

# Projeto Final — Processamento Digital de Sinais (PDS 2025/2)

COENC/AP — Edital e Instruções

**Professor:** Daniel Prado de Campos

---

## Introdução

O projeto final deverá ser entregue em *formato de artigo científico em duas colunas*, com extensão mínima de quatro e máxima de oito páginas. O artigo final será feito no template fornecido baseado no modelo da *IEEE*<sup>1</sup>. Os trabalhos serão desenvolvidos em **grupos de dois ou três alunos**.

A submissão incluirá: (i) o artigo em PDF e (ii) o código-fonte completo e executável, com instruções claras de reprodução, documentados em repositório público (por exemplo, em Github ou Gitlab). O projeto será apresentado em sala de aula em data marcada.

## Estrutura essencial

### Título, autores e afiliações

Título conciso que descreva o problema e a abordagem. Identificar autores e respectivas afiliações acadêmicas.

### Resumo e palavras-chave

Síntese objetiva do problema, dados utilizados, metodologia e principais achados. Cinco a sete palavras-chave que reflitam conceitos do projeto.

### Introdução

Contextualização do problema e motivação. Escopo do trabalho, contribuições e objetivos mensuráveis. Indicar brevemente bases de dados e cenário de aplicação.

### Trabalhos relacionados

Breve revisão do estado da arte, conectando conceitos centrais de PDS e aplicações semelhantes. Explicitar lacunas que o projeto se propõe a endereçar.

### Dados e pré-processamento

Descrição clara da origem dos dados, formato, taxa de amostragem, unidades e eventuais rotulagens. Procedimentos de limpeza, recorte temporal, normalização e divisão treino-teste. Indicar limitações e potenciais vieses.

### Métodos

Especificar filtros, transformadas, estimadores espectrais e classificadores utilizados. Detalhar janelas, sobreposição, ordem de filtros, parâmetros de modelos e critérios de seleção.

---

<sup>1</sup>Modelo disponível em (copiar projeto): <https://www.overleaf.com/read/gfgzwbkqgwnn#f203b8>

## Resultados

Apresentar métricas, tabelas, gráficos e figuras que demonstrem ganhos de desempenho e coerência técnica. Exemplos de métricas: SNR, NMRSE, ACC, F1, RMSE, AUC, espectros por *Welch*, espectrogramas e curvas de erro por iteração.

## Discussão

Interpretar os resultados frente aos objetivos, discutir limitações e implicações práticas. Comentar sensibilidade a parâmetros e a robustez diante de possíveis limitações dos dados (ruído, distorções, shift, etc).

## Conclusão e trabalhos futuros

Síntese das contribuições e apontamento de melhorias e extensões possíveis.

## Reprodutibilidade

Instruções para executar o código, dependências, versão das bibliotecas e roteiro mínimo de reprodução. Indicar semente aleatória quando pertinente (casos que usem técnicas que utilizem seed para inicialização).

## Referências

Listar obras citadas em padrão consistente. Incentiva-se o uso de  $\text{\LaTeX}$  com arquivo `.bib`.

## Temas e ideias de projeto

A seguir, apresentam-se dez propostas com título, dados, objetivo e resultados esperados. Os links das bases foram colocados como notas de rodapé para manter a fluidez do texto.

### 1. Detecção de posição de objetos em vídeo

**Dados** — Sequências de vídeo curtas capturadas pelos próprios alunos ou obtidas de repositórios públicos<sup>2</sup>. Os vídeos devem conter movimento perceptível de um ou mais objetos (pessoas, veículos, bolas, etc.), preferencialmente com boa iluminação e fundo relativamente estático.

**Objetivo** — Implementar um sistema simples de rastreamento de objetos com base em técnicas de Processamento Digital de Sinais aplicadas a sequências de quadros. Cada quadro deve ser tratado como uma matriz bidimensional de intensidade (ou canais RGB separados), e a diferença temporal ou filtros espaciais podem ser explorados para detectar movimento. Sugere-se o uso de subtração de fundo, gradiente temporal e filtros passa-baixa espaciais para redução de ruído. O termo “rastrear” aqui refere-se a estimar a posição (coordenadas  $x$  e  $y$ ) do objeto ao longo do tempo.

**Resultados esperados** — Vídeos ou séries temporais contendo a trajetória estimada do objeto, gráficos de deslocamento e velocidade ao longo do tempo e métricas quantitativas de desempenho como erro médio de localização ou taxa de acerto de detecção quadro a quadro. Espera-se ainda uma análise visual mostrando o centroide do objeto destacado sobre os quadros processados, bem como uma discussão sobre a estabilidade do rastreamento diante de variações de iluminação e ruído.

