

**Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação
Universidade Federal de Goiás**



Laboratório de Microprocessadores e Microcontroladores

Experimento 5: Comunicação Serial

Alunos: _____ Matrícula: _____

Prof. Dr. José Wilson Lima Nerys

Goiânia, 1º semestre de 2019

SUMÁRIO

1	<i>Comunicação Serial</i>	3
2	<i>Atividades do Experimento</i>	6
2.1	Transmissão serial síncrona	6
2.2	Transmissão serial assíncrona.....	7
2.3	Recepção serial assíncrona	8
2.4	Rotação de LEDs usando recepção assíncrona.....	10
2.5	Envia para o display LCD o caractere recebido via serial	11
2.6	Envia para um computador o estado de componentes	12

1 Comunicação Serial

O canal serial do 8051 pode operar em 4 modos diferentes, definidos através do registrador especial **SCON** (mostrado na Tabela 1), cujos bits podem ser manipulados individualmente. O modo 0 é uma comunicação síncrona. Os demais modos são do tipo assíncrono.

Tabela 1: Registrador de Controle da Comunicação Serial

(SCON) =

SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI
-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----

<i>SM0</i>	<i>SM1</i>	<i>Modo</i>	<i>Descrição</i>	<i>Baud Rate</i>
0	0	0	Registrador de Deslocamento	$f_{osc}/12$
0	1	1	UART de 8 bits	variável
1	0	2	UART de 9 bits	$f_{osc}/64$ ou $f_{osc}/32$
1	1	3	UART de 9 bits	variável
<i>Símbolo</i>	<i>Nome e Significado</i>			
SM2	Habilita a característica de comunicação de multiprocessadores no modo 2 e 3. Nesses modos, se SM2=1, RI não será ativado se o nono bit de dado recebido for igual a 0. No modo 1, se SM2=1, RI não será ativado se um stop bit válido não for recebido. No modo 0, deverá ser 0.			
REN	Bit habilitador da recepção serial. Setado/limpado por <i>software</i> para habilitar ou desabilitar a recepção serial.			
TB8	É o nono bit de dado que será transmitido no modo 2 e 3. Setado ou limpado por <i>software</i> .			
RB8	No modo 2 e 3, é o nono bit de dado que foi recebido. No modo 1, se SM2=0, RB8 é o stop bit que foi recebido. No modo 0, RB8 não é usado.			
TI	É o flag de interrupção de transmissão. Setado por <i>hardware</i> no final do tempo do 8º bit no modo 0 ou no início do stop bit em outros modos, em qualquer transmissão serial. Deverá ser limpado por <i>software</i> .			
RI	É o flag de interrupção de recepção. Setado por <i>hardware</i> no final do tempo do 8º bit no modo 0 ou na metade do tempo do stop bit em outros modos, em qualquer recepção serial. Deverá ser limpado por <i>software</i> .			

Modo 0:

Baud rate fixa e igual à frequência de clock dividida por 12. A recepção tem início com REN = 1 e RI = 0. Ao final da recepção o bit RI é setado por hardware e o conteúdo recebido é transferido para um registrador denominado por **SBUF**. RI deve ser ressetado pelo usuário antes da próxima recepção.

$$\text{Baud Rate} = \frac{f_{osc}}{12} \text{ (bits/s)}$$

A transmissão é iniciada automaticamente quando o conteúdo do acumulador é transferido para o **SBUF**. Quanto ao registrador **SBUF** da transmissão, embora tenha o mesmo nome do registrador da recepção, trata-se de outro registrador, específico para a transmissão. Ao final da transmissão o bit TI é setado por hardware. TI deve ser ressetado pelo usuário antes da próxima transmissão.

O pino **TxD** (pino P3.0) transporta o sinal de sincronismo, tanto na recepção quanto na transmissão. O pino **RxD** (pino P3.1) transporta os dados, tanto na transmissão quanto na recepção.

Modo 1:

Comunicação assíncrona com taxa de transmissão definida pelo usuário. São transmitidos 8 bits de dados, além de um bit de início e um bit de fim. A recepção tem início quando há uma transição do nível lógico 1 para 0 no pino **RxD** (pino P3.0) e o bit RI está zerado. Ao final da recepção o RI é setado por hardware.

$$\text{Baud Rate} = \frac{2^{SMOD}}{32} \times \frac{f_{osc}}{12 \times (256 - TH1)} \text{ (bits/s)}$$

A transmissão é iniciada quando há uma transferência de dados para **SBUF**. Ao final da transmissão o bit TI é setado. O bit TI deve ser resettado pelo usuário antes da próxima transmissão.

