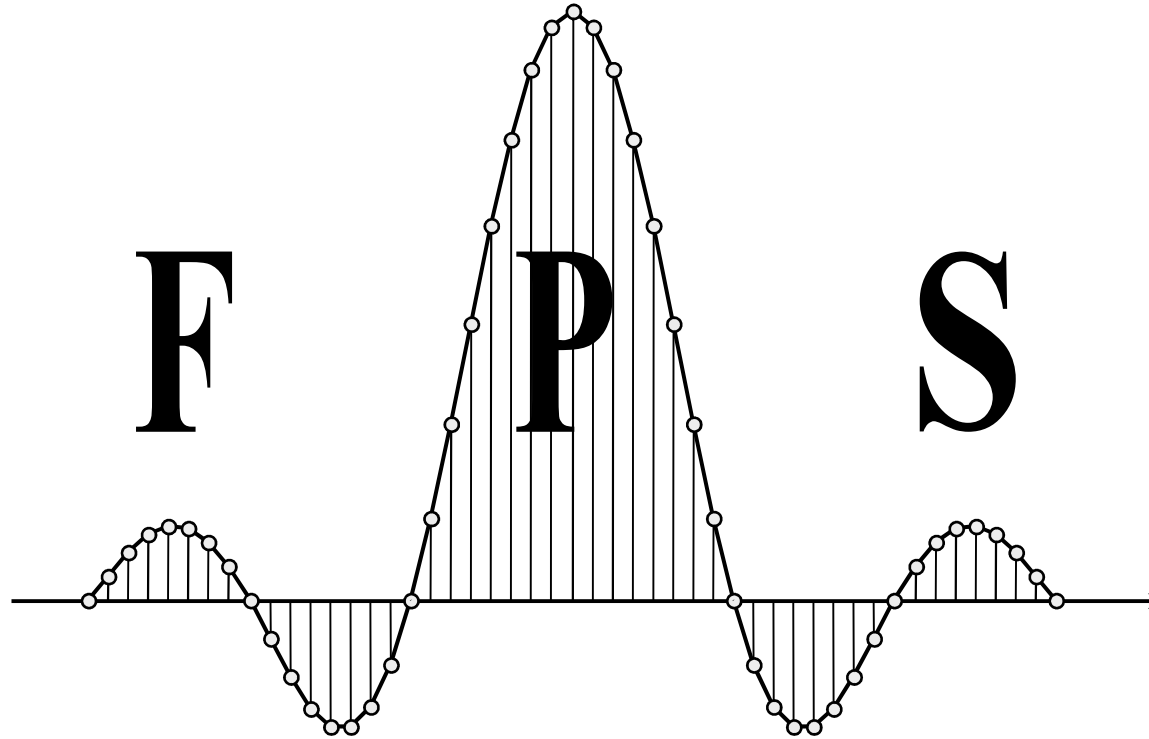
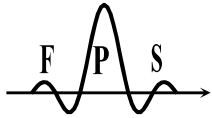


L.EEC 025



Bem-Vindos !



