENDEREÇO |
|-----|---------|--|----------|
| * | ACC | Acumulador | E0 |
| * | B | Registro B | F0 |
| * | PSW | Palavra de Status (Program Status Word) | D0 |
| * | SP | Ponteiro da Pilha (Stack Pointer) | 81 |
| * | DPH | Ponteiro de Dados (high) (Data Pointer High) | 63 |
| * | DPL | Ponteiro de Dados (low) (Data Pointer Low) | 62 |
| * | P3 | Porta 3 | B0 |
| * | P2 | Porta 2 | A0 |
| * | P1 | Porta 1 | 90 |
| * | P0 | Porta 0 | 80 |
| * | IP | Prioridade de Interrupção (Interrupt Priority) | B8 |
| * | IE | Habilitação de Interrupção (Interrupt Enable) | A8 |
| * | TMOD | Timer/Counter Mode | 89 |
| * | TCN | Timer/Counter Control | 88 |
| * | TH1 | Timer/Counter 1 (MSB) | 8D |
| * | TL1 | Timer/Counter 1 (LSB) | 8B |
| * | TH0 | Timer/Counter 0 (MSB) | 8C |
| * | TL0 | Timer/Counter 0 (LSB) | 8A |
| * | SCON | Controle da Porta Serial (Serial Control) | 98 |
| * | SBUF | Buffer da Porta Serial (Serial Buffer) | 99 |
| * | PCON | Controle de Energia (Power Control) | 87 |

MIC2900

8051 – Memória

- Endereçamento Indireto (@) – IDATA:

$$\text{MOV } A, @Ri$$
- Endereçamento indireto a uma posição de memória RAM interna $Ri = R0$ ou $R1$

8051 – Memória

- Endereçamento Indireto (@) – XDATA:

$$\text{MOVX } A, @DPTR$$

8051 – Memória

Mnemônicos

| |
|-------------------|
| MOV A, Rn |
| MOV A, direct |
| MOV A, @Ri |
| MOV A, #data |
| MOV DPTR, #data16 |

Rn - registrador R0 a R7 do banco correntemente selecionado.

direct - endereçamento direto, ou seja, direct é o endereço de uma posição de memória RAM interna.

@Ri - endereçamento indireto a uma posição de memória RAM interna $Ri=R0$ ou $R1$

#data - endereçamento imediato, onde data é uma constante de 8 bits incluída no corpo da instrução.

#data16 - endereçamento imediato, onde data é uma constante de 16 bits incluída no corpo da instrução.

MIC29004 – Microprocessadores

8051: Diagramas de Tempo

MIC29004 – Microprocessadores

8051 – Diagramas de Tempo

Clock

Opções de ligação:

a) Cristal

b) Oscilador Externo

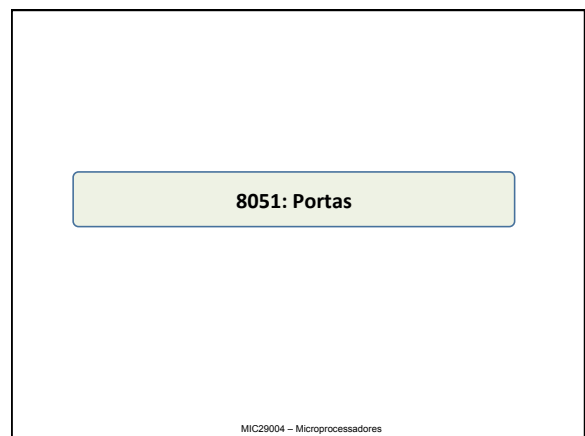
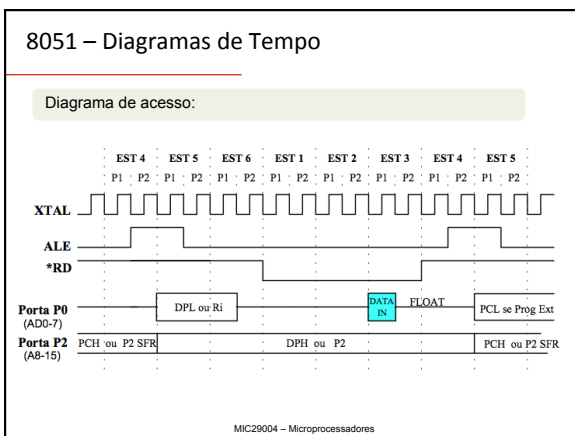
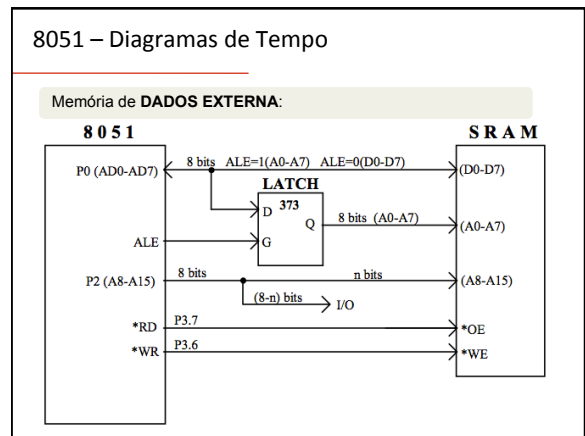
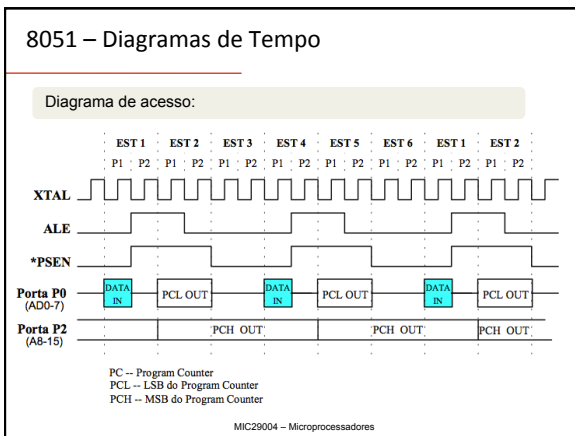
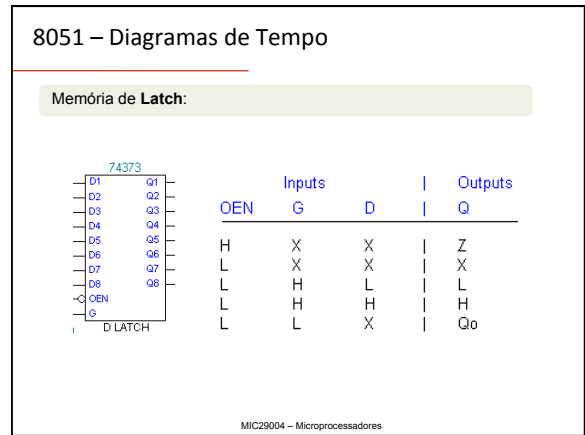
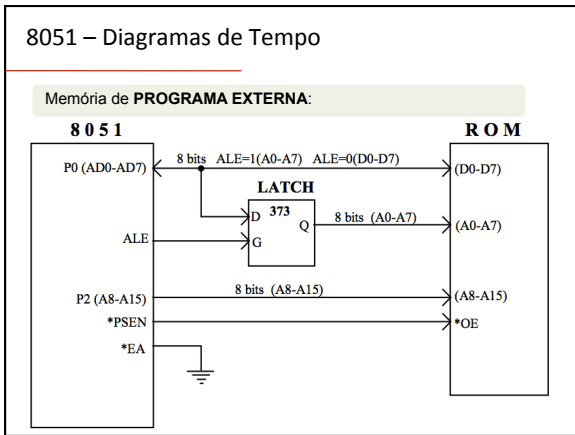
Observação: Os capacitores podem ser variados de ± 10 pF.