### 2. Afinador digital com estabilidade de *pitch*

**Dados** — Gravações curtas de notas musicais executadas em instrumentos acústicos ou eletrônicos<sup>3</sup>, preferencialmente com duração superior a dois segundos para permitir análise de

---

<sup>2</sup>Por exemplo, *Stanford Drone Dataset*: [https://cvgl.stanford.edu/projects/uav\\_data/](https://cvgl.stanford.edu/projects/uav_data/), ou *COCO Video* com anotações de posição: <https://cocodataset.org>

<sup>3</sup>Podem ser usados instrumentos de corda, sopro, teclado ou arquivos de áudio públicos.

estabilidade. Cada grupo deverá registrar as notas nominalmente (por exemplo, Lá<sub>4</sub>, Dó<sub>5</sub>) e manter a taxa de amostragem informada.

**Objetivo** — Desenvolver um sistema de análise espectral capaz de identificar a frequência fundamental do som emitido e avaliar a estabilidade tonal ao longo do tempo. O cálculo pode ser feito pela Transformada Rápida de Fourier (FFT) e pela detecção do maior pico no módulo do espectro, representando a componente dominante do sinal. A frequência identificada deve ser comparada com os valores ideais do *temperamento igual*, sistema de afinação padronizado em que a nota Lá<sub>4</sub> possui 440 Hz. O desvio pode ser expresso em *cents*<sup>4</sup>, permitindo quantificar se a nota está mais aguda (positiva) ou mais grave (negativa) que o padrão.

**Resultados esperados** — Série temporal representando a variação da frequência fundamental estimada em cada janela do sinal, gráficos de estabilidade tonal e histograma do erro médio em *cents*. Espera-se que o trabalho inclua a comparação entre diferentes funções de janela (por exemplo, Hann e Hamming) e tamanhos de FFT, discutindo como essas escolhas influenciam a precisão e a estabilidade da detecção de *pitch*. Além disso, recomenda-se apresentar espectros típicos das notas analisadas e interpretar os harmônicos visíveis no domínio da frequência, evidenciando o caráter periódico do som musical e suas implicações na estimação da fundamental.

### 3. EMG: detecção de contrações e métricas de ativação

**Dados** — Sinais de eletromiografia (EMG) registrados durante movimentos da mão ou dos dedos, obtidos de bases públicas<sup>5</sup> ou de experimentos realizados pelos próprios alunos utilizando sensores de baixo custo. Cada canal representa a atividade elétrica de um grupo muscular em função do tempo, amostrada tipicamente entre 500 e 2000 Hz.

**Objetivo** — Desenvolver um procedimento capaz de detectar automaticamente os períodos de contração muscular a partir do sinal de EMG e calcular métricas que descrevam sua intensidade e duração. As principais variáveis de interesse incluem: (i) RMS (Root Mean Square), que expressa a potência média do sinal em cada janela e está relacionada à força de contração; (ii) IEMG (Integrated EMG), que corresponde à soma da magnitude do sinal em um intervalo e reflete a atividade muscular acumulada; e (iii) taxa de cruzamento por zero (*Zero-Crossing Rate*), indicador da frequência de variação do sinal e associado à fadiga ou tipo de fibra muscular recrutada. Adicionalmente, pode-se estimar a frequência mediana do espectro antes e após a ativação, obtida pela FFT, para avaliar mudanças espectrais típicas de fadiga muscular.

**Resultados esperados** — Gráficos temporais mostrando a evolução do RMS e do IEMG com marcações das janelas de contração detectadas, além de tabelas contendo médias e desvios das métricas extraídas para cada canal. Espera-se a construção de “mapas de ativação” que ilustrem, por cor ou intensidade, a variação da atividade muscular entre diferentes músculos ao longo do tempo. Caso o grupo decida classificar diferentes gestos (por exemplo, abrir e fechar a mão), recomenda-se calcular curvas ROC e métricas de acurácia para avaliar o desempenho da detecção. Também é desejável incluir uma breve análise de ruído e um comentário sobre o pré-processamento do sinal, como filtragem passa-banda típica entre 20 e 450 Hz, para eliminar interferências e artefatos de movimento.

