



---

## Atividade Laboratorial 5

### *Guia de Laboratório*

---

#### ARQUITETURA DE COMPUTADORES

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETRÓNICA E DE  
TELECOMUNICAÇÕES E COMPUTADORES

Novembro de 2022

## 1 Objetivos

Este exercício tem como objetivo principal explorar a utilização do circuito Pico Timer/Counter (pTC) [1] para gerar uma base de tempo num sistema computacional baseado no processador P16, designadamente implementar um *system clock*. A componente experimental do trabalho incide sobre a placa SDP16 [4] e é apoiada pelas ferramentas PAS e P16Debugger.

## 2 Requisitos

- Placa SDP16 com cabo USB;
- Placa ATB com cabo USB;
- PAL ATF750C com implementação de circuito pTC;
- 19 cabos *jumper* Dupont macho-macho (ou 19 fios AWG 22 ou 24);
- Uma placa de ensaio *breadboard*;
- Computador pessoal com uma instalação nativa, ou em máquina virtual, do sistema operativo Microsoft Windows 10, ou de uma versão superior a esta;
- Assemblador PAS para o processador P16;
- Depurador P16Debugger para o processador P16;
- Editor de texto Notepad++;
- Software de desenho gráfico [diagrams.net](http://diagrams.net);
- Ficheiro `lab05.S` disponibilizado na página de meta disciplina de Arquitetura de Computadores (AC) na plataforma Moodle, na secção 'Aulas Laboratoriais e Práticas'.

## 3 Trabalho de preparação à atividade laboratorial

### 3.1 Preparação do ambiente de trabalho

1. No seu computador pessoal, crie uma diretoria com o nome `lab05` dentro da diretoria base que guarda os trabalhos realizados em AC no corrente semestre letivo.
2. Copie para essa diretoria o ficheiro `lab05.S` disponibilizado na página de meta disciplina de AC na plataforma Moodle.
3. Copie também para essa diretoria o "Manual de Utilização da Placa de Desenvolvimento SDP16" [4], que está igualmente disponível na página de meta disciplina de AC na plataforma Moodle.
4. Copie ainda para essa diretoria o *datasheet* do circuito pTC [1], que também é disponibilizado na página de meta disciplina de AC na plataforma Moodle.

### 3.2 Mapa de endereçamento do sistema

Elabore o mapa de endereçamento do sistema considerando que o registo TIR do periférico pTC deverá ser acessível no endereço `0xFF7E`.

Utilize o software `diagrams.net` para desenhar o mapa, que deverá explicitar o tipo, a capacidade e os endereços de início e fim do espaço atribuído a cada dispositivo. Se for o caso, o mapa também deverá explicitar a ocorrência de subaproveitamento e/ou de *foldback* e a localização de eventuais zonas interditas (também designadas por "conflito").

### 3.3 Ligação física do circuito pTC ao sistema

Utilize o software `diagrams.net` para desenhar o esquema de ligações do circuito pTC às placas SDP16 e ATB, considerando que o sinal de relógio aplicado ao circuito pTC é obtido do *Tie-Point Block* P3 ('OSCILLATOR') da placa ATB.

### 3.4 Gestor de periférico para o *system clock* (`sysclk`)

1. Usando o editor de texto Notepad++, abra o ficheiro `lab05.S` e analise o seu conteúdo.
2. Indique o valor que deve ser associado ao símbolo `PTC_ADDRESS`. Justifique a sua resposta.
3. Considerando que o sinal de relógio a aplicar ao circuito pTC tem período 1 ms, indique o valor que deve ser associado ao símbolo `SYSCLK_FREQ` para que o intervalo de contagem do periférico pTC corresponda a 100 ms. Justifique a sua resposta.
4. Implemente a rotina `ptc_init`, responsável por iniciar uma nova contagem no circuito pTC com o intervalo de contagem `interval`, em *ticks*, limpando eventuais pedidos de interrupção pendentes.  

```
void ptc_init( uint8_t interval );
```
5. Implemente a rotina `isr`, responsável pelo incremento do valor da variável global `sysclk`, do tipo `uint16_t`.
6. Implemente a rotina `sysclk_get_ticks`, que devolve o valor atual da variável global `sysclk`.  

```
uint16_t sysclk_get_ticks( );
```
7. Implemente a rotina `delay`, que realiza uma espera de `hms` milissegundos por teste sucessivo do valor da variável global `sysclk`.  

```
void delay( uint16_t hms );
```
8. Indique a funcionalidade do programa implementado no ficheiro `lab05.S`.

