

PTC3451 – Processamento Estatístico e Adaptativo de Sinais | EPUSP
P1 - Questão Computacional – 09/10/2021

Nome: Vinicius Bueno de Moraes

NUSP: 10256432

Scripts .m utilizados para as resoluções, arquivos de entrada e arquivos de resultado, constam [aqui](#).

Primeiramente, utilizando vários testes e conceitos teóricos, **se notou que o melhor resultado foi atingido com o algoritmo NLMS**, e em segundo lugar, com o *LMS*, visto que a estimativa instantânea do gradiente, que esses usam, facilita o Algoritmo acompanhar as variações abruptas do sinal, como ocorre na voz (Algoritmos do Gradiente Estocástico). A solução de *Wiener*, devido a não estacionaridade do sinal analisado - \mathbf{R} não sendo constante, não se comportou bem, como esperado, assim como o Algoritmo de *Steepest Descent*.

De toda maneira, se executou os 4 algoritmos, como segue no *script*, para comprovar as resoluções teóricas que foram aplicadas. Primeiramente, para um valor ótimo do Passo de Adaptação (μ) para o *NLMS* e o *LMS*, dados por:

$$\text{LMS} \rightarrow 0 < \mu < \frac{2}{\lambda_{\max}} \rightarrow \text{Optando por } \mu = 0,01$$

$$\text{NLMS} \rightarrow 0 < \mu < 2 \rightarrow \text{Optando por } \mu = 2$$

Em ambos os casos, optando-se por escolher o limite máximo do Passo de Adaptação (μ) (não estacionaridade – melhorando resultados do filtro com sua “velocidade de transição”), se obteve a melhor solução. É notável que poderia se experimentar valores de μ para que os dois algoritmos convergissem para o mesmo patamar, mas se desconsiderou este caso na resolução deste, buscando-se alcançar o melhor de cada solução, apenas. Ademais, a mudança do Passo de Adaptação empregado ao algoritmo de *Steepest Descent*, pouca melhora causou ao resultado final do mesmo – como esperado teoricamente. Abaixo, segue um comparativo das Soluções, sempre usando o Passo de Adaptação escolhido para os melhores algoritmos (*NLMS* e *LMS*) e para três

valores de M distintos 200, 400 e 800 (escolhido ideal em função do período de amostragem do sinal – atraso entre eles).

Abaixo, nota-se que o atraso é de aproximadamente 800 amostras, fazendo se escolher o M ideal em torno disso.

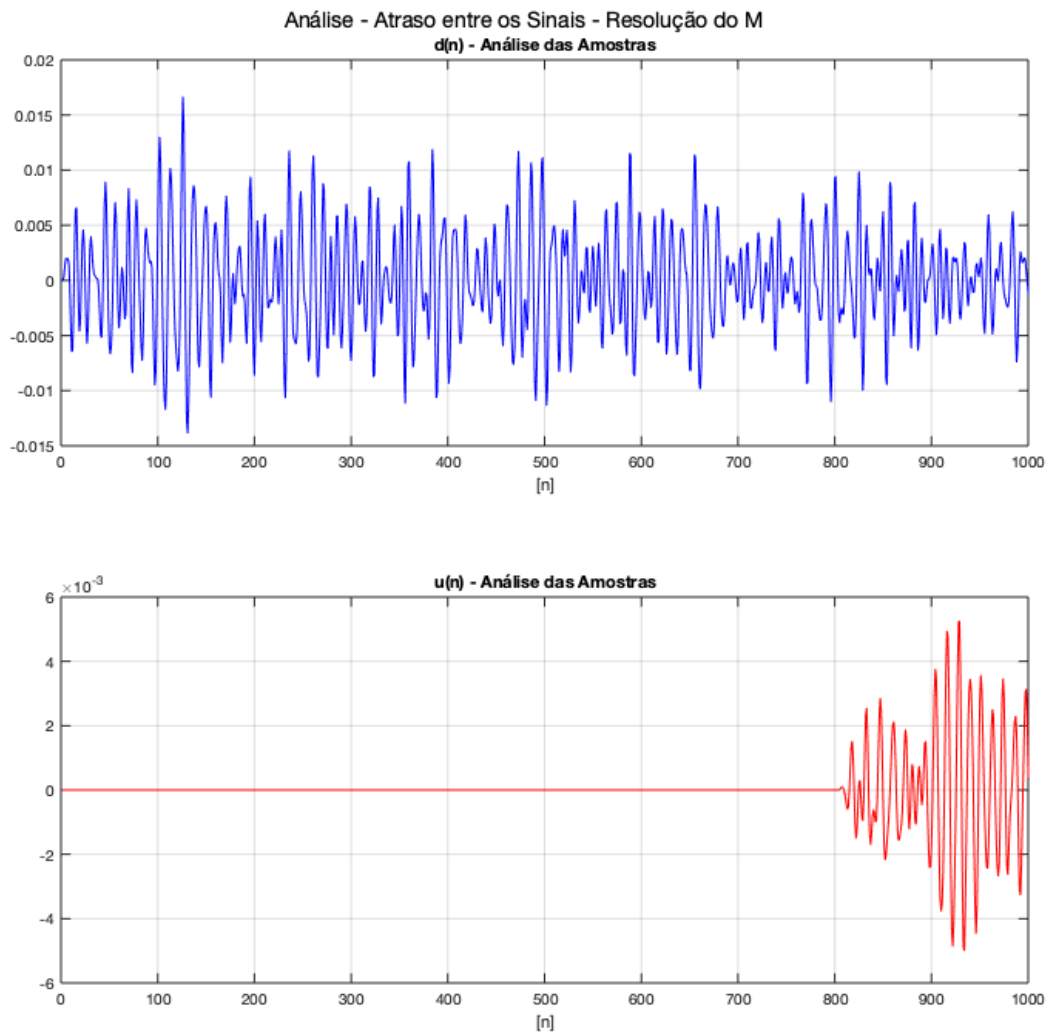


Figura 1. Atraso entre os Sinais Estudados.