O **temporizador 1** deve ser configurado para operar no **modo de recarga automática (modo 2)**. O valor da recarga (TH1), juntamente com o bit SMOD (bit 7 do registrador especial **PCON**), é que define a frequência de comunicação (transmissão e recepção). A Tabela 2 fornece alguns dos valores mais comuns de taxa de transmissão.

Tabela 2: Taxas de transmissão mais comuns

Baud Rate (bits/seg)	Freq. Osc. (MHz)	SMOD	Timer 1		
			C/Tbarra	Modo	Valor Recar.
Modo 0 Máx: 1MHz	12	X	X	X	X
Modo 2 Máx: 375K	12	1	X	X	X
Modo 1, 3: 62,5K	12	1	0	2	FFh
19,2K	11,059	1	0	2	FDh
9,6K	11,059	0	0	2	FDh
4,8K	11,059	0	0	2	FAh
2,4K	11,059	0	0	2	F4h
1,2K	11,059	0	0	2	E8h
137,5	11,059	0	0	2	1Dh
110	6	0	0	2	72h
110	12	0	0	1	FEEDh

Modo 2:

Modo assíncrono onde 11 bits são transmitidos (bit de início + 9 bits de dados + bit de fim). A taxa de transmissão/recepção pode ser 1/32 ou 1/64 da frequência de clock. A recepção tem início quando há uma transição do nível lógico 1 para 0 no pino **RxD** (pino P3.0) e o bit RI está zerado. Ao final da recepção o bit RI é setado por hardware. O nono bit de dados é guardado em RB8. Esse bit pode ser o bit de paridade.

A transmissão é iniciada quando há uma transferência de dados para **SBUF**. Ao final da transmissão o bit TI é setado. O nono bit a ser transmitido é guardado em TB8. Esse bit pode ser o bit de paridade. Expressão que define a taxa de transmissão no modo 2.

$$\text{Baud Rate} = 2^{SMOD} \times \frac{f_{osc}}{64} \text{ (bits/s)}$$

Se o bit SMOD for zero, a taxa é 1/64, caso seja igual a 1, a taxa é 1/32.

Modo 3:

É semelhante ao modo 1. A diferença está no bit a mais de dados no modo 3. Tanto no modo 1 quanto no modo 3 a taxa de transmissão é definida pelo usuário, seguindo a equação a seguir:

$$\text{Baud Rate} = \frac{2^{SMOD}}{32} \times \frac{f_{osc}}{12 \times (256 - TH1)} \text{ (bits/s)}$$

O bit menos significativo (**LSB**) é o primeiro bit a ser enviado, ou recebido em todos os modos da comunicação serial. A Fig. 1 representa a onda vista na tela de um osciloscópio digital e mostra um exemplo de sinal presente no pino **TxD** durante uma transmissão serial no modo 1, com baud rate de 9600

bps. O dado mostrado é 15H (0001 0101b). Observa-se, além dos 8 bits de dados, um bit de start (nível lógico zero) e um bit de parada (nível lógico alto). Observa-se ainda que o intervalo de cada bit equivale aproximadamente a 104 μ s. O tempo medido no osciloscópio para os 8 bits da transmissão foi de 830 μ s.

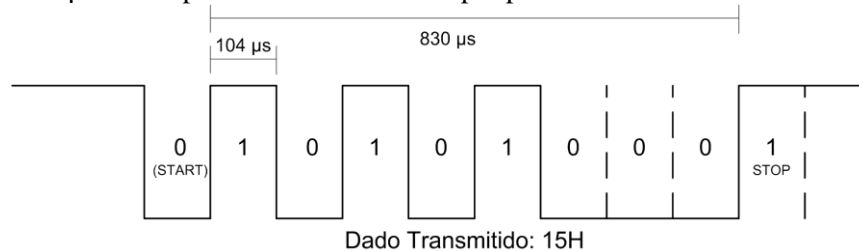


Fig. 1: Onda na tela de um osciloscópio digital para transmissão serial com baud rate de 9600 bps

A conexão serial entre o microcontrolador 8051 e um computador exige um componente para adaptação dos níveis de tensão. Enquanto no microcontrolador tensão zero representa nível lógico 0 e tensão de 5 V representa o nível lógico 1, no computador o nível lógico 0 é representado por uma tensão de + 12 V e o nível lógico 1 é representado por uma tensão de – 12 V. Essa adaptação entre os níveis de tensão é conseguida com o componente MAX232. A conexão pode ser feita usando um cabo invertido, como o mostrado na Fig. 2, ou através de um cabo direto, conforme Fig. 3.