## 4 Trabalho a realizar no laboratório

### 4.1 Preparação das placas SDP16 e ATB

1. Dirija-se à sala de apoio aos laboratórios e requisiite uma placa SDP16, uma placa ATB e dois cabos USB.
2. Repita o procedimento descrito na secção 4.1 do guia de laboratório da "Atividade Laboratorial 1" [2] de AC para validar o funcionamento da placa SDP16. Contacte o docente caso detete alguma anomalia no funcionamento da placa que lhe foi atribuída.
3. Repita o procedimento descrito na secção 4.1 do guia de laboratório da "Atividade Laboratorial 3" [3] de AC, **ignorando o ponto 5**, para validar o funcionamento da placa ATB. Contacte o docente caso detete alguma anomalia no funcionamento da placa que lhe foi atribuída.

### 4.2 Teste da montagem do circuito pTC

1. Realize a montagem do circuito pTC usando a placa de ensaio *breadboard* e utilizando os cabos *jumper* Dupont macho-macho para fazer as ligações da PAL ATF750C à placa SDP16, de acordo com a resposta apresentada na subsecção 3.3.

**Sugestão:** Considere a utilização do *Tie-Point Block* B1 da placa SDP16 para a obtenção dos sinais VCC e GND a aplicar à PAL ATF750C.

2. Utilize um cabo *jumper* Dupont macho-macho para ligar o sinal de relógio com frequência 1 Hz disponível na placa ATB ao sinal 'CLK' do circuito pTC, conectando uma das suas extremidades a um dos alvéolos da linha com a designação '1Hz' do *Tie-Point Block* P3 da placa ATB e a outra extremidade ao pino 1 da PAL ATF750C.
3. Posicione o interruptor SW6 da placa SDP16 na posição 'ON' para fornecer energia elétrica à placa.
4. Posicione o interruptor SW1 da placa ATB na posição 'ON' para fornecer energia elétrica à placa.
5. Posicione o interruptor SW3 da placa SDP16 na posição 'DMA' para habilitar o funcionamento do módulo DMA<sup>1</sup>.
6. Pressione o botão de pressão SW2 ('RESET') da placa SDP16 para fazer *reset* ao circuito de controlo do módulo DMA.
7. Posicione o interruptor SW5 da placa SDP16 na posição 'ADDR' para poder definir o endereço de memória a aceder utilizando o teclado alfanumérico instalado na placa SDP16.
8. Utilize o teclado alfanumérico da placa SDP16 para introduzir o valor do endereço de memória em que o registo Timer Control Register (TCR) do circuito pTC está acessível, conforme definido na subsecção 3.2. Verifique o estabelecimento deste valor por inspeção do estado dos LED 'A0' a 'A15' do mostrador de sinais da placa SDP16.
9. Posicione o interruptor SW5 da placa SDP16 na posição 'DATA' e, de seguida, pressione a tecla '1' do teclado alfanumérico da placa SDP16 para definir o novo conteúdo do registo TCR.
10. Reposicione o interruptor SW5 da placa SDP16 na posição 'ADDR' e, utilizando o teclado alfanumérico, introduza o valor do endereço de memória associado ao registo TMR do circuito pTC, conforme definido na subsecção 3.2. Verifique o estabelecimento deste valor por inspeção do estado dos LED 'A0' a 'A15' do mostrador de sinais da placa SDP16.
11. Volte a posicionar o interruptor SW5 da placa SDP16 na posição 'DATA' e, de seguida, pressione a tecla 'F' do teclado alfanumérico da placa SDP16 para estabelecer o valor 15 como intervalo de contagem para o circuito pTC.
12. Reponha o interruptor SW5 da placa SDP16 na posição 'ADDR' e, utilizando o teclado alfanumérico, introduza novamente o valor do endereço de memória associado ao registo TCR do circuito pTC. Verifique o estabelecimento deste valor por inspeção do estado dos LED 'A0' a 'A15' do mostrador de sinais da placa SDP16.
13. Posicione novamente o interruptor SW5 da placa SDP16 na posição 'DATA' e, de seguida, pressione a tecla '0' do teclado alfanumérico da placa SDP16 para habilitar o circuito pTC a realizar a contagem.
14. Finalmente, coloque o interruptor SW5 da placa SDP16 na posição 'ADDR' e, utilizando o teclado alfanumérico, introduza o valor do endereço de memória associado ao registo TC do circuito pTC, conforme definido na subsecção 3.2. Verifique o estabelecimento deste valor por inspeção do estado dos LED 'A0' a 'A15' do mostrador de sinais da placa SDP16.
15. Observe os LED 'D0' a 'D7' do mostrador de sinais da placa SDP16 para aferir o valor corrente da contagem realizada pelo circuito pTC. Contacte o docente caso não observe alterações no estado dos LED.