No script também são calculados outros parâmetros, como variância dos sinais estudados, Passo Máximo de Adaptação dos Algoritmos e mais, que podem ser conferidos caso se tenha interesse.

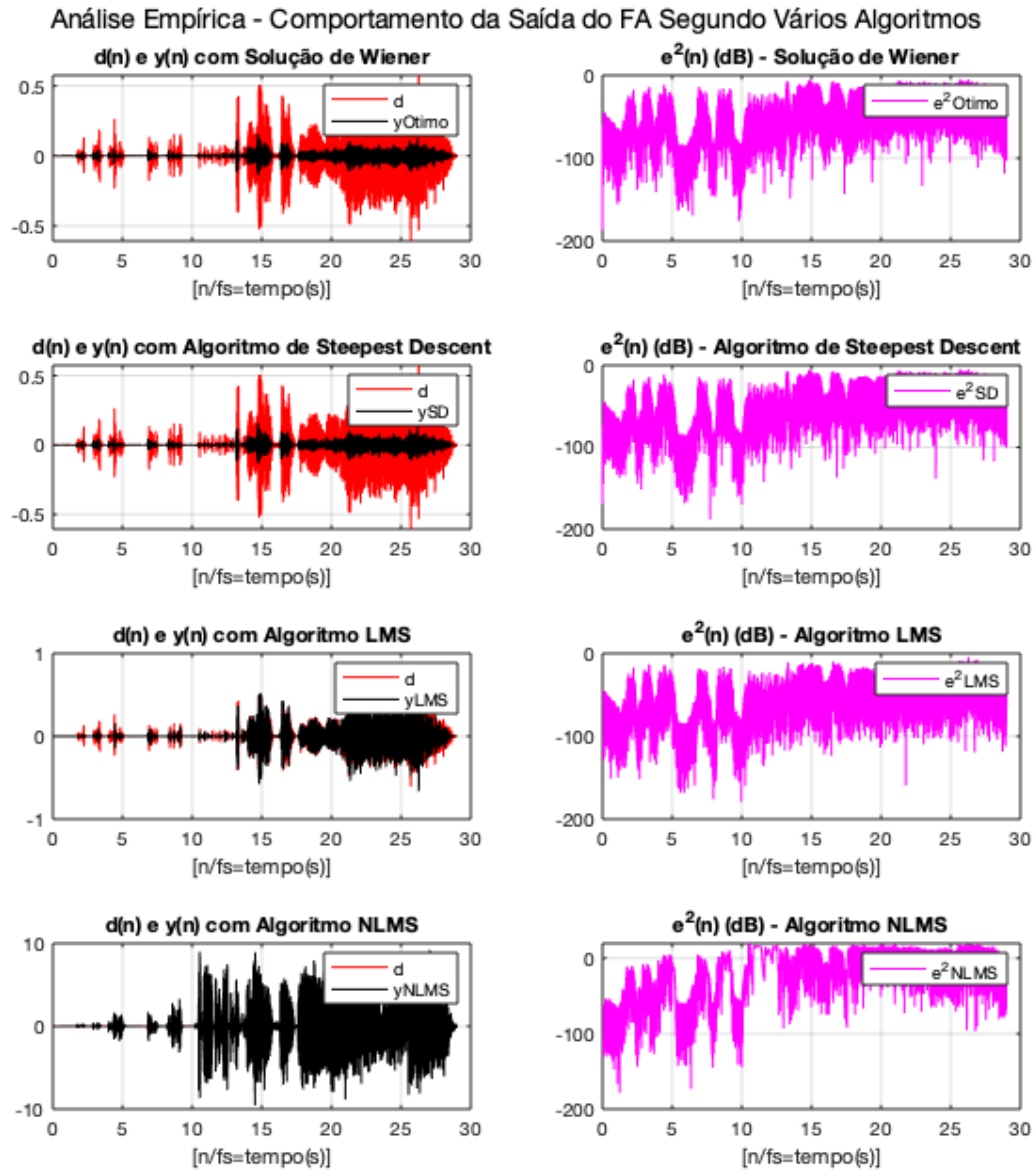


Figura 2. Comparação entre os Algoritmos Estudados - $M = 200$.

