

# EAM – ELETRO ACÚSTICA MASS

## PROCESSAMENTO DIGITAL DE PA's II

Vitorio F. Massoni – EAM

Homero S. Silva – Selenium

[eam@eam.com.br](mailto:eam@eam.com.br)

Revisão: 22/09/2005

[homero@selenium.com.br](mailto:homero@selenium.com.br)

### Resumo

Este artigo detalha um método para ajuste de Caixas Acústicas com o uso de Processadores Digitais, também chamados de Gerenciadores de PA.

O presente método se aplica universalmente (com pequenas variações), sendo útil desde o ajuste de um Home Theater até o alinhamento de um sistema profissional multi vias, para shows de grande porte.

Serão aqui abordados conceitos técnicos de Filtros Passa Baixas, Passa Altas e Passa Faixa, em suas diferentes taxas de atenuação (shapes), rotação de fase em função da ordem dos filtros, e assuntos correlatos.

No Apêndice, é fornecido um breve glossário dos termos técnicos empregados.

Propositalmente, foi evitado o uso de fórmulas matemáticas complexas, dando-se preferência ao uso de recursos gráficos, para obtenção de um entendimento mais fácil da teoria, o que levará a resultados práticos e imediatos.

Espera-se que os leitores desejosos de aplicar os conhecimentos aqui explanados, sejam possuidores - ou tenham acesso - a um Analisador de Espectro de Áudio, hoje muito popular e de custo acessível que, sem dúvida, deveria fazer parte do set de equipamentos tanto dos técnicos instaladores de sistemas de som como das locadoras.

### Introdução

Em sistemas multi vias, é senso comum que um Crossover Eletrônico Analógico seja capaz de gerenciar as várias bandas de frequência de áudio, com exatidão, entregando uma resposta acústica plana.

Mas, muitos técnicos já tiveram a percepção de que isto não acontece, obrigando que sejam feitas correções com o uso de equalizadores gráficos ou paramétricos.

A partir desta constatação, e com o surgimento dos circuitos integrados denominados DSP (Digital Signal Processor) que fazem uma conversão ADA (analógica – digital - analógica), foi possível o desenvolvimento de muito mais que um simples Crossover de múltiplas vias. A técnica permitiu acrescentar em um único

aparelho inúmeras funções, que antes eram realizadas por vários equipamentos diferentes. Os primeiros aparelhos no mercado apresentavam uma resolução de 16 bits e uma frequência de amostragem de 16 KHz. Hoje eles alcançam 24 bits a 96 KHz. Isto permite a obtenção de uma qualidade de resposta quase comparável a dos sistemas analógicos.

Assim, Crossoveres, Compressores, Limitadores, Equalizadores Paramétricos e Gráficos, Linhas de Atraso múltiplas (delays) e outros recursos, hoje coexistem em um único periférico, que ocupa uma ou duas unidades de rack (4.4 ou 8.8 cm de altura).

Mas, uma das melhores coisas que os processadores digitais permitiram, foi fazer uma confortável “previsão do passado”. Isto é possível porque o sinal de entrada sofre um ligeiro e proposital atraso antes de chegar à saída, o que permite a tomada de decisões no processamento com toda a segurança. O atraso total é conhecido como latência e é tanto maior quanto mais processamento for inserido. Seu valor não é constante e varia também com a frequência que estiver sendo processada. A latência é ligeiramente maior em baixas frequências e no geral fica ao redor de 1.4ms.

Se, por um lado conseguiu-se uma poderosa solução para os problemas relativos ao ajuste de sistemas de som, em contra partida estamos diante de periféricos complexos, difíceis de serem configurados, exigindo mais conhecimentos técnicos dos operadores.