---

<sup>1</sup>Recorde-se que este módulo possibilita o acesso a qualquer palavra do espaço de endereçamento do processador P16 para escrita de um novo valor, em notação hexadecimal, usando o teclado matricial alfanumérico de 16 teclas instalado na placa, ou a consulta do seu valor atual, em código binário, usando o mostrador de sinais.

16. Posicione o interruptor SW1 da placa ATB na posição 'OFF' para desligar a placa.
17. Posicione o interruptor SW6 da placa SDP16 na posição 'OFF' para desligar a placa.

### 4.3 Programação com recurso a um *system clock*

1. Utilize o assembler PAS para gerar o ficheiro binário para o processador P16 correspondente ao ficheiro `lab05.S` com as alterações introduzidas na subsecção 3.4.
2. Na placa ATB, desconecte o cabo *jumper* Dupont macho-macho do alvéolo da linha com a designação '1Hz' do *Tie-Point Block* P3 e reconecte-o a um dos alvéolos da linha com a designação '1KHz' do mesmo *Tie-Point Block*.
3. Utilize outro cabo *jumper* Dupont macho-macho para ligar a ponta de prova da placa ATB ao sinal 'nEXTINT' da placa SDP16, conectando uma das suas extremidades a um dos alvéolos do *Tie-Point Block* P2 da placa ATB e a outra extremidade a um dos alvéolos da quarta linha do *Tie-Point Block* B12 da placa SDP16.
4. Posicione o interruptor SW6 da placa SDP16 na posição 'ON' para fornecer energia elétrica à placa.
5. Posicione o interruptor SW3 da placa SDP16 na posição 'CPU' para habilitar o funcionamento do processador P16 instalado na placa SDP16.
6. Pressione o botão de pressão SW2 ('RESET') da placa SDP16 para fazer *reset* ao processador P16.
7. Posicione o interruptor SW1 da placa ATB na posição 'ON' para fornecer energia elétrica à placa.
8. Repita o procedimento descrito nos pontos 2 a 6 da secção 4.3 do guia de laboratório da "Atividade Laboratorial 1" [2] de AC para carregar o ficheiro `lab05.S` para a aplicação P16Debugger.
9. Faça *reset* ao processador P16, seguindo o procedimento indicado no ponto 6 da secção 4.3 do guia de laboratório da "Atividade Laboratorial 1" [2] de AC.
10. Coloque o programa em execução no modo contínuo, carregando *i*) no botão ► da barra de ferramentas 'Debug', *ii*) na opção 'Continue' existente no menu 'Debug', ou *iii*) na tecla F5.
11. Compare os resultados observados na placa SDP16 com a resposta indicada no ponto 8 da subsecção 3.4.
12. Termine a comunicação entre aplicação P16Debugger e a placa SDP16 carregando no botão 'Connect' da barra de ferramentas 'Target' da aplicação P16Debugger.
13. Posicione o interruptor SW1 da placa ATB na posição 'OFF' para desligar a placa.
14. Posicione o interruptor SW6 da placa SDP16 na posição 'OFF' para desligar a placa.