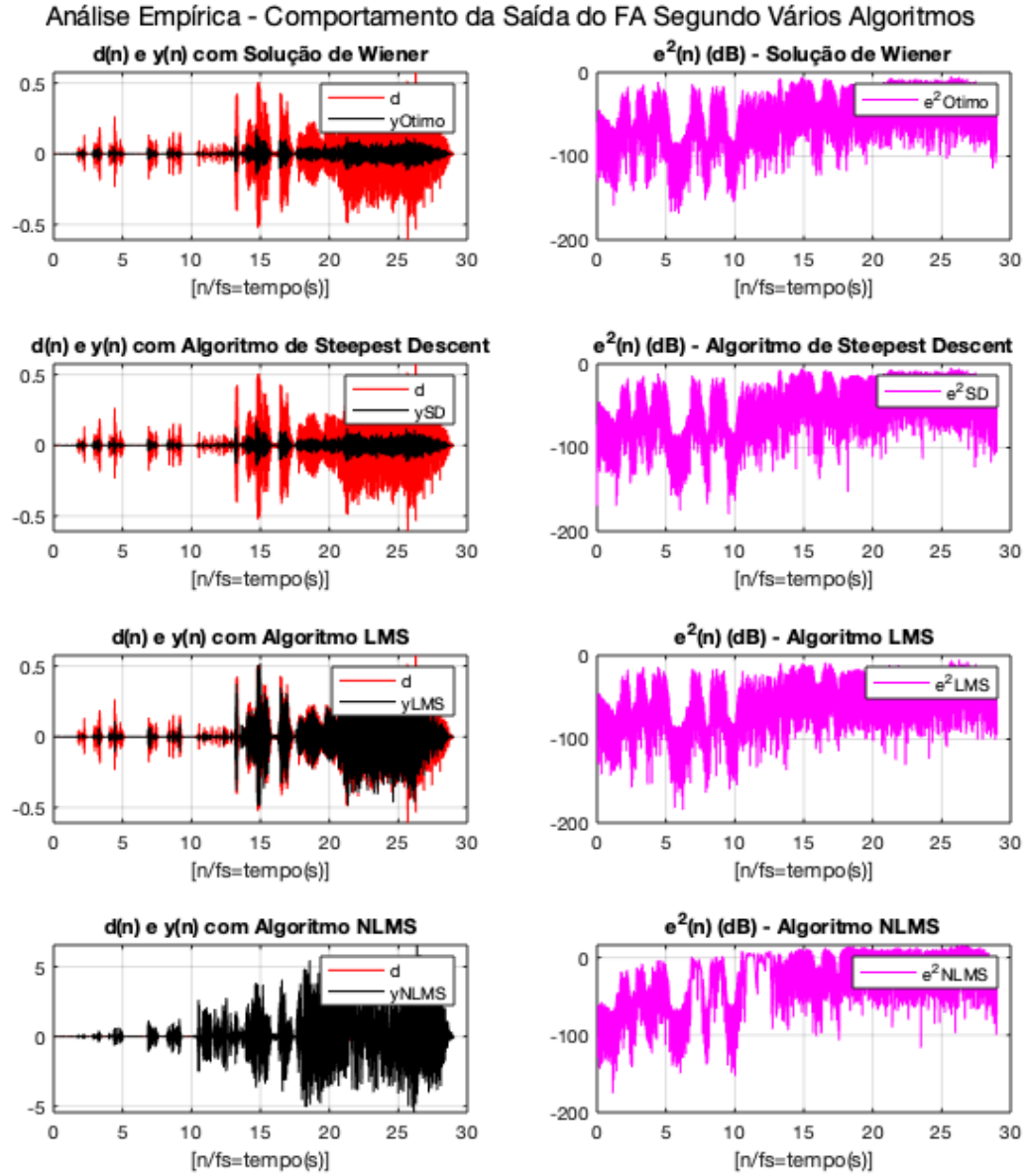


Figura 3. Comparação entre os Algoritmos Estudados - $M = 400$.