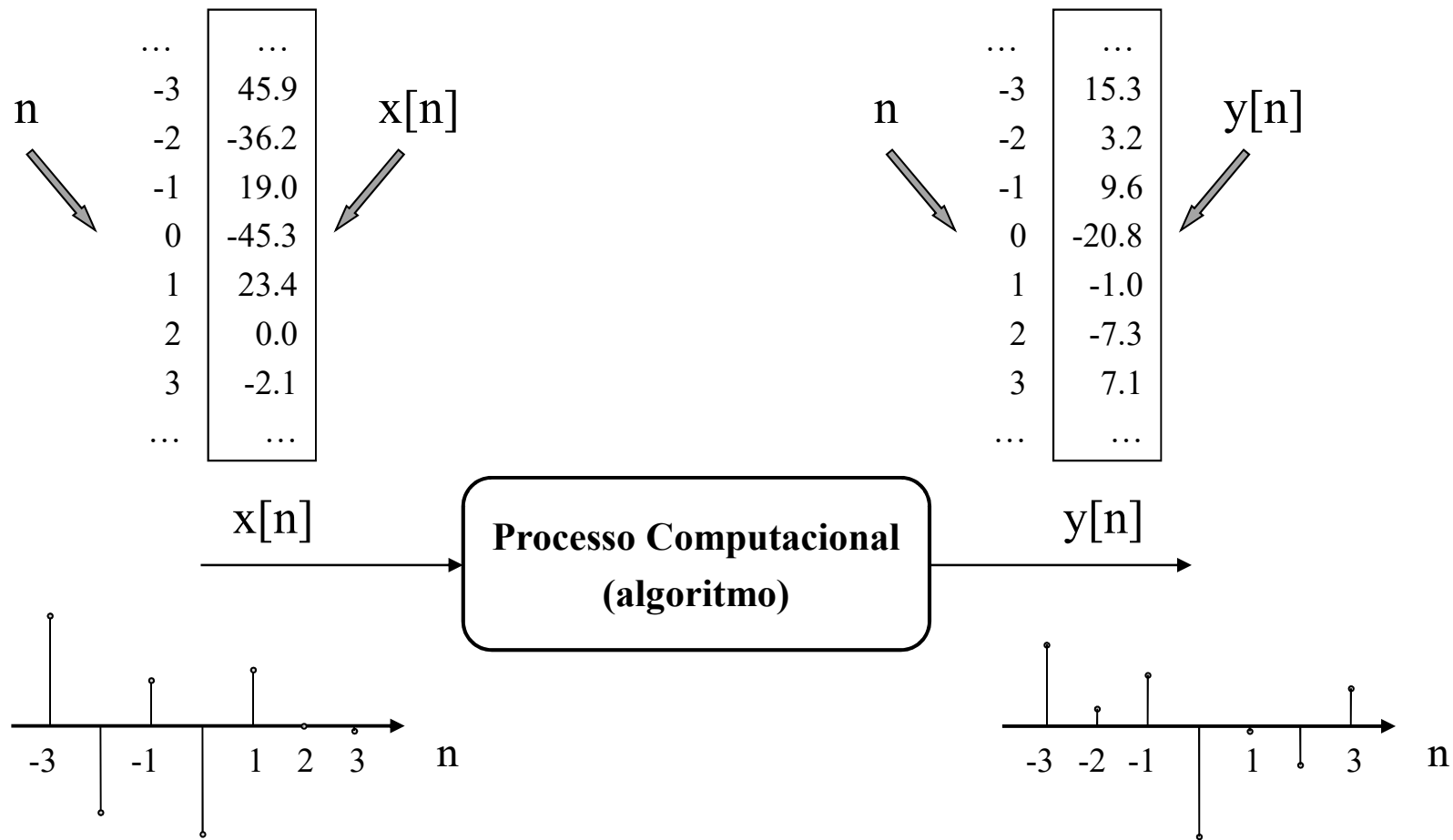
Sumário

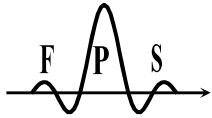
- *Apresentação da unidade curricular*
 - *Processamento de Sinal*
 - *o que é ?*
 - *sinais discretos = sinais digitais ?*
 - *como se obtêm os sinais digitais ?*
 - *vocação do Proc. Sinal ?*
 - *como nasceu o Proc. Sinal ?*
 - *vantagens em relação ao processamento analógico ?*
 - *aplicações do Proc. Sinal ?*
 - *L.EEC 025*
 - *a árvore e a floresta*
 - *objetivos da unidade curricular*
 - *conteúdos previstos*
 - *metodologia*
 - *avaliação*



Processamento de Sinal

- O que é ?
 - consiste em submeter uma sequência de números a um processo computacional que fornece uma outra sequência à sua saída



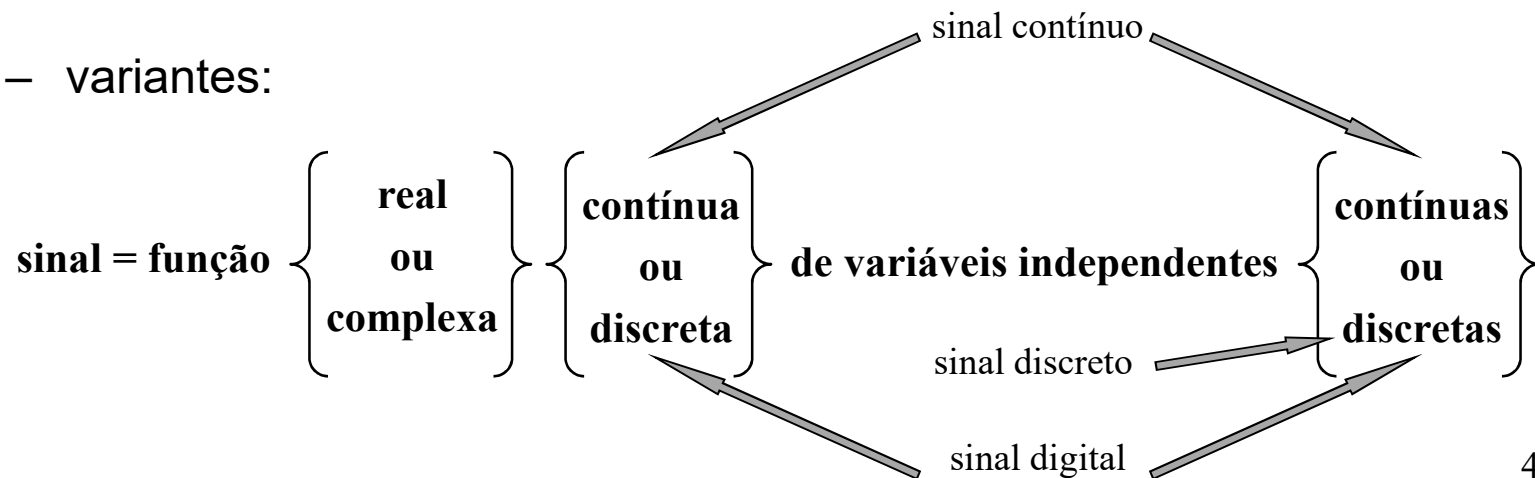


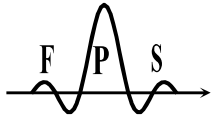
Processamento de Sinal

- Sinais discretos = sinais digitais ?