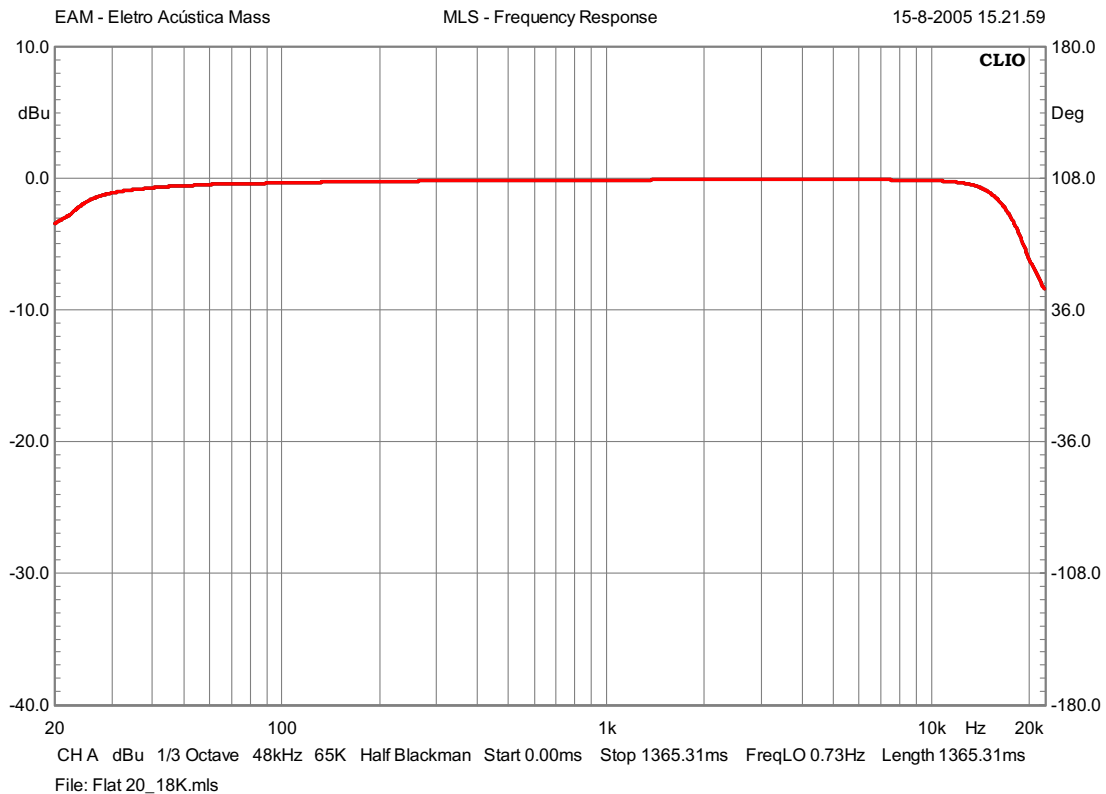
Além disso, passamos a necessitar de uma metodologia adequada para que possamos obter os resultados esperados.

Este artigo pretende explorar a funcionalidade dos Processadores Digitais e propor uma metodologia adequada para a obtenção dos resultados desejados, buscando assim excluir o empirismo que, embora possa levar a resultados aceitáveis, são difíceis de serem obtidos sistematicamente e consomem bastante tempo, exigindo muita experiência do operador e não pode ser descrito como método científico.

Esperamos que as informações aqui contidas possam ser úteis para todos os técnicos e operadores de áudio, tanto profissionais como amadores.

Recomendamos que estes procedimentos sejam meticulosamente executados, pois só assim estará garantida a obtenção dos resultados esperados.

## Curvas Elétricas Para Modelamento Acústico

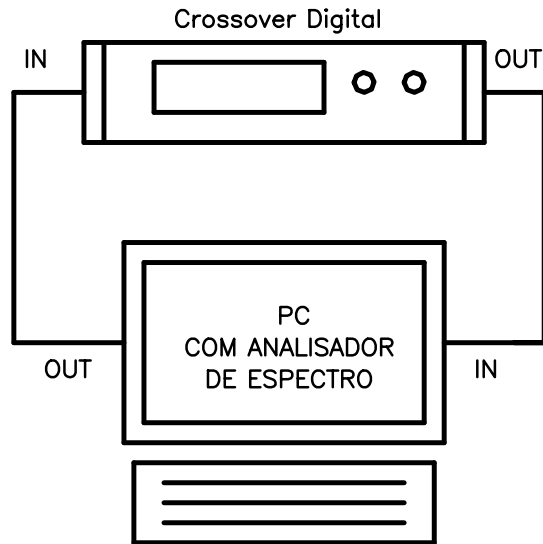


**Fig. 1 – Curva elétrica da resposta em frequência, de um sistema com filtros HPF em 20Hz, LPF em 18KHz (ambos do tipo Butterworth), com taxa de atenuação de 24dB/oitava.**