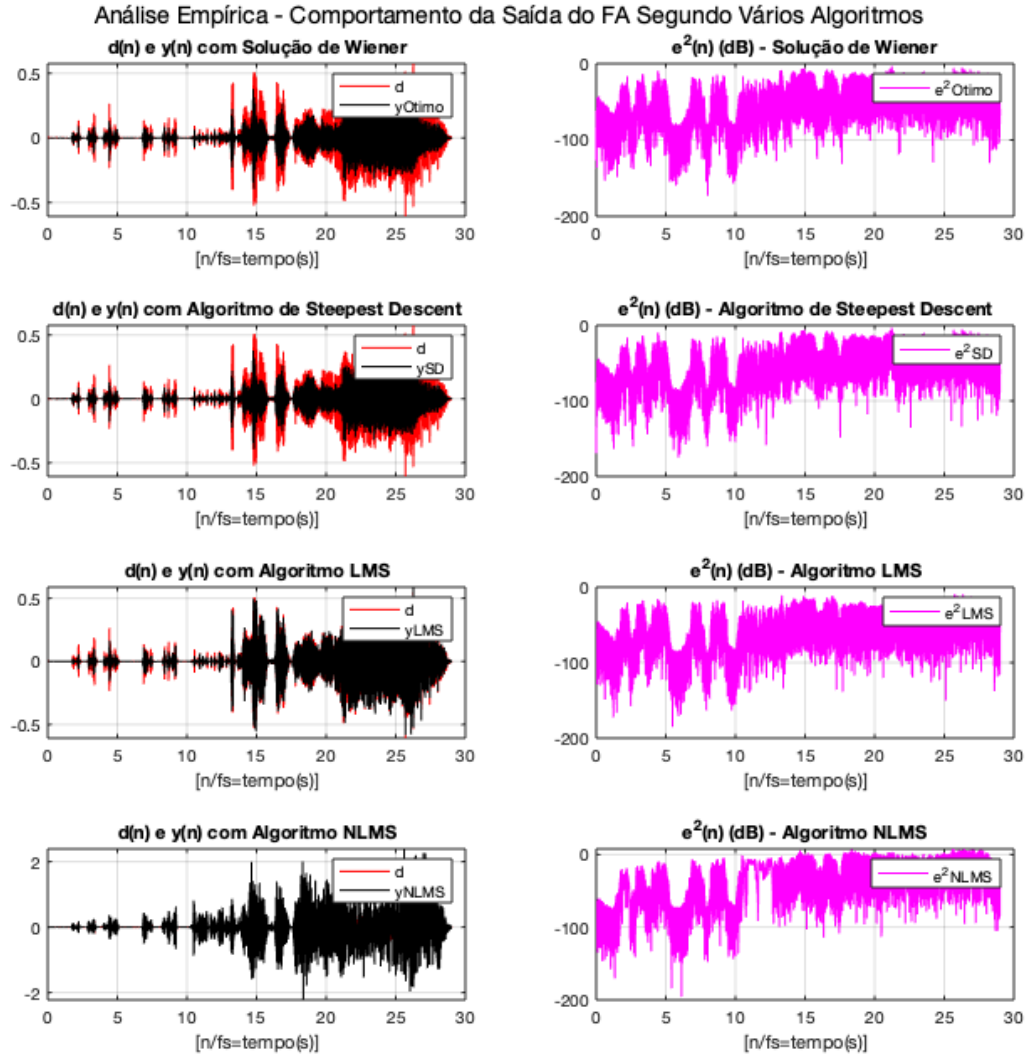


Figura 4. Comparação entre os Algoritmos Estudados - $M = 800$ (caso ideal).

Todas constatações feitas no introito deste, se mostram constatadas empiricamente.

Assim, com os dois Algoritmos que mostraram melhor solução (*NLMS* e *LMS*), utilizando seus Passos de Adaptação com melhor resultado, e, $M = 800$, se comparou o sinal desejado $d(n)$ com a saída do filtro em cada um dos casos, assim como se ilustrou o sinal da entrada $u(n)$.

Análise - Sinal de Entrada $u(n)$ e saída $d(n)$ comparada a Saída Resultante dos Algs. LMS e NLMS

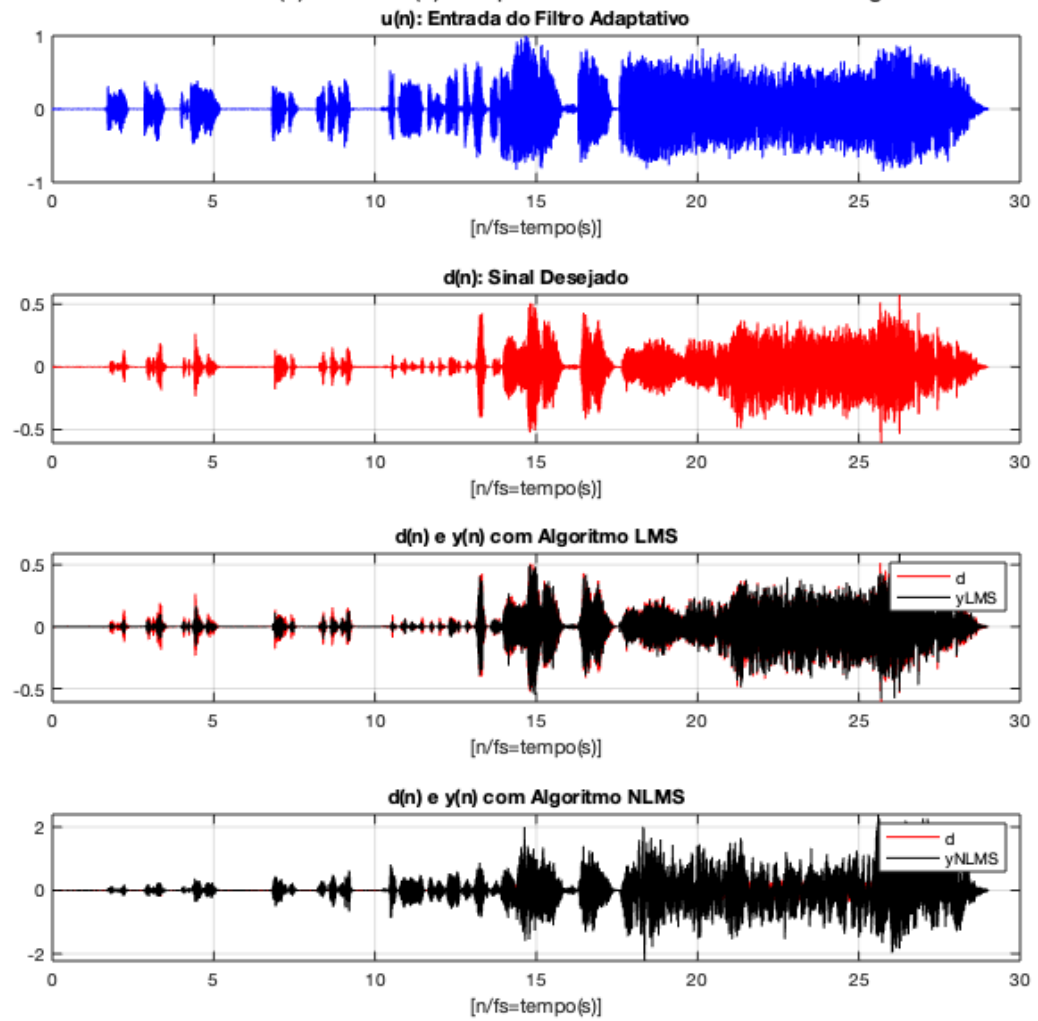
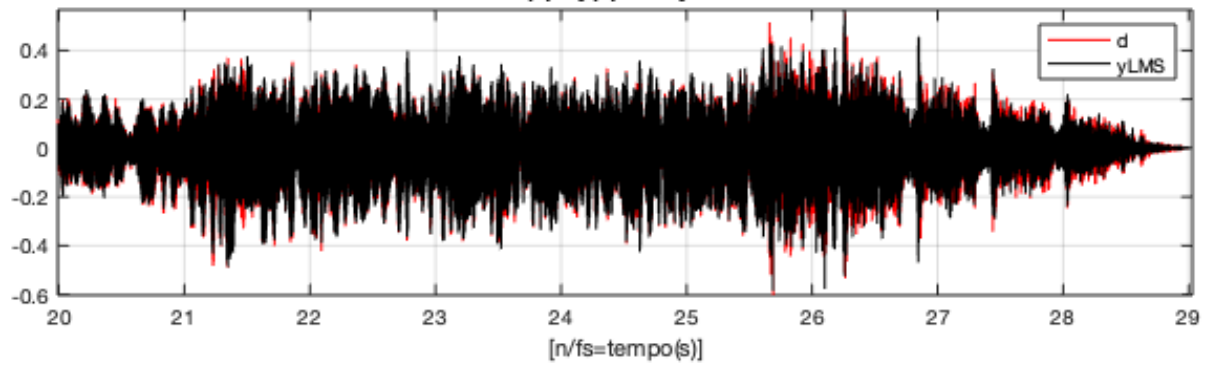