- os sinais retratam ocorrências naturais (e.g. fala, imagem) ou sintetizadas, isto é, geradas por computador (e.g. função trigonométrica, sequência pseudo-aleatória de números, música sintetizada, ...)
- um sinal é genericamente uma função de uma ou mais variáveis independentes (e.g. o tempo, a posição, a temperatura, a pressão)
 - sinal escalar (unidimensional): função de uma única variável independente
 - sinal vectorial (multidimensional): função de duas ou mais variáveis independentes (e.g. uma imagem)

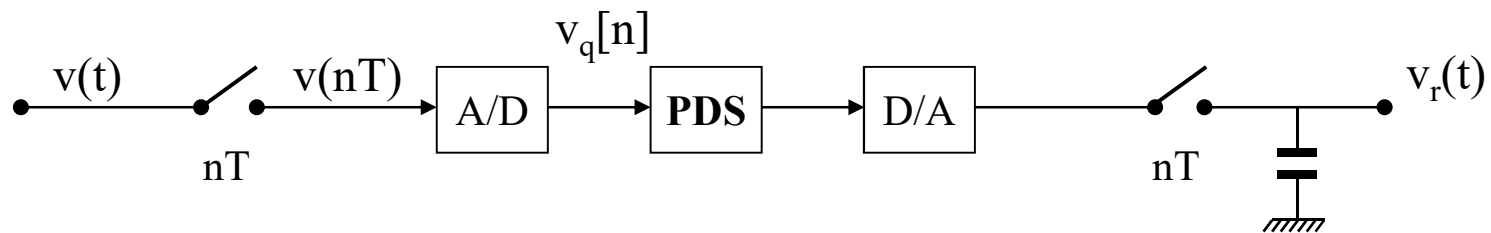
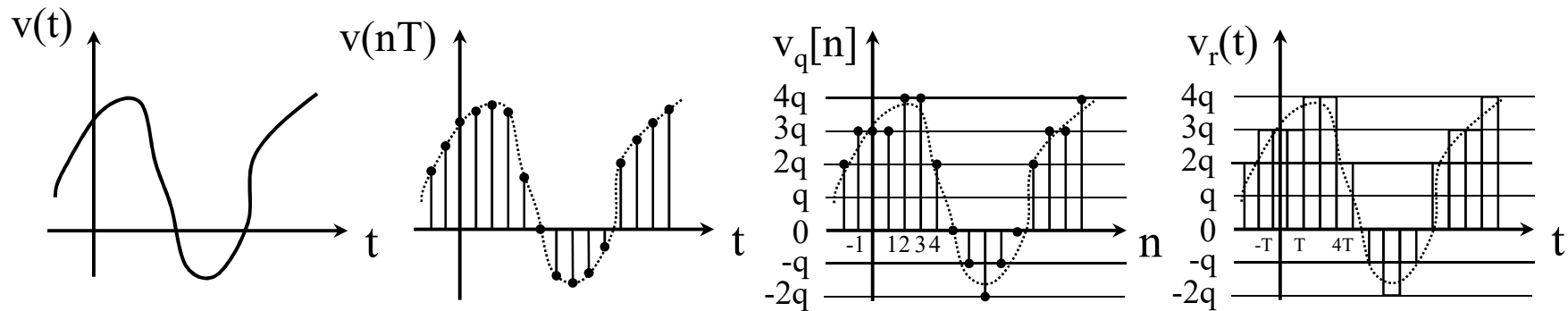
- variantes:

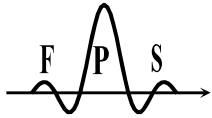




Processamento de Sinal

- Como se obtêm os sinais digitais ?
 - há fontes de sinal que são inerentemente discretas e digitais:
 - número de presenças nas aulas teóricas de PDS ao longo do semestre,
 - número de carros em cima da ponte da Arrábida ao bater de cada hora, ...
 - a maior parte das sequências discretas resultam da amostragem (discretização no tempo) de sinais contínuos
 - de modo a poder ser processado por um processador digital de sinal, o sinal discreto é convertido para um sinal digital através de uma segunda fase de discretização: a relativa à sua grandeza (e.g. a tensão)

