

# Laboratório de Sistemas Digitais

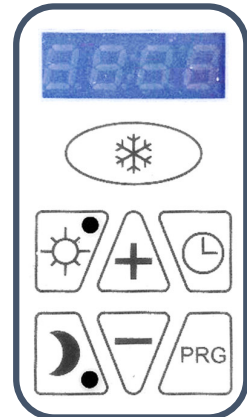
Ano Letivo 2022/23

## Projeto Final – enunciado 6

### Controlo de radiador em ciclo semanal

#### 1. Introdução

Pretende-se realizar, com o kit de desenvolvimento *Altera DE2-115*, um controlador para radiadores de aquecimento doméstico. A figura ao lado apresenta a interface de um modelo comercial típico. Todos os recursos aí empregues (visores hexadecimais, LED, botões de pressão...) estão disponíveis no *kit* e foram amplamente explorados nas aulas práticas. Dado que as funcionalidades essenciais, descritas em seguida, são simples, é possível construir um sistema muito realista.



#### 2. Princípios de funcionamento

##### 2.1. Controlo ON/OFF

O sistema envolve um único actuador – o elemento de aquecimento – controlado em modo ON/OFF (também chamado *controlo integral* ou *bang-bang*).

Envolve também um único sensor – de temperatura ambiente – instalado sob o radiador de forma a evitar influência directa da fonte de calor. O valor medido ( $T_{AMB}$ ) é constantemente comparado com um valor de referência (temperatura ambiente desejada,  $T_{REF}$ ), para decidir em que alturas o radiador deve ser ligado (visando aumentar a temperatura ambiente) ou desligado (o que, em princípio, a fará diminuir).

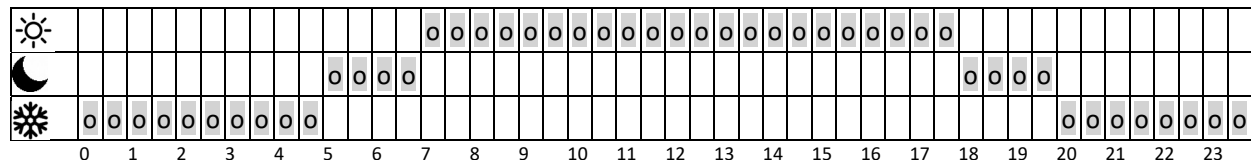
Impõe-se criar uma diferença,  $\Delta$  (dita 'janela de histerese'), entre os limiares de ligação ( $T_{ON}$ ) e desligação ( $T_{OFF}$ ) – digamos  $T_{ON}=T_{REF}-\Delta/2$  e  $T_{OFF}=T_{REF}+\Delta/2$ . A regulação melhora com a redução de  $\Delta$ , mas à custa de comutações cada vez mais frequentes (vide [http://controlo-processos.dei.uminho.pt/seb/2\\_2\\_1.htm](http://controlo-processos.dei.uminho.pt/seb/2_2_1.htm)). No limite ( $\Delta=0$  e, portanto,  $T_{ON}=T_{OFF}=T_{REF}$ ), o comportamento seria anómalo (efeito campainha).

##### 2.2. Programação horária

A referência ( $T_{REF}$ ) considerada pelo controlo ON/OFF varia (em ciclos diários e/ou semanais) segundo um perfil programável com base em três níveis (pré-definidos ou eles próprios também programáveis pelo utilizador):

- Nível de conforto:  $T_{SOL}$  ☀ – por exemplo, 20°C
- Nível de economia:  $T_{LUA}$  🌙 – por exemplo, 16°C
- Nível anti congelamento:  $T_{GEL}$  ❄ – por exemplo, 4°C

Esse perfil é normalmente constituído por blocos de uma hora ou meia-hora. Segue-se um exemplo de ciclo diário dividido em 48 períodos de meia-hora.

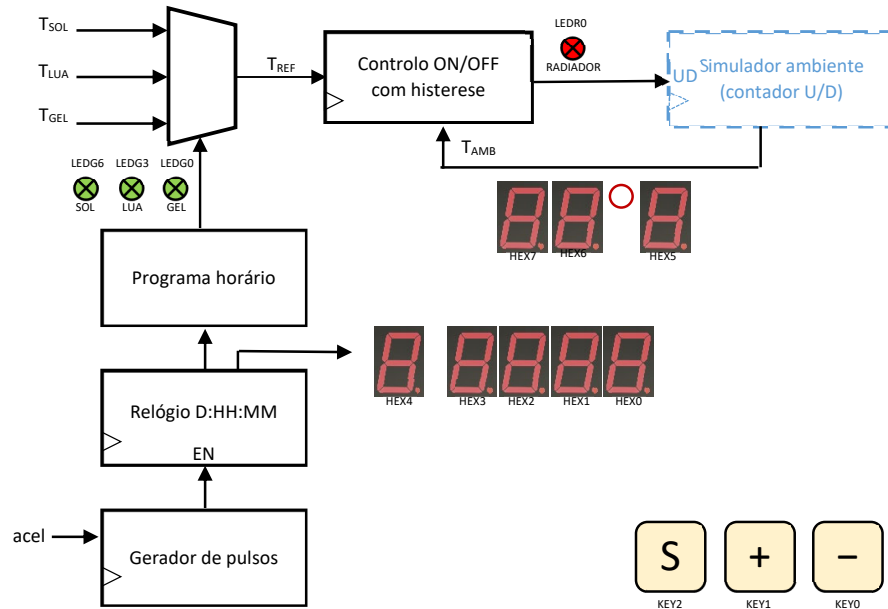


Para endereçar o perfil em função da hora do dia (e do dia da semana, no caso de ciclos semanais), o sistema requer um relógio sob o formato HH:MM (ou D:HH:MM), que deve poder ser acertado pelo utilizador.