### 4.4 Conceção de programas que interagem com um *system clock*

Tomando como base o código disponibilizado no ficheiro `lab05.S`, escreva um programa que realize o seguinte efeito luminoso usando os LED 'O0' a 'O7' da placa SDP16: deslocamento circular para a esquerda de um ponto luminoso, implementado tendo, em cada momento, um LED aceso e os restantes sete LED apagados.

O ritmo de evolução do efeito luminoso é imposto pelos interruptores 0 a 2 do DIP-switch 'SW1' instalado na placa SDP16, estando compreendido na gama 0,5 s, 1 s, 1,5 s, 2 s, 2,5 s, 3 s, 3,5 s, 4 s.

O interruptor 7 do DIP-switch 'SW1' é utilizado para reger o funcionamento do programa, habilitando a realização do efeito luminoso quando está na posição 'ON' ou suspendendo a sua realização na posição contrária.

Após o arranque do sistema, o LED 'O0' deverá estar aceso, enquanto os LED 'O1' a 'O7' deverão estar apagados.

## 5 Aferição do cumprimento dos objetivos propostos

1. As tarefas indicadas na secção 3 constituem o trabalho de preparação para esta atividade laboratorial, pelo que deverão ser realizadas antecipadamente.
2. As respostas preparadas por cada grupo de alunos para as questões enunciadas subsecções 3.2, 3.3 e 3.4 devem ser entregues ao docente da respetiva turma até ao início da aula de laboratório, através da página dessa turma de AC na plataforma Moodle.

**Os grupos que não cumprirem este requisito ficarão impedidos de realizar a aula laboratorial.**

3. Na parte final da aula, cada grupo de alunos deverá voltar a aceder à página da sua turma de AC na plataforma Moodle para responder às questões enunciadas na ficha de aferição de conhecimentos associada a esta atividade laboratorial.

## Bibliografia

- [1] Dias, Tiago: *Pico Timer/Counter (pTC) – Product Datasheet*. ISEL – IPL, Lisboa, Portugal, v1.1.2 edição, junho 2021. [https://iselppt.sharepoint.com/:b:/s/acp/EWKEvPT1h01BmOhGEOVEA3wBPIAUlny-v9f2geKRv1\\_9nQ?e=ZKM8Gn](https://iselppt.sharepoint.com/:b:/s/acp/EWKEvPT1h01BmOhGEOVEA3wBPIAUlny-v9f2geKRv1_9nQ?e=ZKM8Gn) (Acedido em 22-11-2022).
- [2] Dias, Tiago: *Atividade Laboratorial 1 de Arquitetura de Computadores – Guia de Laboratório*. ISEL, Lisboa, Portugal, 1.1 edição, setembro 2022.
- [3] Dias, Tiago: *Atividade Laboratorial 3 de Arquitetura de Computadores – Guia de Laboratório*. ISEL, Lisboa, Portugal, 1.1 edição, novembro 2022.
- [4] Paraíso, José e Tiago Dias: *Manual de Utilização da Placa de Desenvolvimento SDP16*. ISEL, Lisboa, Portugal, junho 2020. <https://iselppt.sharepoint.com/:b:/s/acp/EYLbn2wMpx5BsiVHpjEHmT4BQXC71rwSbEScMs-m0Ims2A?e=mZWNs9> (Acedido em 23-10-2022).