MIC29004 – Microprocessadores

8051 – Diagramas de Tempo

Reset

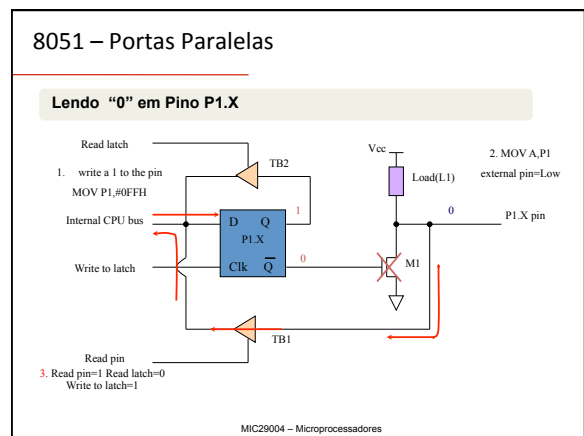
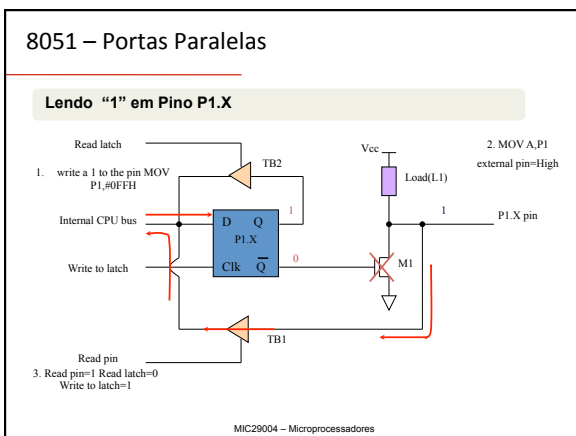
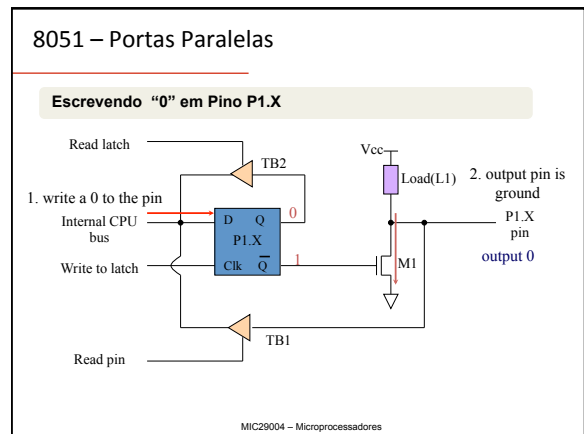
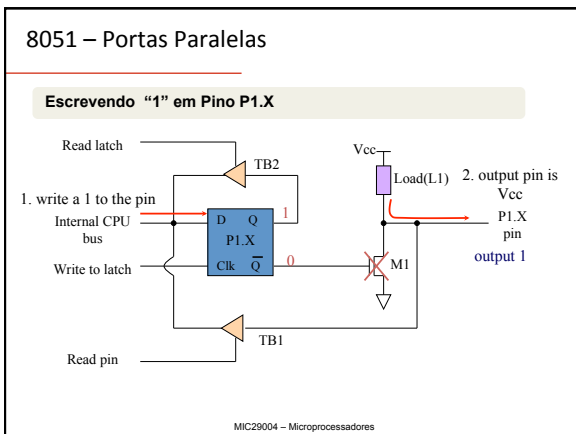
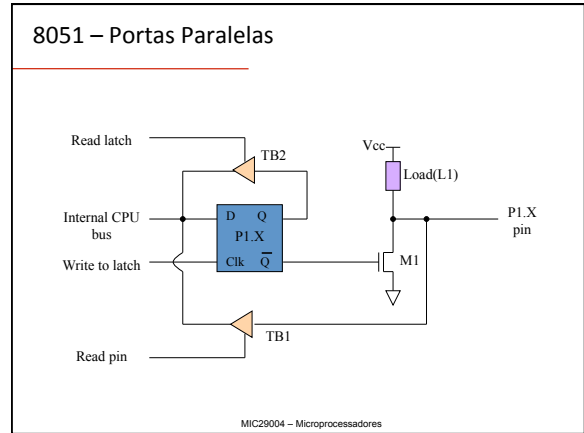
MIC29004 – Microprocessadores



8051 – Portas Paralelas

- Cada porta paralela é constituída por três partes:
 - um registro latch (SFR ==> P0,P1,P2,P3)
 - um driver de saída
 - um buffer de entrada

MIC29004 – Microprocessadores



8051 – Portas Paralelas

- Algumas instruções fazem a leitura do Pino (TB1) e outros da saída do Latch (TB2)
- Instruções que leem do latch (“lê-modifica-escreve”). Exemplos:

| | | |
|-------------------|---|-------------------|
| ANL | AND lógico | ex. ANL P1,A |
| ORL | OR lógico | ex. ORL P2,A |
| XRL | XOR lógico | ex. XRL P3,A |
| CPL | complementa bit | ex. CPL P3.0 |
| INC | incremento | ex. INC P2 |
| DEC | decrementa | ex. DEC P2 |
| DJNZ | decrementa e salta se não zero | ex. DJNZ P3,LABEL |
| MOV PX,Y,C | move bit de carry para bit Y da Port X | |
| CLR PX.Y | limpa bit Y da Port X | |
| SET PX.Y | seta bit Y da Port X | |