### 3. Especificações

#### 3.1. Unidade de execução

O diagrama de blocos que se segue apresenta a base do *datapath* do sistema e inclui informação complementar para caracterizar a interface com o utilizador e sugerir como a implementar no *kit*.



- 1) Deve ser aplicado um único sinal de 'clock' (50MHz) a todos os componentes sequenciais.
- 2) Em funcionamento normal, o relógio deve receber pulsos à frequência de 1 por minuto, é claro. No entanto, a demonstração do sistema não é prática sem acelerar o tempo – daí o comando 'acel' no gerador de pulsos. Implemente esse comando usando comutadores (por exemplo SW(1..0)) para configurar factores de aceleração 1 (frequência normal), 60 (1Hz), 1200 (20Hz) e 7200 (120Hz).
- 3) A interface com o utilizador inclui entradas por botão de pressão para os comandos 'S' (set => acerto), '+' (incremento) e '-' (decremento). Todas devem ser tratadas de forma a gerar, a cada toque, um único pulso síncrono com a duração de um período de 'clock'. Para facilitar as situações de acerto, é conveniente dotar as teclas '+' e '-' da capacidade adicional de detectar toque longo (e.g. de duração superior a 1s) e nesse caso gerar trem de pulsos síncronos a frequência adequada (e.g. 10Hz).
- 4) O relógio deve suportar dois modos de funcionamento: normal e de acerto. Em modo normal, só devem ser visíveis (nos visores HEX3 a HEX0) os dígitos HH:MM, mantendo-se o visor HEX4 apagado. O modo de acerto deve aceder em separado a cada grupo de dígitos: D (dia da semana), HH (horas) e MM (minutos). Sugere-se que os dias da semana (2ª feira a domingo) sejam representados respectivamente pelos dígitos '2', '3', '4', '5', '6', 'b' e 'd'.
- 5) O acerto será efectuado sob o comando das teclas 'S', '+' e '-' nos seguintes moldes:
  - Toque em 'S' – entra no modo de acerto; activa acerto do dia da semana: pisca o dígito D;
    - teclas '+' e '-' permitem ajustar D.
  - Toque em 'S' – activa acerto das horas: piscam os dígitos HH;
    - teclas '+' e '-' permitem ajustar HH
  - Toque em 'S' – desactiva acerto das horas; activa acerto dos minutos: piscam os dígitos MM;
    - teclas '+' e '-' permitem ajustar MM
  - Toque em 'S' – volta ao modo normal

- 6) O programa horário será em ciclo semanal, definido em ROM, combinando dois ciclos diários de 48 blocos (0-0.5h, 0.5-1h, ..., 23.5-24h), um activo nos dias de semana (2ª a 6ª) e outro activo no fim de semana.
- 7) A gama de temperaturas de interesse é estritamente positiva. A resolução de uma décima de grau centígrado é amplamente suficiente. Assim, os valores de temperatura serão representados como números inteiros em formato binário natural, sendo a unidade de temperatura 0.1°C e será suficiente considerar 9 *bits*, para dispor de uma gama de 0 a 51.1°C.
- 8) As referências de temperatura  $T_{SOL}$ ,  $T_{LUA}$  e  $T_{GEL}$ , bem como a janela de histerese  $\Delta$ , serão pré-fixadas (não alteráveis pelo utilizador).
- 9) O estado do radiador será representado por LEDR0. Para incorporar o comportamento do ambiente (fazendo a temperatura subir quando o radiador está ligado e descer quando está desligado) deve ser incluído um contador de 9 *bits* crescente/decrecente a funcionar a uma frequência considerada conveniente para efeitos de teste do sistema. O valor de saída desse contador representa a temperatura ambiente e deve ser apresentado em permanência, em formato decimal, nos visores HEX7 a HEX5.

### 3.2. Unidade de controlo

Naturalmente, é necessário desenvolver uma máquina de estados finitos para promover a inicialização adequada do sistema e, a partir daí, articular e gerir os modos de operação: **normal** e **acerto** (do relógio), enviando sinais de controlo / habilitação adequados aos blocos do *datapath* em função dos comandos recebidos do utilizador. Para este efeito, são especialmente relevantes as especificações 4) e 5) do número anterior, relativas ao relógio e seu acerto.

## 4. Recomendações gerais

Este sistema presta-se de forma muito evidente ao modelo de projecto hierárquico preconizado na UC. Recomenda-se uma abordagem faseada, planeando, construindo e testando sucessivamente os vários blocos /conjunto de blocos (estratégia *bottom-up*).