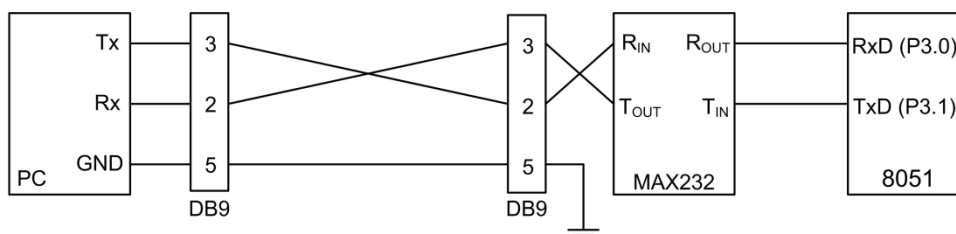


Fig. 2: Conexão entre um PC e um microcontrolador através de um cabo invertido e um driver RS232.

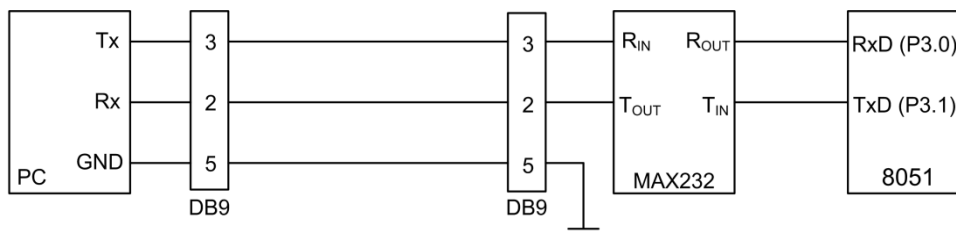
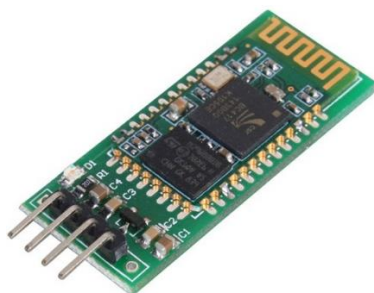


Fig. 3: Conexão entre um PC e um microcontrolador através de um cabo direto e um driver RS232.

Os computadores mais atuais, principalmente notebooks, não tem o terminal DB9, mas apenas terminais USB. Nesse caso, uma opção é usar um transmissor/receptor bluetooth para a comunicação serial. Assim, dispensa-se o componente MAX232. A Fig. 4 mostra os módulos bluetooth que podem ser usados nos experimentos desse roteiro.



(a) Módulo para o kit didático



(b) Módulo para o computador

Fig. 4: Módulos bluetooth para comunicação serial entre microcontrolador e computador

2 Atividades do Experimento

Os programas das tarefas a seguir devem ser **digitados** e **compilados** no simulador **MCU8051** ou similar e **executados** no simulador do kit didático e no **kit didático real** do microcontrolador 8051.

2.1 Transmissão serial síncrona

No programa da Tabela 3 a porta serial é configurada no **modo 0** e usada para transmitir uma contagem crescente. Usar o osciloscópio para observar e interpretar os sinais de saída nos pinos **P3.0 (RxD)** e **P3.1 (TxD)**. Congele as ondas na tela do osciloscópio, num instante qualquer da contagem, e esboce os sinais nos pinos **TxD** e **RxD**.

Tabela 3: Transmissão serial síncrona

Rótulo	Mnemônico	Rótulo	Mnemônico
	ORG 00H		LCALL ATRASO
	LJMP INICIO		SJMP LOOP
	ORG 30H	ATRASO:	MOV R0,#100
INICIO:	MOV SP,#2FH	V1:	MOV R1,#250
	MOV A,#00H		DJNZ R1,\$
LOOP:	MOV SBUF,A		DJNZ R0,V1
	JNB TI,\$		RET
	CLR TI		
	INC A		END

A Fig. 5 ilustra a forma de onda esperada para o programa de transmissão síncrona. O canal TxD transporta o sinal de sincronismo. O canal RxD transporta os dados transmitidos e recebidos (Dado mostrado: 12 H).