MIC29004 – Microprocessadores

8051 – Portas Paralelas

Lendo do Latch de Porta

Quando P1.0=1 → LED aceso
Quando P1.0=0 → LED apagado

CPL P1.0 inverte o estado do led

MIC29004 – Microprocessadores

8051 – Portas Paralelas

Porta 0

a. Port 0 Bit

MIC29004 – Microprocessadores

8051: Interrupções

MIC29004 – Microprocessadores

8051 – Interrupções

- Tratar eventos assíncronos
- Mecanismo de Interrupção:
 - Salva o contexto atual do programa
 - Desvia Fluxo
 - Retorna ao fluxo normal
- Interrupções aninhadas (Prioridade)

MIC29004 – Microprocessadores

8051 – Interrupções

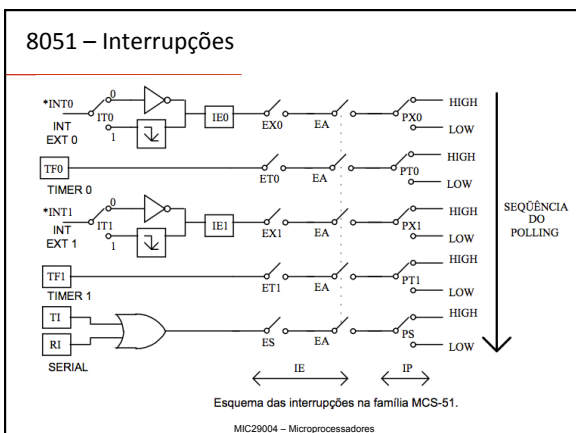
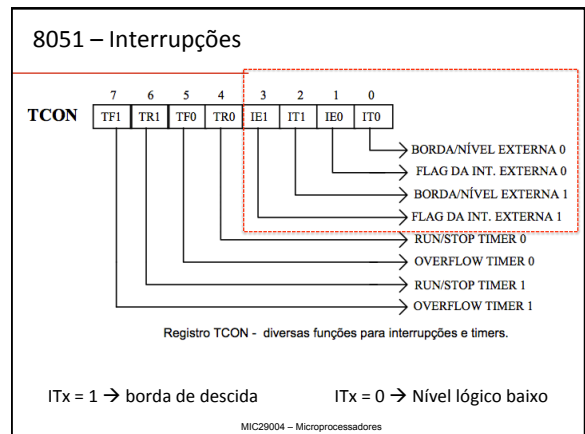
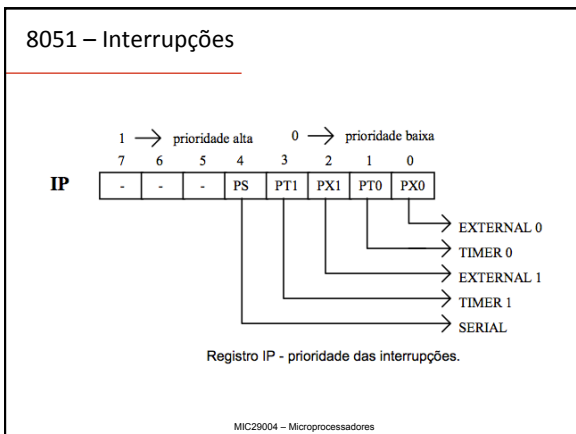
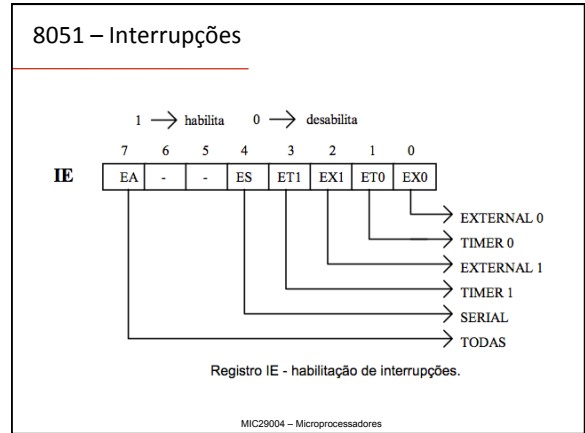
- Interrupções no 8051
 - 2 externas
 - 2 timers
 - 1 serial
- Duas prioridades (alta ou baixa)

MIC29004 – Microprocessadores

8051 – Interrupções

| Interrupção | Endereço |
|-----------------------|----------|
| Interrupção externa 0 | 0003H |
| Timer 0 | 000BH |
| Interrupção externa 1 | 0013H |
| Timer 1 | 001BH |
| Canal serial | 0023H |

MIC29004 – Microprocessadores



8051 – Interrupções

Faça um programa que aceite int0 (acionada por borda). Qdo a int0 for solicitada, escrever na porta P1, caractere por caractere, a cadeia de 16 caracteres: 'Microcontrolador'.