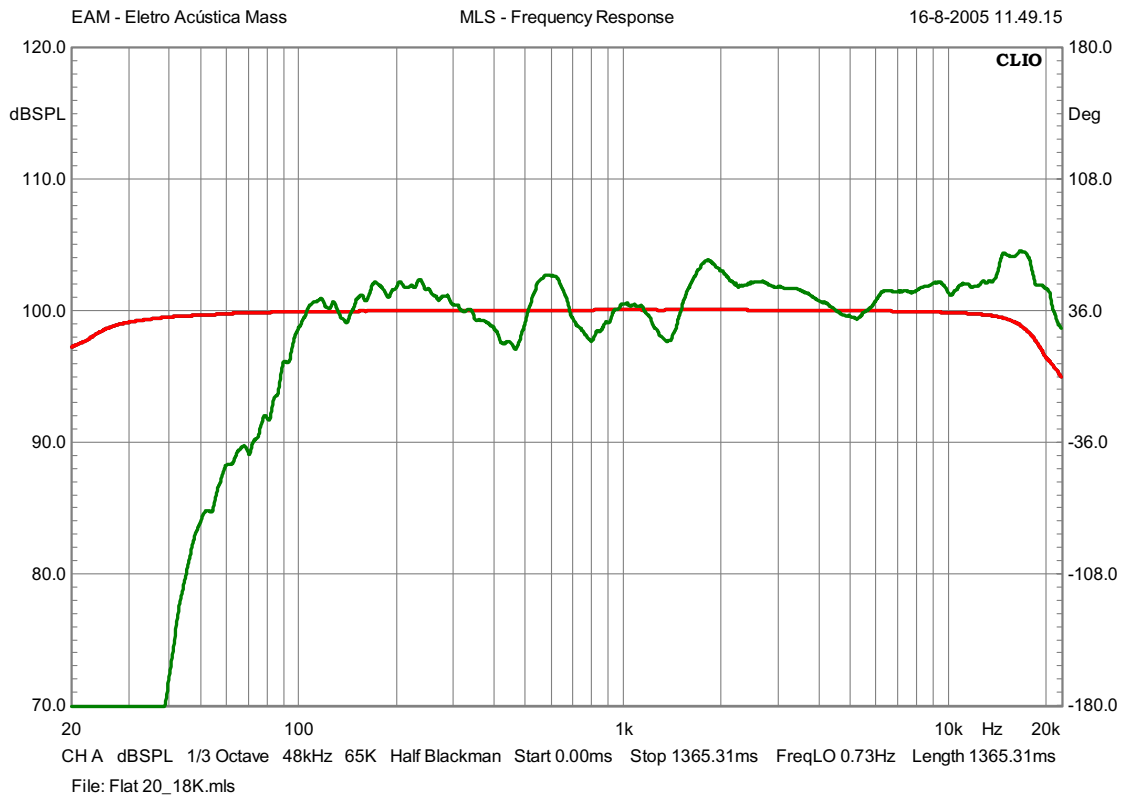
A Fig. 1 representa aquilo que normalmente se deseja em termos da resposta de um sistema de som, que é plana, dentro de toda a faixa audível.

Devemos notar que a unidade de medida é o dBu, tendo sido a resposta obtida na saída através de um Gerador de Ruído Rosa e de um Analisador de Espectro de Áudio. Para isto, basta conectar a saída do Gerador à entrada do periférico, ligar a saída deste à entrada do Medidor, ajustar os níveis e efetuar a medição. Não é necessário o uso de microfone nesta etapa pois estamos medindo, apenas, resultados elétricos.