### 4. ECG: detecção de picos R e variabilidade

**Dados** — Registros de eletrocardiograma (ECG) disponíveis no banco público MIT-BIH Arrhythmia Database<sup>6</sup>, que contém amostras reais de pacientes com diferentes tipos de arritmia, anotadas manualmente por especialistas. Cada registro apresenta o sinal elétrico do coração

---

<sup>4</sup>O cent é uma unidade logarítmica utilizada para medir diferenças pequenas entre frequências musicais: [https://en.wikipedia.org/wiki/Cent\\_\(music\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Cent_(music)).

<sup>5</sup>Por exemplo, coleções do PhysioNet: <https://physionet.org> ou NinaPro <https://ninapro.hevs.ch/>.

<sup>6</sup><https://physionet.org/content/mitdb>

medido em múltiplas derivações, com taxa de amostragem de 360 Hz. Opcionalmente, podem ser utilizadas gravações simples de ECG de um único canal coletadas por sensores educacionais ou dispositivos de baixo custo.

**Objetivo** — Implementar um algoritmo capaz de identificar automaticamente os picos R — as deflexões mais proeminentes do complexo QRS — presentes no sinal de ECG. A detecção dos picos R é o ponto de partida para calcular os intervalos RR (tempo entre batimentos consecutivos) e derivar informações sobre o ritmo cardíaco e sua variabilidade. O processamento deve incluir etapas de filtragem passa-banda, geralmente entre 0,5 e 40 Hz, para eliminar ruídos de baixa frequência (movimentos ou variação da linha de base) e interferência de rede elétrica (em torno de 50/60 Hz). Após o pré-processamento, pode-se aplicar técnicas como derivação e limiar adaptativo (método de Pan–Tompkins, por exemplo) para localizar as posições dos picos R. A análise subsequente dos intervalos RR permite calcular a frequência cardíaca instantânea, a média de batimentos por minuto (BPM) e a variabilidade do ritmo cardíaco (HRV)<sup>7</sup>.

**Resultados esperados** — Sinal filtrado com sobreposição dos picos R detectados, tabelas com os valores médios e desvio padrão dos intervalos RR e gráficos temporais mostrando a variação da frequência cardíaca ao longo do registro. Recomenda-se apresentar histogramas da distribuição dos intervalos RR e métricas de desempenho da detecção, como sensibilidade e valor preditivo positivo, comparando com as anotações de referência do banco de dados. Caso o grupo deseje um aprofundamento adicional, pode-se incluir uma análise espectral da HRV para ilustrar o equilíbrio autonômico e discutir possíveis implicações fisiológicas observadas nos dados.

## 5. Vibração: detecção de falhas em rolamentos

**Dados** — Sinais de vibração obtidos do *Case Western Reserve Bearing Data Center*<sup>8</sup>, um banco de dados amplamente utilizado em estudos de diagnóstico de máquinas rotativas. Os dados foram coletados em motores elétricos operando sob diferentes condições de carga e com falhas artificiais introduzidas em rolamentos. As medições foram realizadas por acelerômetros acoplados à carcaça do motor, com taxas de amostragem entre 12 e 48 kHz.

**Objetivo** — Desenvolver um método de análise de vibração capaz de identificar e caracterizar falhas em rolamentos com base no conteúdo espectral do sinal. O rolamento, por ser um componente rotativo sujeito a desgaste mecânico, apresenta padrões vibratórios distintos quando ocorrem defeitos nas pistas ou esferas.

O primeiro passo consiste em realizar o pré-processamento dos sinais para remoção de ruído de fundo e normalização da amplitude. Em seguida, deve-se aplicar a Transformada Rápida de Fourier (FFT) para obter o espectro de frequência e localizar as componentes periódicas relacionadas ao movimento rotacional. As falhas típicas manifestam-se por picos em frequências específicas conhecidas como frequências características do rolamento que dependem da geometria e da rotação do eixo. Para uma estimativa mais estável do espectro, recomenda-se o uso do método de Welch para o cálculo da densidade espectral de potência (PSD), permitindo comparar a distribuição de energia em condição normal e com falha.

**Resultados esperados** — Espectros de potência representativos das diferentes condições de operação, com destaque para as bandas e harmônicos associados a cada tipo de falha. Espera-se a apresentação de gráficos comparativos entre o estado saudável e os estados defeituosos, evidenciando as assinaturas características nas frequências de falha. Além da análise espectral, o projeto pode incluir um experimento de classificação binária simples (motor saudável versus motor com falha), utilizando métricas de desempenho como acurácia, sensibilidade e matriz de confusão. Também é recomendável discutir o impacto da escolha de janelas e do tamanho do

---

<sup>7</sup>A variabilidade da frequência cardíaca (HRV) é frequentemente usada como indicador do controle autonômico e da resposta ao estresse.