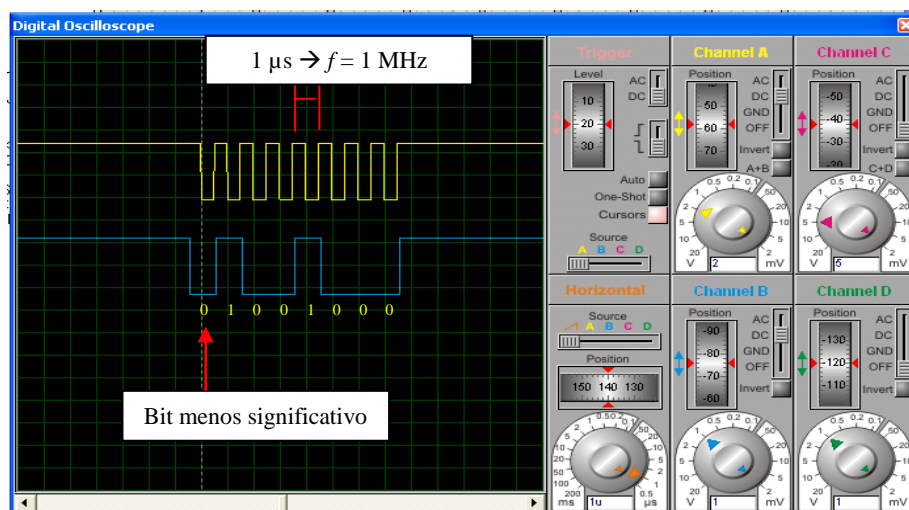


Fig. 5: Transmissão síncrona de uma contagem crescente (valor mostrado: 12H)

Questão 1: Qual é o tempo correspondente a 1 bit do sinal transmitido? Qual é a taxa de transmissão?

Tabela 4: Valores para a transmissão síncrona

Grandeza	Valor no Simulador	Valor no Osciloscópio real
Tempo correspondente a 1 bit do sinal lido no pino RxD (Período do sinal de sincronismo – lido no pino TxD)		
Taxa de Transmissão (MHz ou kHz)		

Questão 2: Capture a imagem da tela do osciloscópio do simulador mostrando o sinal de sincronismo e o sinal correspondente ao dado transmitido.

Fig. 6: Formas de onda do canal serial síncrono

2.2 Transmissão serial assíncrona

O programa a seguir é equivalente ao anterior, mas utiliza o modo 1 da comunicação serial com **baud rate de 9600 bps**. Uma vez que o cristal oscilador é de 11,0592 MHz, da Tabela 2, tem-se um valor de recarga **TH1 = FDH**, para o temporizador 1 no modo 2 (recarga automática). Execute o programa no simulador do kit didático e no kit real.

Tabela 5: Transmissão serial assíncrona com baud rate de 9600 bps

Rótulo	Mnemônico	Rótulo	Mnemônico
	ORG 00H	LOOP:	MOV SBUF,A
	LJMP INICIO		JNB TI,\$
			CLR TI
	ORG 30H		INC A
INICIO:	MOV SP,#2FH		LCALL ATRASO
	MOV SCON,#40H		SJMP LOOP
	MOV TMOD,#20H		
	MOV TL1,#0FDH	ATRASO:	MOV R0,#100
	MOV TH1,#0FDH	V1:	MOV R1,#250
	MOV A,#00H		DJNZ R1,\$
	SETB TR1		DJNZ R0,V1
			RET
			END

Use uma interface configurada para a taxa de comunicação de 9600 bps, 8 bits de dados, para visualizar os caracteres recebidos do microcontrolador.

Obs.: Use um cabo DB9 para a conexão do microcontrolador com o computador, ou utilize um módulo bluetooth para a comunicação com o computador ou com um celular (que tenha instalado um aplicativo para comunicação serial).