Figura 5. Sinais Estudados e Comparação com o resultado dos Algoritmos escolhidos para simulação (NLMS e LMS).

Sinais Relevantes - Estudo do Comportamento do Erro Quadrático frente ao Alg. Escolhido
d(n) e y(n) com yLMS



d(n) e y(n) com yNLMS

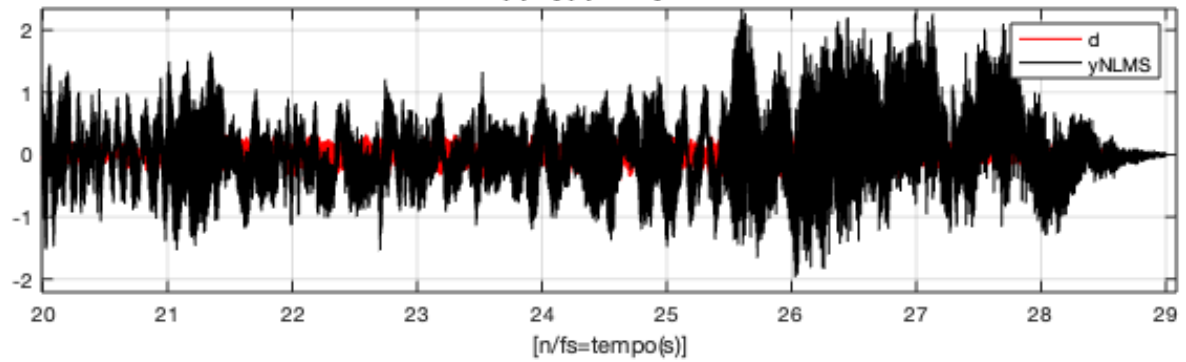


Figura 6. Parte final - Uma comparação do LMS com o NLMS nas amostras finais, explicitando melhor resultado no Segundo.

Por fim, comparou-se o Erro Quadrático do NLMS com o LMS, para quatro valores distintos do Passo de Adaptação de cada um deles e, $M = 800$, sendo:

- Caso 1_{solução intermediária 1} - $\mu_{LMS} = 0,001$ e $\mu_{NLMS} = 0,2$:

Sinais Relevantes - Estudo do Comportamento do Erro Quadrático frente ao Alg. Escolhido