<sup>8</sup><https://engineering.case.edu/bearingdatacenter>

bloco de FFT sobre a resolução espectral, bem como as limitações do método frente a ruído e variações de carga mecânica.

## 6. Corrente de motores sob falha

**Dados** — Conjunto de dados disponibilizado pela *Paderborn University Dataset*<sup>9</sup>, amplamente utilizado para estudos de diagnóstico de falhas em motores elétricos. O banco contém medições simultâneas de corrente, vibração e torque em motores de indução trifásicos operando em condições normais e sob diferentes tipos de defeito (curto entre espiras, desbalanceamento de rotor, falha mecânica em rolamentos, entre outros). Os sinais de corrente são adquiridos em alta resolução, geralmente acima de 64 kHz, permitindo análises espectrais detalhadas.

**Objetivo** — Analisar o comportamento espectral da corrente elétrica de motores em operação normal e com falhas, buscando identificar assinaturas harmônicas e modulações que indiquem a presença de defeitos internos. O método proposto baseia-se na técnica conhecida como *Motor Current Signature Analysis* (MCSA), na qual o sinal de corrente é tratado como um indicador indireto do estado mecânico do motor, já que falhas estruturais tendem a gerar flutuações periódicas no torque e, conseqüentemente, componentes adicionais no espectro da corrente.

O processamento deve incluir a aplicação de filtragem passa-baixa para remover ruído de alta frequência e a decomposição espectral do sinal via FFT. A demodulação por envelope pode ser explorada como ferramenta adicional: primeiro o sinal é retificado e filtrado, e em seguida calcula-se o espectro do envelope para realçar as modulações lentas causadas pelas irregularidades mecânicas. Essa técnica é especialmente útil para detectar falhas incipientes, quando os harmônicos ainda são de baixa amplitude.

**Resultados esperados** — Espectros de corrente representando o regime normal e os diferentes tipos de falha, com destaque para a presença de componentes laterais e bandas laterais associadas às frequências características de defeito. Recomenda-se apresentar também o espectro do envelope, evidenciando as modulações de baixa frequência que não aparecem claramente no espectro bruto. O relatório deve incluir estimativas numéricas das frequências identificadas e um cálculo de erro médio quadrático (RMSE) entre o sinal reconstruído por bandas e o sinal original, como métrica de coerência espectral. Adicionalmente, sugere-se comparar a energia total contida em faixas específicas (por exemplo, em torno da frequência fundamental e de seus harmônicos) e analisar como essa energia varia com a presença de defeitos.

## 7. VAD: fala versus silêncio em ambiente real

**Dados** — Gravações curtas de voz realizadas em ambientes cotidianos (salas de aula, escritórios, corredores, ambientes abertos), contendo tanto trechos de fala quanto intervalos de silêncio e ruído de fundo. As gravações podem ser produzidas pelos próprios alunos, desde que apresentem diferentes condições acústicas — ruído de ventilador, ar-condicionado, conversas ao fundo ou ecos. Alternativamente, é possível utilizar amostras disponíveis em bancos públicos de voz, como o *TIMIT Speech Corpus* ou o *Mozilla Common Voice*<sup>10</sup>.

**Objetivo** — Desenvolver e testar um sistema de *Voice Activity Detection* (VAD), isto é, um algoritmo capaz de distinguir automaticamente os momentos em que há fala daqueles em que o sinal contém apenas ruído ou silêncio. Essa detecção é uma etapa fundamental em aplicações de reconhecimento automático de fala, compressão de áudio e controle de dispositivos ativados por voz.

A implementação deve se basear em parâmetros simples de análise de energia e de taxa de cruzamento por zero (ZCR, do inglês *Zero-Crossing Rate*). A energia mede a potência do sinal dentro de uma janela temporal, refletindo a intensidade sonora; a ZCR quantifica quantas vezes

---

<sup>9</sup><https://mb.uni-paderborn.de/kat/forschung/kat-datacenter/bearing-datacenter/data-sets-and-download>

<sup>10</sup><https://commonvoice.mozilla.org>



o sinal cruza o eixo zero, servindo como indicador da presença de sons de alta frequência ou fricativos. Um limiar adaptativo<sup>11</sup> pode ser utilizado para compensar diferentes níveis de ruído ambiente, atualizando-se com base na média móvel da energia ou da ZCR durante períodos de silêncio detectados.