MIC29004 – Microprocessadores

```

reset    equ 00h
ltint0  equ 03h ; local tratador
state   equ 20h

org reset    ;PC=0 depois de reset
jmp inicio

org ltint0
jmp handler

inicio:
mov  ie,#1000001b ; habilita int
mov  tcon,#0000001b ; borda

mov  state,#0h ;inicialização
mov  r0,#state
mov  dptr,#tabela
mov  r1,#0

volta:  cjne  @r0,#1,volta
        mov   state,#0h
        mov   a,r1
        movc  a,@a+dptr
        mov   p1,a
        inc   r1
        cjne  r1,#16,volta
        jmp   $

handler: mov  state,#1h
        reti

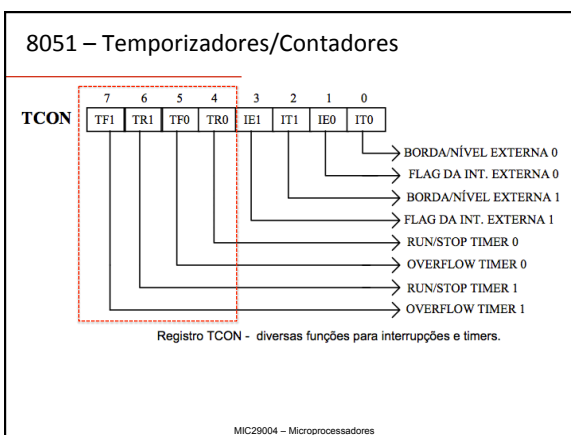
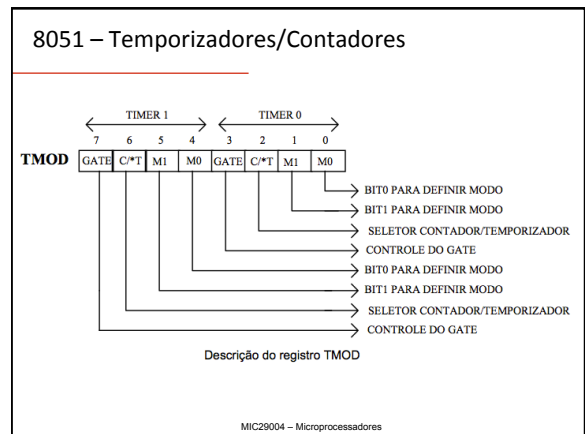
tabela: db 'Microcontrolador'
        end
    
```