A Fig. 7 ilustra a forma de onda esperada para o programa de transmissão assíncrona. O canal TxD transporta o sinal transmitido (valor mostrado: 37H)

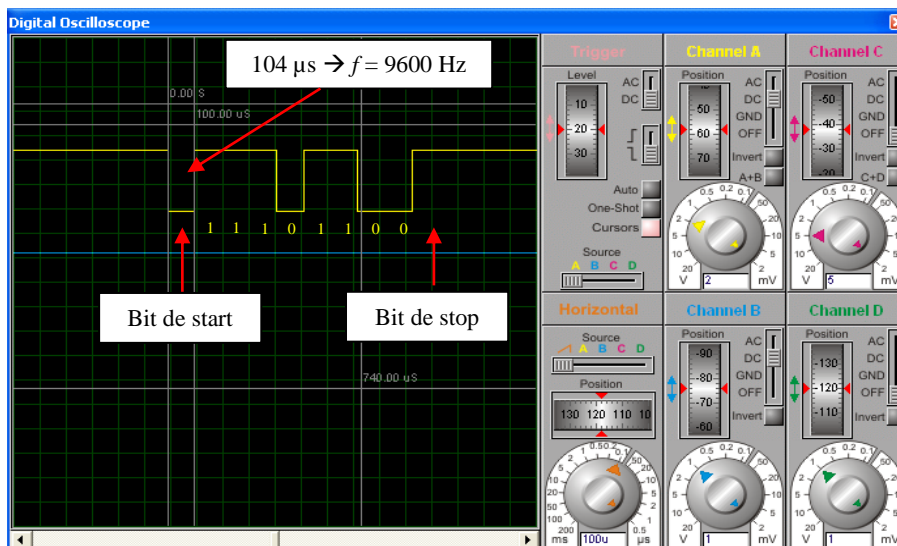


Fig. 7: Transmissão assíncrona de contagem crescente (valor mostrado: 37H)

Questão 3: Qual é o tempo correspondente a 1 bit da transmissão? Qual é a taxa de transmissão?

Tabela 6: Valores para a transmissão assíncrona com baud rate de 9600 bps

Grandeza	Valor no Simulador	Valor no Osciloscópio real
Tempo correspondente a 1 bit medido com o osciloscópio		
Taxa de Transmissão medida (bps)		

Questão 4: Capture a imagem da tela do osciloscópio do simulador mostrando o sinal correspondente ao dado transmitido

Fig. 8: Formas de onda no pino TxD do canal serial assíncrono de 8 bits

2.3 Recepção serial assíncrona

No programa da Tabela 7 o microcontrolador recebe dados via serial no modo 1, com taxa de recepção de **4800 bps**, usando interrupção. O dado recebido é enviado para a porta P1 (LEDs). A frequência do cristal oscilador é de **11,0592 MHz**. Assim, da Tabela 2, tem-se o valor de recarga **TH1 = FAH**, para o temporizador 1 no modo 2 (recarga automática). Use uma interface configurada para 4800 bps e 8 bits de dados para transmitir os dados para o microcontrolador. Execute o programa no simulador do kit didático e no kit real.

Tabela 7: Recepção serial assíncrona com baud rate de 4800 bps e usando interrupção

Rótulo	Mnemônico	Comentário sobre o Efeito da Operação
	ORG 00H	
	LJMP INICIO	
	ORG 23H	
	CLR RI	; Limpa flag de recepção
	MOV A,SBUF	; Transfere para o acumulador conteúdo recebido via serial
	RETI	; Retorna da subrotina de atendimento da serial
	ORG 30H	
INICIO:	MOV SP,#2FH	; Apontador de pilha SP = 2FH
	MOV SCON,#40H	; Configura serial para modo 1 assíncrono
	MOV IE,#90H	; Habilita interrupção da serial. IE = 1 0 0 1 0 0 0 0b
	MOV TMOD,#20H	; Configura o temporizador 2 para operar no modo 2
	MOV TL1,#0FAH	; Faz TL1 = FAH → baud rate de 4800 bps para $f = 11,0592$ MHz
	MOV TH1,#0FAH	; Carrega TH1 com o valor de recarga automática
	MOV A,#00H	; Carrega acumulador com 0
	SETB TR1	; Dispara temporizador 1
	CLR RI	; Limpa flag de recepção da serial
	SETB REN	; Habilita recepção serial
V1:	MOV P1,A	; Transfere para a porta P1 o conteúdo do acumulador
	SJMP V1	; Loop mostrando o conteúdo de A. Esse valor muda a cada recepção
	END	