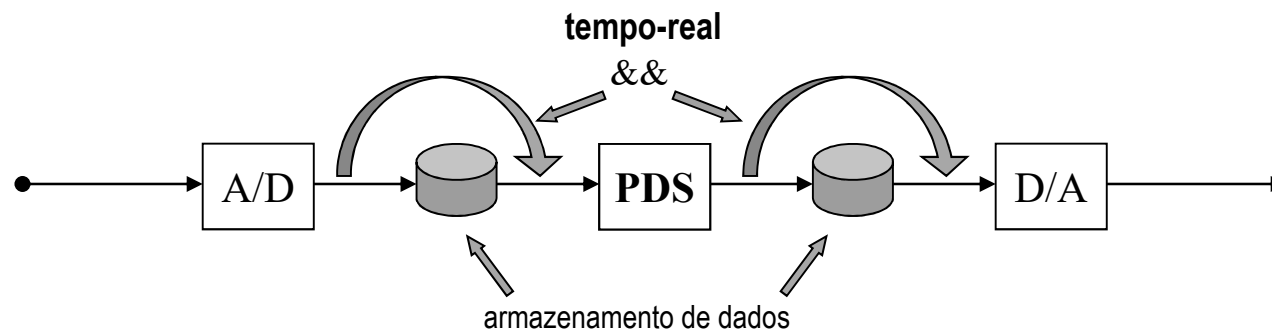


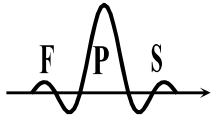


Processamento de Sinal

- **Vocação do Proc. Sinal ?**

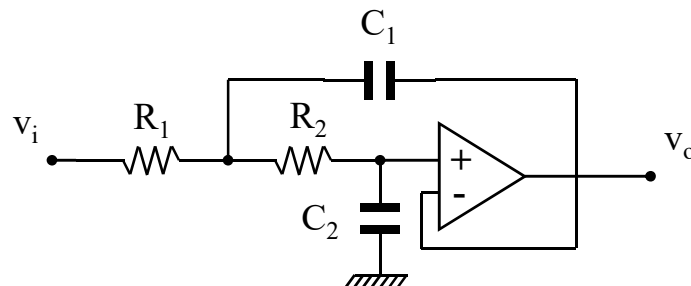
- representar, analisar (interpretar), transformar ou sintetizar sinais de acordo com algum objetivo e atendendo à sua informação
- articular três domínios complementares e mutuamente dependentes:
 - **teoria dos sinais e sistemas discretos**, com uma particular ênfase para os sistemas lineares e invariantes no tempo (por causa da existência de muitas ferramentas de análise e projeto) - exemplo: análise de Fourier
 - **tecnologia** - exemplo: *hardware* dedicado para o cálculo rápido da DFT
 - **aplicação** - exemplo: análise espectral
- operar em tempo-real (a cadência de dados à saída decorre, de forma precisa, da cadência de dados à entrada) ou em tempo diferido (*i.e. off-line*):



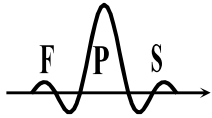


Processamento de Sinal

- Como nasceu o Proc. Sinal ?
 - em meados do século 17, com o desenvolvimento de métodos tais como a integração numérica e a interpolação numérica para resolver problemas físicos relacionados com variáveis e funções contínuas
 - com o advento dos computadores, por volta de 1960, a área de PDS autonomizou-se como área de investigação de pleno direito, apesar de inicialmente de se centrar sobretudo na simulação de processos analógicos através de computadores
- **exemplo prático:** dado um filtro ativo de 2ª ordem, do tipo passa-baixo, qual a perturbação criada na resposta em magnitude e fase do filtro quando os seus componentes exibem desvios de $\pm 10\%$ em relação aos valores nominais ?

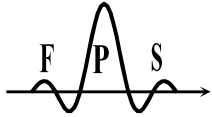


$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{1}{1 + s(R_1 + R_2)C_2 + s^2 R_1 R_2 C_1 C_2}$$



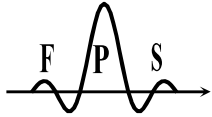
Processamento de Sinal

- Como nasceu o Proc. Sinal ? (cont.)
 - em resultado de avanços importantes na área de Proc. Sinal
 - a divulgação, em 1965, por Cooley e Tukey, de um algoritmo para o cálculo rápido da Transformada de Fourier Discreta (DFT) [note-se que a Transformada de Fourier não pode ser calculada por computador, porém uma sua amostragem pode e, para sinais discretos e finitos, a DFT é uma representação completa e exata -e não uma simples aproximação- do sinal], viabilizando definitivamente a sua execução em tempo-real,
 - o projeto de filtros digitais não à imagem de filtros analógicos, mas usando métodos discretos, eficientes e mesmo **ótimos** de projeto
 - estes e outros avanços, nomeadamente ao nível da microeletrónica, tornaram viável e praticável:
 - a simulação e ensaio **interativo** de algoritmos antes da sua realização,
 - a implementação em *hardware* dedicado e a baixo custo, de algoritmos de PDS complexos e ambiciosos, como por exemplo, a compressão e codificação de sinais de fala (e.g. em telefones celulares), o reconhecimento e síntese de sinais de fala, a reprodução de música comprimida a partir de memórias de estado sólido utilizadas por alguns leitores de “MP3”, etc.
 - o avanço da área de PDS por avenidas impossíveis de percorrer usando técnicas de processamento analógico (e.g. deteção e correção de erros),