**Resultados esperados** — Gráficos temporais segmentando automaticamente os trechos de fala e silêncio, acompanhados de um espectrograma colorido que ilustre as transições detectadas. Espera-se uma saída em forma de série binária (1 para fala, 0 para silêncio) sincronizada com o tempo, bem como a apresentação de métricas de desempenho obtidas por comparação com uma anotação manual de referência, incluindo precisão, revocação e F1-score. O relatório deve discutir os efeitos do tamanho da janela e do tipo de ruído sobre a estabilidade da detecção, além de incluir uma breve análise visual e auditiva dos casos em que o algoritmo falha — por exemplo, quando sons de fundo são confundidos com fala.

## 8. Consumo residencial: picos e padrões

**Dados** — Conjunto *UCI Household Electric Power Consumption*<sup>12</sup>, composto por medições reais de consumo elétrico em uma residência na França entre os anos de 2006 e 2010. Os dados incluem valores de potência ativa e reativa, tensão e intensidade de corrente registrados em intervalos de um minuto. Cada amostra contém, portanto, uma série temporal longa e contínua, ideal para a análise de padrões de consumo e detecção de eventos anômalos.

**Objetivo** — Analisar o comportamento temporal do consumo de energia elétrica residencial, identificando padrões de uso e períodos de pico, bem como decompondo o sinal em componentes de tendência, sazonalidade e flutuação de alta frequência. O objetivo central é compreender como o consumo varia ao longo do dia, da semana e de períodos prolongados, utilizando técnicas clássicas de Processamento Digital de Sinais aplicadas a séries temporais.

Inicialmente, deve-se realizar o pré-processamento dos dados: tratamento de valores ausentes, remoção de medições espúrias e conversão de unidades quando necessário. Em seguida, recomenda-se aplicar um filtro passa-baixa para extrair a tendência de longo prazo e um filtro passa-alta (ou análise por diferenciação) para evidenciar variações rápidas associadas a ligações e desligamentos de equipamentos. A Transformada Rápida de Fourier (FFT) pode ser usada para revelar frequências dominantes que correspondem a ciclos diários ou semanais. Alternativamente, pode-se empregar decomposição aditiva por séries temporais (TSA) ou *Empirical Mode Decomposition* (EMD) para separar componentes de diferentes escalas.

**Resultados esperados** — Gráficos representando as componentes extraídas (tendência, sazonalidade e ruído), bem como espectros de frequência que mostrem periodicidades associadas a padrões diários (24 h) e semanais (168 h). Espera-se que o relatório apresente uma análise quantitativa dos principais picos de consumo, indicando horários e possíveis causas (por exemplo, uso de chuveiro elétrico ou preparo de refeições). Além disso, deve-se identificar e justificar eventuais *outliers*, como valores excessivos causados por leituras incorretas ou por eventos excepcionais. Por fim, recomenda-se avaliar a qualidade da decomposição ou da previsão de consumo utilizando métricas de erro como o MAE (Erro Absoluto Médio) e o RMSE (Raiz do Erro Quadrático Médio), comparando os resultados obtidos por diferentes métodos de filtragem ou modelagem. O trabalho deve incluir uma discussão sobre a relevância prática dessa análise para o monitoramento energético residencial e para políticas de eficiência energética.

## 9. Meteorologia: periodicidade e sazonalidade

**Dados** — Registros meteorológicos disponíveis no acervo da NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) por meio do conjunto *Global Historical Climatology Network*

---

<sup>11</sup>Limiar ajustado dinamicamente de acordo com o ruído médio do ambiente, evitando falsos positivos quando o ruído de fundo varia.

<sup>12</sup><https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/individual+household+electric+power+consumption>

(*GHCN*)<sup>13</sup>. O banco reúne medições históricas de temperatura média, máxima e mínima, além de umidade relativa, precipitação e outras variáveis atmosféricas coletadas em estações meteorológicas de todo o mundo. Os dados apresentam periodicidade diária e abrangem várias décadas, permitindo análises de longo prazo.

**Objetivo** — Investigar as periodicidades e padrões sazonais presentes em séries temporais meteorológicas, utilizando técnicas de análise espectral e modelos autorregressivos para descrever e prever variações climáticas de curto prazo. O projeto deve explorar como fenômenos cíclicos se manifestam no domínio da frequência e podem ser modelados por processos estocásticos simples.