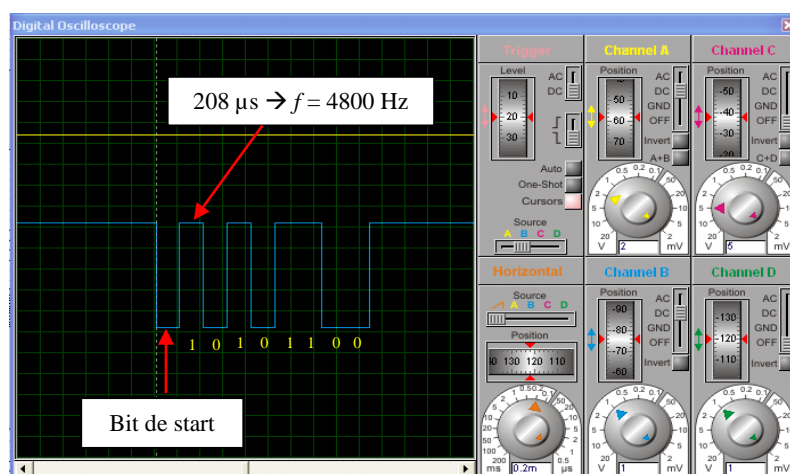


Fig. 8: Forma de onda para recepção assíncrona do número “5” (ASCII 35H) enviado pelo computador

Questão 5: Qual é o valor (em binário) mostrado nos Leds, para os valores recebidos via serial, mostrados na Tabela 8?

Tabela 8: Valores recebidos via serial

Caractere digitado na Interface de Comunicação	Valor binário mostrado nos Leds							
	bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0
l								
M								
t								
/								
#								

Questão 6: Quais são os valores de recarga (TH1) para as taxas de transmissão 1200 bps e 2400 bps, usando o cristal de 11,0592 MHz? (Ver Tabela 2, página 4)

Tabela 9: Valores de recarga

Baud Rate	TH1
1200 bps	
2400 bps	

2.4 Rotação de LEDs usando recepção assíncrona

No programa da Tabela 10 o microcontrolador recebe dados via serial no modo 1, com taxa de recepção de **9600 bps**, usando interrupção. O dado recebido é usado para definir a rotação de LEDs na porta P1. Se o dado recebido for a letra “D” os LEDs são rotacionados para a direita. A letra “E” rotaciona os LEDs para a esquerda. A frequência do cristal oscilador é de **11,0592 MHz**. Assim, da Tabela 2, tem-se o valor de recarga **TH1 = FDH**, para o temporizador 1 no modo 2 (recarga automática).

Tabela 10: Rotação de Leds a partir de informações recebidas via serial

Rótulo	Mnemônico	Rótulo	Mnemônico
	ORG 00H	V2:	CJNE R0,#D',V1
	LJMP INICIO		LJMP DIREITA
	ORG 23H	V1:	CJNE R0,#E',V2
	CLR RI		LJMP ESQUERDA
	MOV R0,SBUF		
	RETI	DIREITA:	MOV P1,A
			RR A
	ORG 30H		LCALL ATRASO
INICIO:	MOV SP,#2FH		SJMP V2
	MOV SCON,#40H		
	MOV IE,#90H	ESQUERDA:	MOV P1,A
	MOV TMOD,#20H		RL A
	MOV TL1,#0FDH		LCALL ATRASO
	MOV TH1,#0FDH		SJMP V2
	MOV R0,#00H		
	MOV A,#01H	ATRASO:	MOV R7,#200
	SETB TR1	V3:	MOV R6,#250
	CLR RI		DJNZ R6,\$
	SETB REN		DJNZ R7,V3
			RET
			END

Questão 7: O que ocorre com os Leds quando se digita na interface os caracteres “D” e “E”?

Questão 8: O que ocorre com os Leds quando se digita um caractere diferente de "D" e "E"?

2.6 Envia para um computador o estado de componentes

O programa a seguir é usado para ligar/desligar uma lâmpada de 220 V, através de uma chave no pino P3.3, e, ao mesmo tempo enviar, via serial, para o computador, o estado da lâmpada. Quando P3.3=1 a lâmpada está desligada; quando P3.3=0 a lâmpada está ligada.