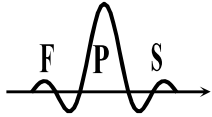
Processamento de Sinal

- Vantagens em relação ao processamento analógico ?
 - decorre, desde logo, da vantagem dos circuitos digitais:
 - **insensibilidade:** muito menor sensibilidade (podendo mesmo falar-se em independência) às tolerâncias e envelhecimento de componentes, à variação de temperatura, etc.
 - **repetibilidade:** os sistemas podem ser replicados com características exatas
 - **integração:** possibilidade de integrar módulos de processamento
 - **precisão:** o processamento digital pode ser realizado com uma qualidade predefinida pela resolução numérica (# bits usados para representar números e efetuar cálculos)
 - **dinâmica:** é possível acomodar a representação de sinais de grande gama dinâmica através do uso de representação e aritmética em vírgula flutuante
 - **multiprocessamento:** facilidade de partilhar um processador por vários sinais processados diferente e independentemente



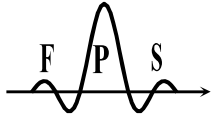
Processamento de Sinal

- Vantagens (cont.)
 - **reconfiguração**: facilidade de alterar ou reconfigurar o processamento executado através de uma simples reprogramação das operações aritméticas a calcular
 - NOTA: desta vantagem decorre a possibilidade de ajustar algoritmos de processamento durante a sua operação, o que representa por si uma área importante que é a do **processamento adaptativo** e de que é exemplo a filtragem adaptativa (sistema linear mas variante no tempo)
 - o processamento digital oferece outras vantagens inexistentes no processamento analógico:
 - não há problemas de “carga” entre andares de processamento em cascata,
 - é possível projetar filtros digitais com fase rigorosamente linear,
 - é possível projetar filtros com características de resposta em frequência rigorosamente complementares,
 - o armazenamento de sinais digitais pode ser realizado em diferentes suportes (magnético, ótico, memórias de estado-sólido) sem qualquer perda de informação ou problemas de envelhecimento,
 - é possível o processamento de sinais em tempo não-real (*i.e.* “off-line”),



Processamento de Sinal

- Vantagens (cont.)
 - o processamento digital oferece outras vantagens (cont.) :
 - usando técnicas de compressão de dados, pode ser possível usar uma menor largura de banda para transmitir ou armazenar sinais, do que a requerida pela versão analógica desses sinais.
- Mas também há desvantagens !
 - sistemas digitais são em geral mais complexos do que os analógicos,
 - a largura de banda requerida para representar um sinal digital não comprimido é superior à associada ao sinal analógico correspondente,
 - a máxima largura de banda de um sinal analógico que é possível representar digitalmente depende das limitações tecnológicas dos conversores A/D e D/A (dados de Sanjit Mitra, 1998):
 - resolução entre 10 - 16 bits : frequência máxima de amostragem ≈ 10 MHz
 - resolução na ordem 6 bits: frequência máxima de amostragem ≈ 1 GHz
- Para que lado pende o balanço ?