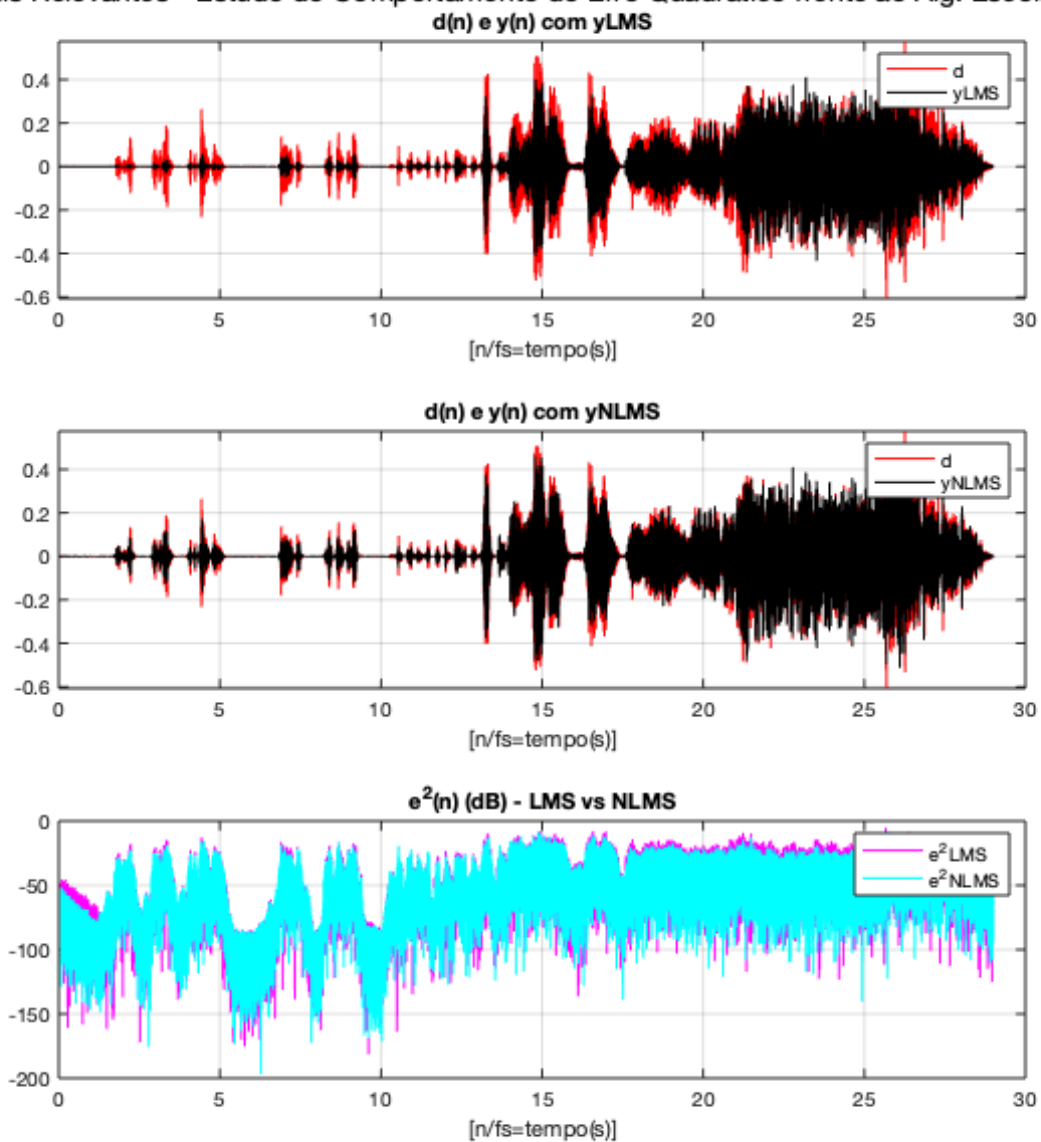
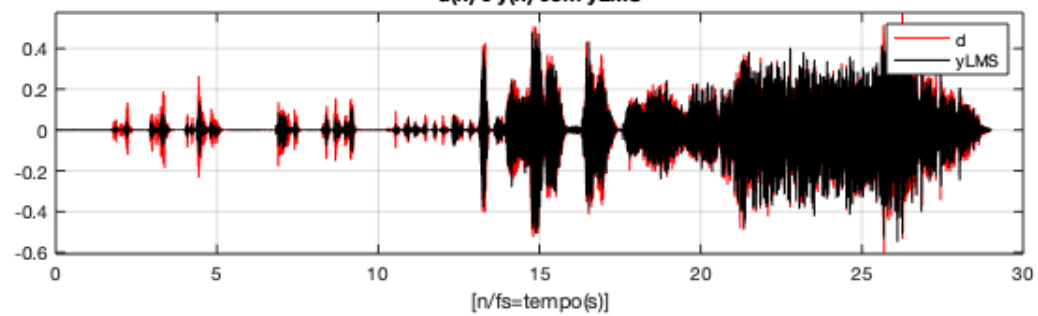


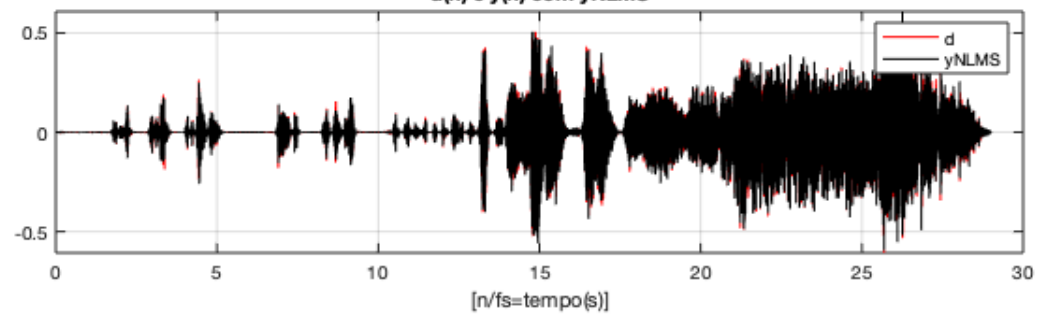
Figura 7. Simulação 1 - Diferentes valores de Passo de Adaptação para os Algoritmos escolhidos (NLMS e LMS).