Tabela 12: Aciona motor de corrente contínua e envia status via serial para o computador

Ord	Rótulo	Mnemônico	Ord	Rótulo	Mnemônico
1		CHAVE EQU P3.3	30	LIGA:	MOV DPTR,#L_ON
2		STATUS EQU 22H	31		LCALL SERIAL
3		LAMP EQU P3.4	32		SETB LAMP
4			33		CLR STATUS.3
5		ORG 00H	34		SJMP V1
6		LJMP INICIO	35		
7			36	SERIAL:	MOV A,R7
8		ORG 30H	37		MOVC A,@A+DPTR
9	INICIO:	MOV SP,#2FH	38		CJNE A,#0FFH,ENVIA
10		MOV TMOD,#20H	39		MOV R7,#00H
11		MOV SCON,#40H	40		RET
12		MOV TH1,#0FAH	41		
13		MOV TL1,#0FAH	42	ENVIA:	MOV SBUF,A
14		SETB TR1	43		JNB TI,\$
15		MOV R7,#00H	44		CLR TI
16		MOV STATUS,#00H	45		INC R7
17		CLR LAMP	46		SJMP SERIAL
18			47		
19	V1:	MOV A,P3	48	L_ON:	DB ' LAMPADA LIGADA ', 0DH, 0FFH
20		ANL A,#00001000B	49	L_OFF:	DB ' LAMPADA DESLIGADA ', 0DH, 0DH, 0FFH
21		XRL A,STATUS	50		END
22		JZ V1	51		
23					
24		JNB CHAVE,LIGA			
25		MOV DPTR,#L_OFF			
26		LCALL SERIAL			
27		CLR LAMP			
28		SETB STATUS.3			
29		SJMP V1			

Questão 11: Como funciona o trecho do programa da linha 19 à linha 22?

Questão 12: Como funciona o trecho do programa, da linha 24 à linha 34?

Questão 13: Na linha 2 do programa da Tabela 12 foi atribuído ao endereço 22H da RAM o nome STATUS. A Figura 10 destaca esse registrador na região de bits/bytes da memória RAM. Dentro desse registrador 22H, o bit 13H foi utilizado para guardar o estado da lâmpada (nível lógico alto indica lâmpada desligada; nível lógico baixo indica lâmpada ligada).

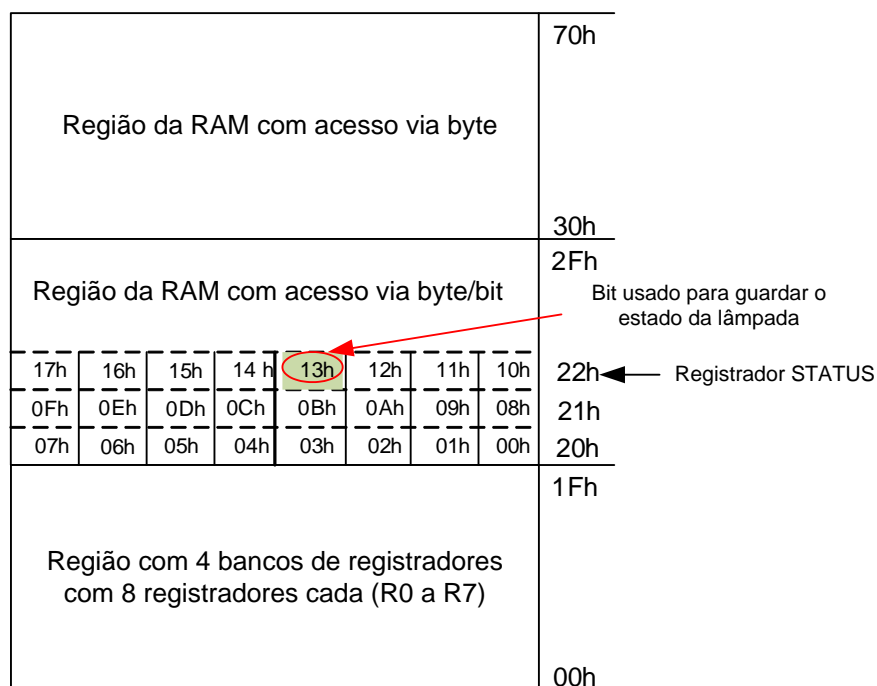


Fig. 10: Memória RAM de 00h a 7Fh, com destaque para o byte 22h da memória

No programa da Tabela 12 a referência ao bit 13H foi feita usando STATUS.3, porque o bit 13 corresponde ao bit 3 do registrador STATUS.

Apresente ao menos uma opção extra para fazer referência ao bit 13H, que seja equivalente à instrução **SETB STATUS.3**.