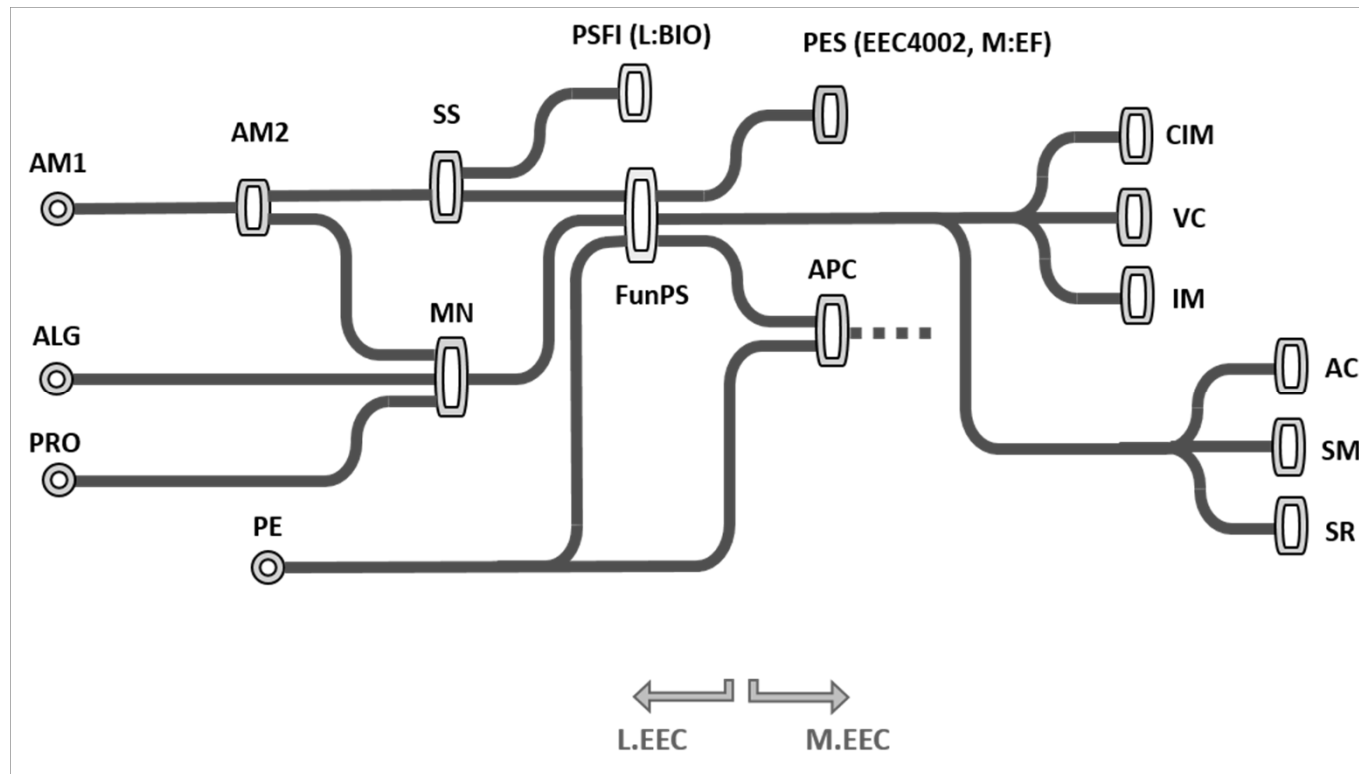
Processamento de Sinal

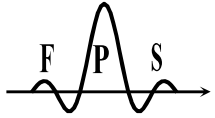
- Aplicações
 - telecomunicações
 - telefonia celular
 - reconhecimento e síntese de fala
 - compressão de vídeo e áudio digitais (e.g. segundo normas MPEG)
 - cancelamento de ecos e ruído através de filtragem adaptativa
 - modulação digital (e.g. sistema DAB, TDT)
 - medicina (ECG, EEG, EGG...)
 - entretenimento (MP3, MP4, *streaming*...)
 - sistemas militares
 - eletrónica de consumo



L.EEC 025

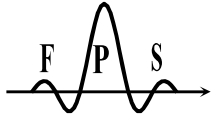
- A árvore e a floresta





L.EEC 025

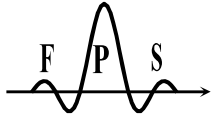
- Objetivos da unidade curricular
 - introduzir os conceitos teóricos básicos da área do Proc. Sinal
 - ilustrar as potencialidades de aplicação das técnicas de Proc. Sinal
 - com especial ênfase para a filtragem digital e a análise espectral
 - formar competências de análise e projeto de sistemas discretos
- Bibliografia
 - “Discrete-Time Signal Processing”, Oppenheim, Shafer, 3.Ed. 2009
 - apontamentos e compilação de problemas da unidade curricular
 - “Digital Signal Processing”, Sanjit Mitra, 2006
 - “DSP First”, McClellan, Schafer, Yoder, 1999
 - “Digital signal processing”, John G. Proakis, Pearson, 2006



L.EEC 025

- Conteúdos previstos

- caracterização e representação de sinais e sistemas discretos (revisões)
- sinais discretos determinísticos e aleatórios
- a transformada de Fourier discreta em n
- a amostragem e reconstrução de sinais
- a Transformada Z
- caracterização em Z de sistemas lineares e invariantes no tempo
- sistema inverso, passa-tudo, sistemas de fase mínima, linear e máxima, sistemas FIR de fase linear
- projeto de filtros digitais de resposta impulsional infinita (IIR)
- projeto de filtros digitais de resposta impulsional finita (FIR)
- estruturas para a implementação de sistemas discretos IIR e FIR
- *filtros adaptativos*
- *equivalentes discretos de sistemas contínuos*
- a transformada de Fourier discreta (DFT)
- convolução linear usando a DFT
- cálculo rápido da DFT (a FFT)
- aplicação da FFT na filtragem FIR rápida, no cálculo da correlação e na estimação espectral



L.EEC 025

- Metodologia

- aulas teóricas

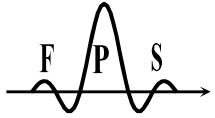
- “*flipped classroom-oriented*” resumo dos conteúdos da unidade curricular
- introdução a problemas ilustrativos de Processamento de Sinal e a temas de trabalhos de laboratório
- motivação para *Questões de Verificação (extra-class, Moodle-based, individual, 25% da AD)*

- aulas práticas laboratoriais

- “*peer-to-peer learning/assessment*” (grupos de 4 estudantes, 20% da AD)