- *Caso 2* solução intermediária 2 — $\mu_{LMS} = 0,005$ e $\mu_{NLMS} = 1$:

Sinais Relevantes - Estudo do Comportamento do Erro Quadrático frente ao Alg. Escolhido
d(n) e y(n) com yLMS



d(n) e y(n) com yNLMS



$e^2(n)$ (dB) - LMS vs NLMS

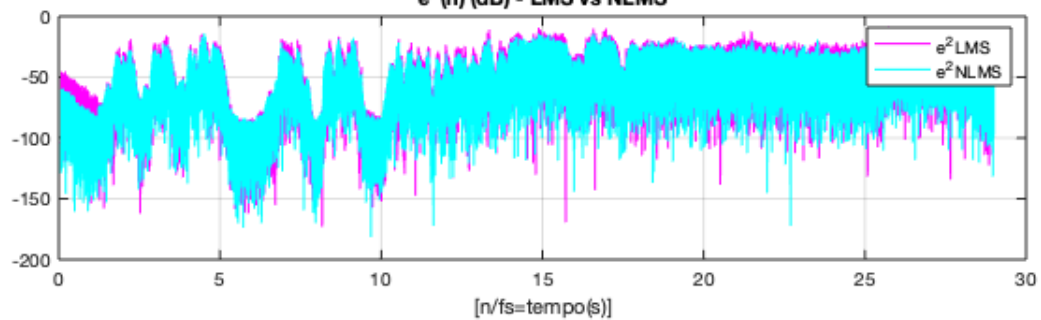


Figura 8. Simulação 2 - Diferentes valores de Passo de Adaptação para os Algoritmos escolhidos (NLMS e LMS).

- *Caso 3*_{desconvergência} — $\mu_{LMS} = 0,02$ e $\mu_{NLMS} = 2,5$:

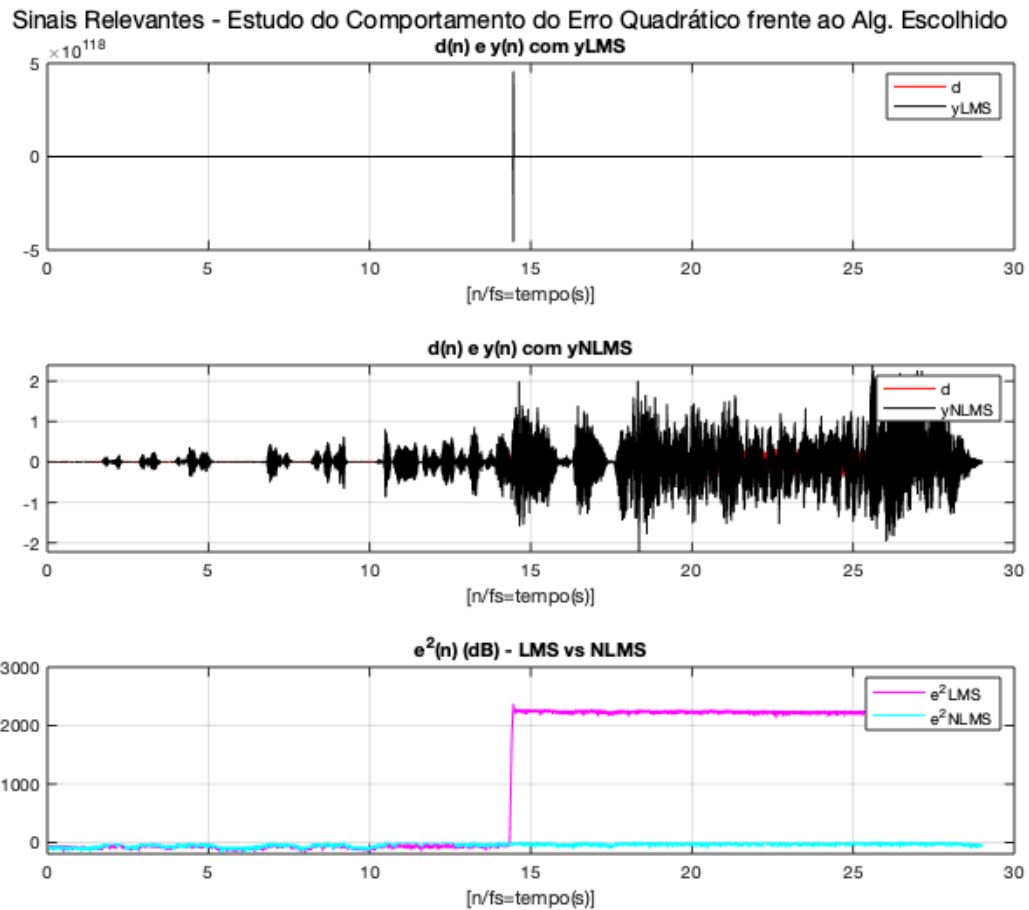
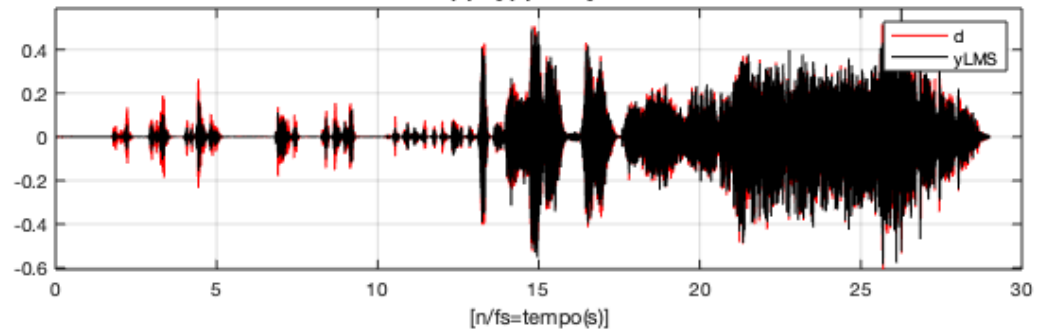