O processamento inicia-se com a limpeza e interpolação dos dados, tratando lacunas e eventuais medições inconsistentes. Em seguida, o sinal deve ser decomposto em componentes lentas e rápidas, seja por filtragem digital ou pela Transformada Rápida de Fourier (FFT), a fim de identificar picos no espectro que correspondam a ciclos naturais (por exemplo, um pico dominante em torno de 1/365 ciclos por dia representa a periodicidade anual). Além disso, pode-se aplicar a análise de autocorrelação e de densidade espectral de potência (PSD) para confirmar a presença de padrões regulares.

Na modelagem temporal, sugere-se o uso de modelos autorregressivos (AR) de baixa ordem, que descrevem cada valor da série como combinação linear de observações anteriores. Essa abordagem permite capturar a dependência temporal e gerar previsões de curto prazo (por exemplo, estimar a temperatura média da próxima semana a partir dos últimos 30 dias). A validação do modelo deve incluir divisão entre dados de treino e teste, análise do erro residual e discussão sobre a adequação da ordem do modelo.

**Resultados esperados** — Gráficos espectrais evidenciando os picos sazonais principais, curvas de autocorrelação confirmando periodicidade e séries reconstruídas a partir dos componentes dominantes. O relatório deve incluir o ajuste de um modelo AR simples, com parâmetros estimados e análise do erro fora da amostra (RMSE ou MAE). Espera-se também uma previsão de curto prazo acompanhada de seu intervalo de confiança e uma discussão qualitativa sobre fatores externos que possam influenciar os resultados.

## 10. Cancelamento de ruído com LMS

**Dados** — Gravações de fala contaminadas por ruído ambiente e um canal adicional de referência contendo predominantemente o ruído a ser cancelado. Esses sinais podem ser obtidos de bases públicas (como o *NOIZEUS Speech Corpus*) ou gravados pelos próprios alunos, utilizando dois microfones: um posicionado próximo à fonte de voz e outro voltado para a fonte de ruído. O conjunto de dados deve conter amostras de voz com ruídos realistas, como ventiladores, motores ou conversas de fundo, permitindo observar claramente a interferência sonora.

**Objetivo** — Implementar e analisar um sistema de cancelamento de ruído baseado em filtragem adaptativa, utilizando o algoritmo LMS (*Least Mean Squares*) como método de atualização dos coeficientes do filtro. O princípio do método é ajustar dinamicamente os coeficientes de um filtro digital de forma a minimizar o erro entre o sinal de saída e um sinal de referência desejado. Em um cenário típico de cancelamento de ruído, o sinal de entrada (voz + ruído) é comparado com o sinal de ruído de referência, e o filtro LMS busca gerar uma estimativa do ruído presente na fala. Subtraindo essa estimativa do sinal contaminado, obtém-se uma versão limpa do áudio. O algoritmo LMS atualiza iterativamente seus coeficientes a cada amostra, segundo a regra:

$$\mathbf{w}(n+1) = \mathbf{w}(n) + 2\mu e(n)\mathbf{x}(n)$$

onde  $\mathbf{w}(n)$  representa o vetor de coeficientes do filtro,  $\mu$  é o passo de adaptação,  $e(n)$  é o erro instantâneo (diferença entre o sinal desejado e a saída filtrada) e  $\mathbf{x}(n)$  é o vetor de entrada. Para fins de comparação, o grupo deve implementar também um filtro fixo de mesma ordem

---

<sup>13</sup><https://www.ncei.noaa.gov/products/land-based-station/global-historical-climatology-network-daily>

(por exemplo, FIR de coeficientes definidos previamente) e avaliar as diferenças em desempenho entre os dois métodos.

**Resultados esperados** — Gráficos da evolução temporal do erro  $e(n)$ , mostrando a curva de convergência do algoritmo LMS até atingir o regime estacionário, além da análise do impacto do parâmetro de passo  $\mu$  na velocidade e estabilidade da convergência. Espera-se a apresentação do SNR (relação sinal-ruído) na entrada e na saída, demonstrando o ganho obtido pelo filtro adaptativo. Devem ser incluídos espectrogramas comparativos dos sinais original, contaminado e filtrado, evidenciando a atenuação das componentes de ruído no domínio tempo-frequência.

O relatório deve ainda conter uma análise qualitativa da inteligibilidade da fala resultante. Recomenda-se testar diferentes ordens do filtro para observar como o número de coeficientes influencia a qualidade da supressão de ruído.