NOTA: “*peer-to-peer learning/assessment*” envolve a resolução (convencional, Matlab), por um estudante, de um exercício proposto e que é explicado aos colegas de grupo e por estes avaliado; este processo é escrutinado pelo docente que intervirá apontando incorreções e validando/ajustando a avaliação atribuída pelos colegas de grupo

- trabalhos laboratoriais com base no kit *STM32F7 Discovery kit* e com objetivos de realização definidos para 1-2 semanas e avaliados pelo docente (grupos de 4 estudantes, 55% da AD)

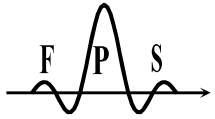


L.EEC 025

- Metodologia

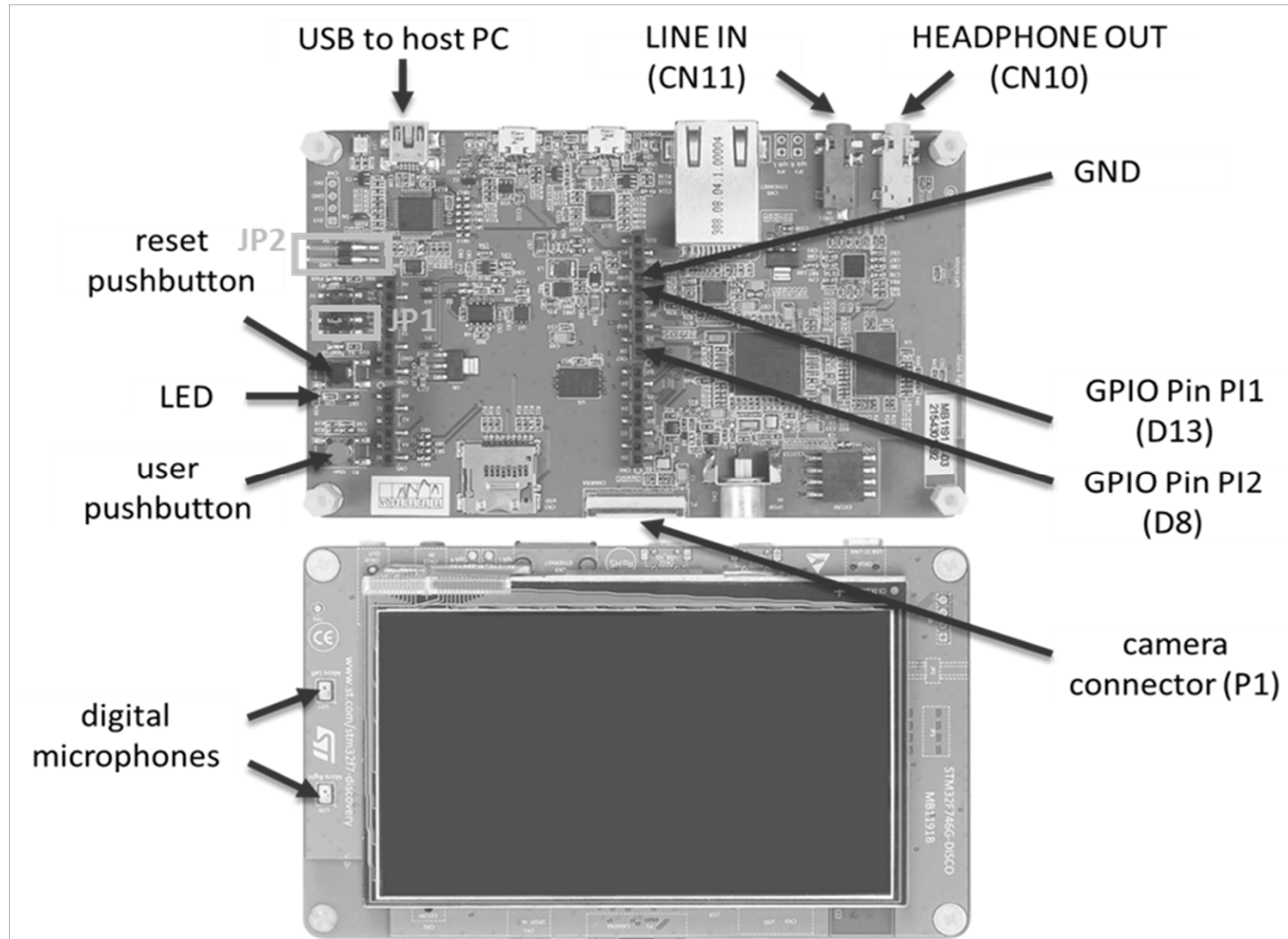
- trabalho de estudo/acompanhamento individual (*fundamental !*)
 - exploração autónoma e individual de exercícios de Proc. Sinal recorrendo frequentemente à ferramenta MATLAB (ambiente de cálculo matricial e representação gráfica, de utilização simples mas muito poderoso permitindo ensaiar sistemas de PDS e analisar muito facilmente o seu desempenho)
- avaliação
 - final = $0.5 \cdot \text{exame} + 0.5 \cdot \text{avaliação distribuída}$

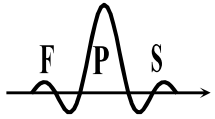
Nota: exame ≥ 6 val.