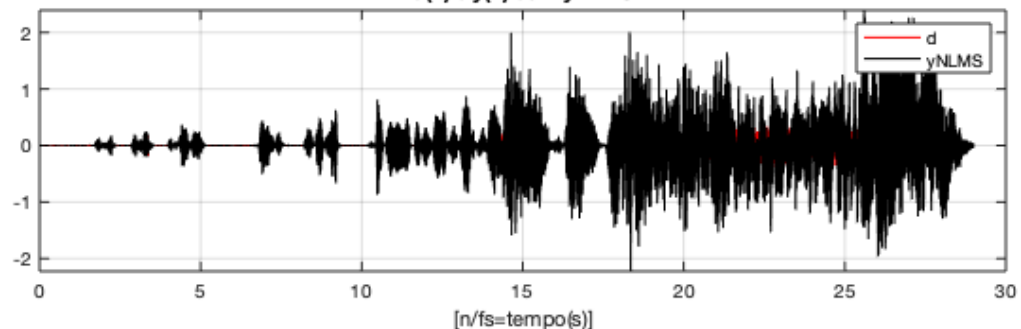
Figura 9. Simulação 3 - Diferentes valores de Passo de Adaptação para os Algoritmos escolhidos (NLMS e LMS).

- *Caso 4* melhor solução — $\mu_{LMS} = 0,01$ e $\mu_{NLMS} = 2$:

Sinais Relevantes - Estudo do Comportamento do Erro Quadrático frente ao Alg. Escolhido
 $d(n)$ e $y(n)$ com yLMS



$d(n)$ e $y(n)$ com yNLMS



$e^2(n)$ (dB) - LMS vs NLMS

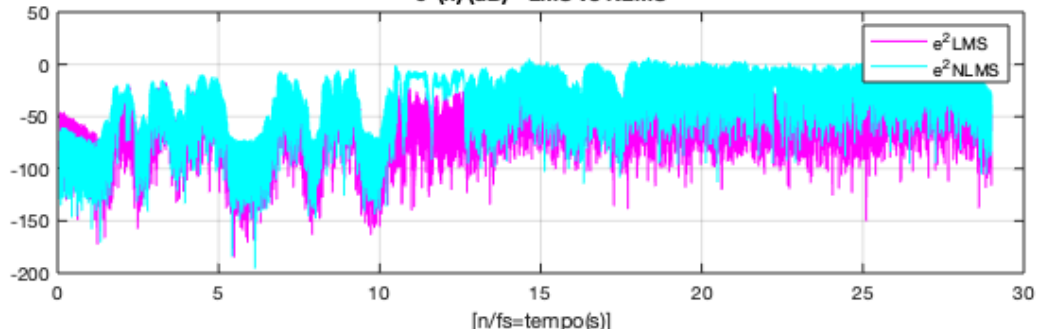


Figura 10. Simulação 4 - Diferentes valores de Passo de Adaptação para os Algoritmos escolhidos (NLMS e LMS).

Assim, notou-se que embora mudanças do Passo de Adaptação para perto do limite máximo, tornassem o resultado mais satisfatório, a melhora vista no NLMS se destoa com relação ao LMS, uma vez que nesse, μ aplicado perto do valor máximo, causou diminuição do erro significativa, como visto na imagem anterior. Também é clara a melhora do resultado com o passar do tempo, dado os tempos para os Algoritmos convergirem.

Como forma adicional de apreciar os resultados, se mostrou interessante escutar os sinais de Erro de todos os Algoritmos. Foi adicionado o arquivo “*transicaoPl.wav*” ao *script* para marcar o fim do Erro de um Algoritmo e início da execução de outro (é um simples tom de *beep*). O arquivo segue em anexo na pasta deste, e para pleno funcionamento, se deve conte-lo ao mesmo diretório de execução do *script*, bem como do sinal de entrada “*entradaPl.wav*” e desejado “*desejadoPl.wav*”.

Para os sinais estudados, de entrada, $u(n)$ - (clique no *Play* para escutar):



Desejado, $d(n)$:



E, Desejado + Entrada, $d(n) + u(n)$ - (o que se escutaria sem filtragem, a priori):



Se executou, na seguinte ordem (com $M = 800$ e *Melhores Passos de Adaptação*):

- Erro – Solução de *Wiener*;
- *Beep*;
- Erro – Algoritmo *Steepest Descent*;
- *Beep*;
- Erro – Algoritmo *LMS*;
- *Beep*;
- Erro – Algoritmo *NLMS*;

Os sinais de Erro, que podem ser escutados em sequência, clicando abaixo:



Nota-se que no Erro para os primeiros métodos, se é possível escutar boa parte da voz, o que é indesejado. Já para o *LMS* o Erro é bem menor, e com o *NLMS*, resultado ainda mais efetivo é alcançado, atestando tal eficácia da saída obtida frente o sinal de interesse. Por fim, se gerou um áudio com os Algoritmos sendo executados na mesma ordem, mas agora do resultado da Saída do Filtro Adaptativo. Segue abaixo:



Conclusões e comentários finais.

Neste se tratou acerca da escolha entre Algoritmos para aplicação em Problemas de Filtragem Adaptativa. Em grande parte, pode-se resumir que para analisar sinais não estacionários, como a voz, a Solução de *Wiener* e Algoritmos de Gradiente Exato, como *Steepest Descent* não são boas soluções, fato decorrente do modo como se constroem. Por outro lado, Algoritmos de Gradiente Estocástico, como o *NLMS*, *LMS*, *RLS* etc., que estimam seus gradientes instantaneamente, se mostram aderentes ao tipo de problema analisado, uma vez que seu modo de construção, permite que atenuações abruptas do sinal não se preponderem sobre a análise, causando erros maiores.