MIC29004 – Microprocessadores

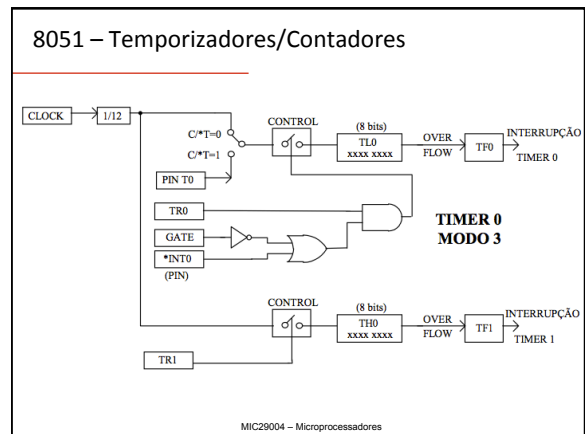
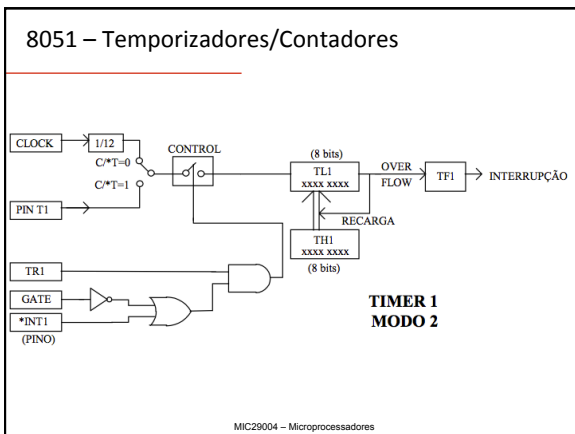
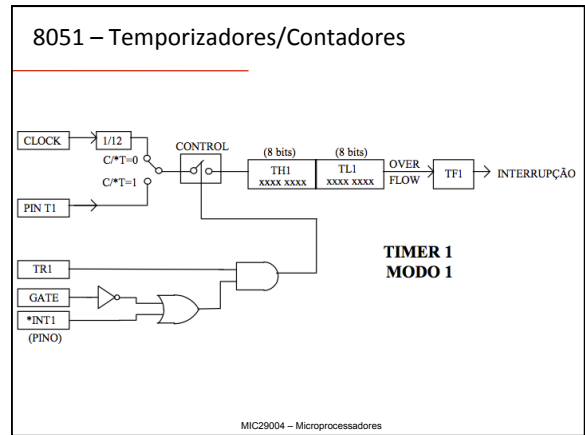
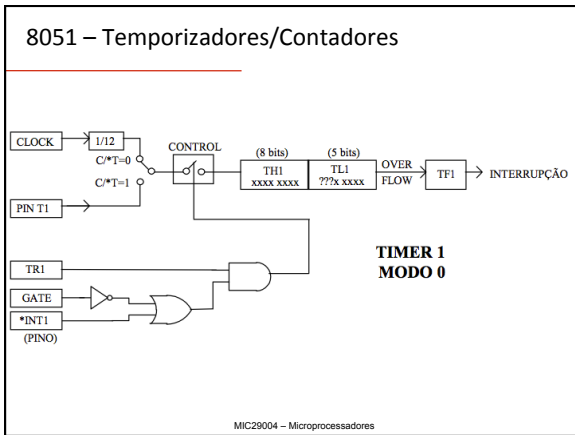
8051: Temporizadores/Contadores

MIC29004 – Microprocessadores

- ### 8051 – Temporizadores/Contadores
- 2 x Registros de 16 bits (Timer 0 e Timer 1)
 - Temporizador
 - Incremento baseado no ciclo de máquina(1/12 fclk)
 - Contador
 - Incremento de acordo com T1 e T0 (borda de descida)
 - Frequência máxima = 1/24 fclk
 - Registros
 - TMOD e TCOM
- MIC29004 – Microprocessadores



- ### 8051 – Temporizadores/Contadores
- Modos de Operação
 - 4 modos
 - Modos 0, 1 e 2 são iguais para T/C1 e T/C2
 - Modos 3 é diferente
- | M1 | M0 | MODE |
|----|----|------------------------|
| 0 | 0 | 13-bit timer mode |
| 0 | 1 | 16-bit timer mode |
| 1 | 0 | 8-bit auto-reload mode |
| 1 | 1 | split mode |
- MIC29004 – Microprocessadores



8051 – Temporizadores/Contadores

- Exemplo sem uso de Interrupção:

```

delay:
  clr ET0
  clr TR0           ;garante que timer esteja parado
  clr TF0         ;garante que flag de estouro esteja zerado
  mov TMOD,#0000001b ;configura timer0 para modo 1, sem controle externo
  mov TH0,#D8h
  mov TL0,#F0     ;configura timer0 com D8F0h
  setb TR0        ;liga timer0
loop:
  jnb TF0,loop    ;espera que timer0 estoure
  clr TR0         ;para o timer0
  clr TF0         ;zera TF0 - note que nao eh zerado de forma automatica
  ret
    
```

MIC29004 – Microprocessadores

8051 – Temporizadores/Contadores

- Programação do Timer com Interrupção
 - Habilitar interrupções dos timers (EA, ETx)
 - Especificar o modo de funcionamento dos timers (TMOD)
 - Especificar intervalo de contagem (THx e TLx)
 - Disparar contador (setb TRx)
 - Não esquecer tratadores para os timers nos seus devidos endereços.

MIC29004 – Microprocessadores

8051 – Temporizadores/Contadores

Exercícios:

1. Construir uma subrotina que realiza um retardo de 50ms. Suponha clock de 12Mhz.
2. Construir uma subrotina para aguardar 1s, usando a rotina de retardo de 50 ms.
3. Construir uma subrotina que aguarda por N segundos, passando N no registrador A.
4. Acender um led na frequência de 10 Hz. Use interrupção.
5. Acender um led na frequência de 1 Hz. Use interrupção.