L.EEC 025

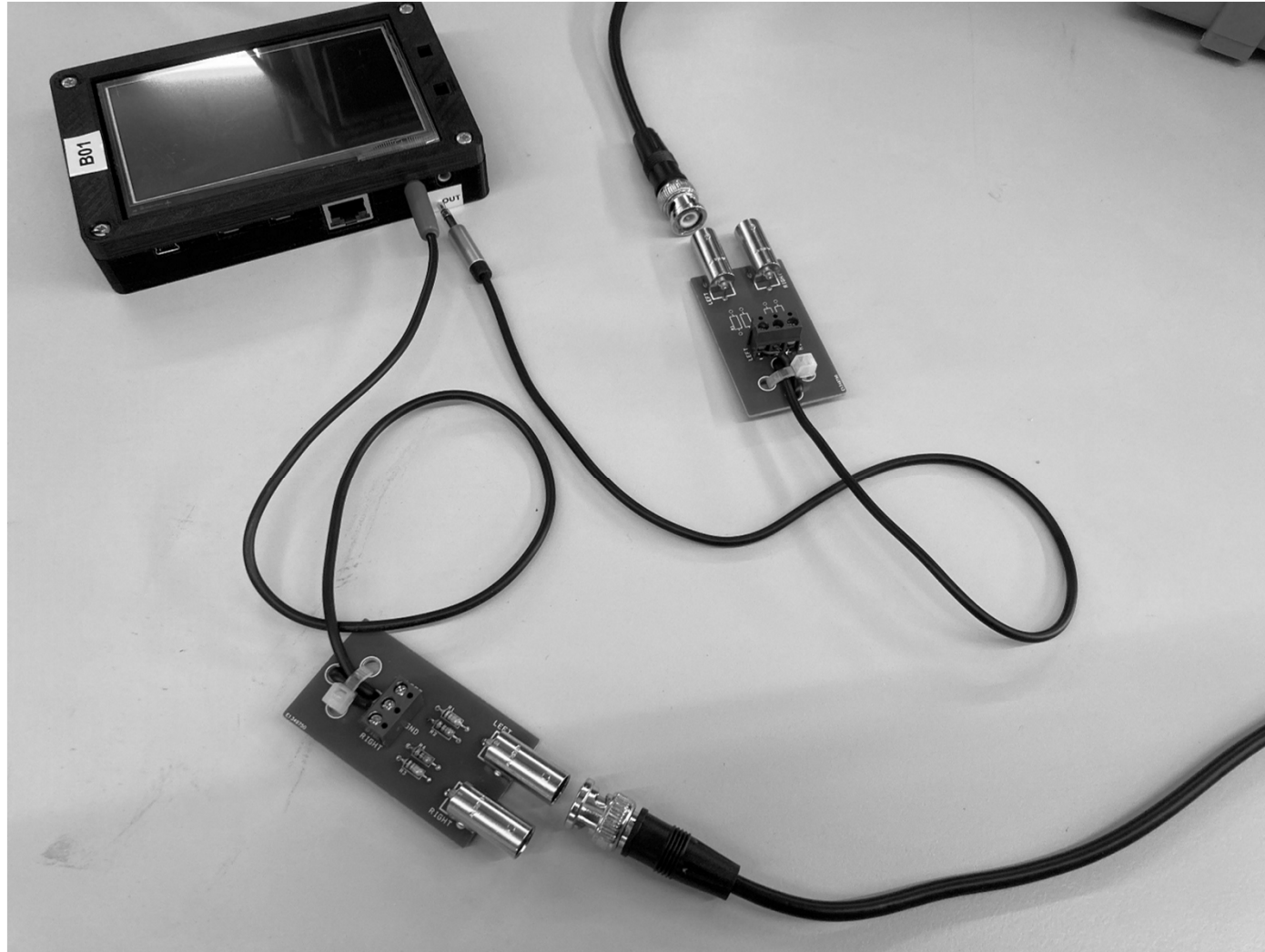
- STM32F46G Discovery kit

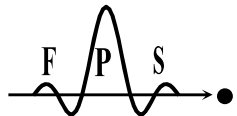




L.EEC 025

- STM32F46G Discovery kit





Conclusão

- a área do Processamento de Sinal tem verificado avanços vertiginosos nas últimas décadas e as expectativas para o futuro são enormes dados os permanentes avanços nas tecnologias de computação e o surgimento de novas aplicações e desafios em resultado da convergência entre as telecomunicações, os computadores e o processamento de sinal
- uma unidade curricular semestral em Processamento de Sinal nunca poderia, pois, ser exaustiva
- L.EEC 025 inspira-se no espírito subjacente a um *textbook* de referência em Processamento de Sinal:

“the purpose of a fundamental textbook should be to uncover rather than to cover a subject” - Oppenheim