Os modernos Analisadores de Espectro, implementados com o uso de Computadores Pessoais, o popular PC, possuem não só o Analisador de Espectro, como também um Gerador de Funções de Áudio, que inclui ondas de diversos formatos, além dos ruídos rosa e branco.



**Fig. 2 – Configuração para obter o gráfico da Fig. 1.**



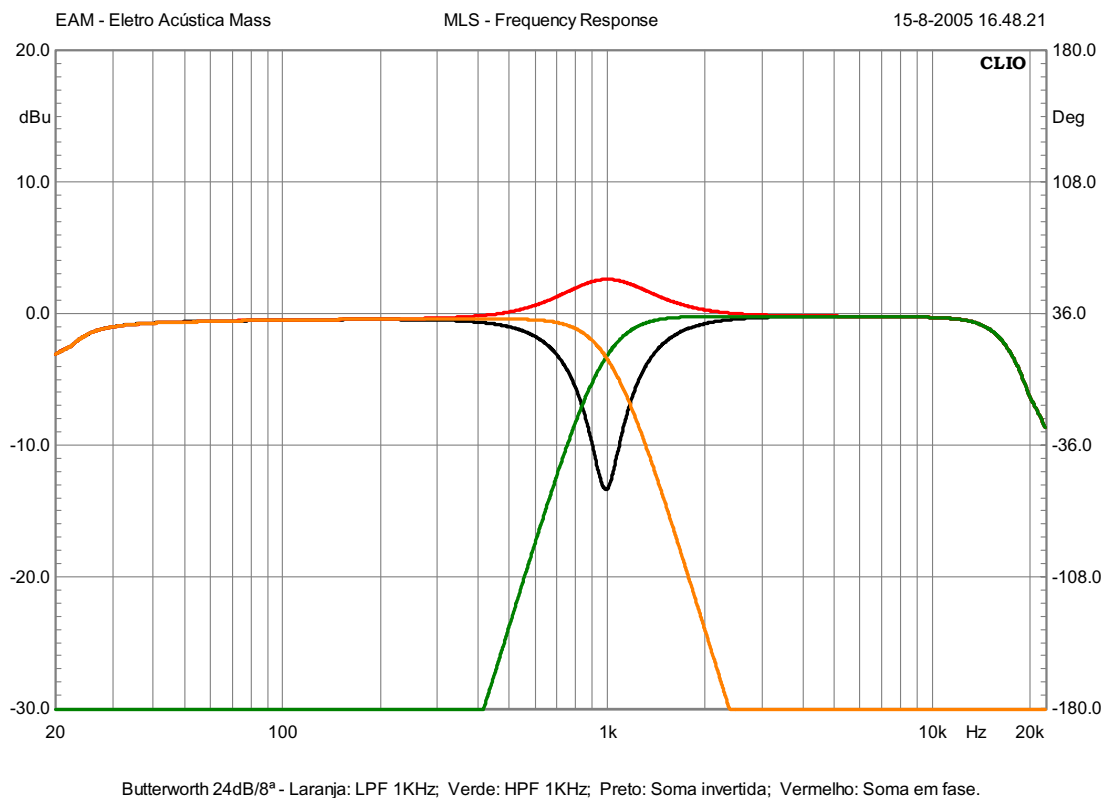
**Fig. 3 – Curva Acústica sobreposta à Elétrica.**

A Fig. 3 mostra o resultado de uma medição efetuada em uma caixa acústica de uma única via, sobreposta à resposta elétrica. Agora, a unidade de medida é o dB SPL, que mede o nível de pressão sonora. Uma análise rápida mostra várias irregularidades em relação ao modelo desejado. Na prática, esta resposta pode até ser considerada usável sem nenhuma correção. Nossos ouvidos são generosos a pequenas variações no nível de resposta.

Considerando a simplicidade do modelo, que é de apenas uma via, podemos imaginar que, quando estivermos diante de sistemas múltiplas vias, a resposta, provavelmente, conterà mais irregularidades.

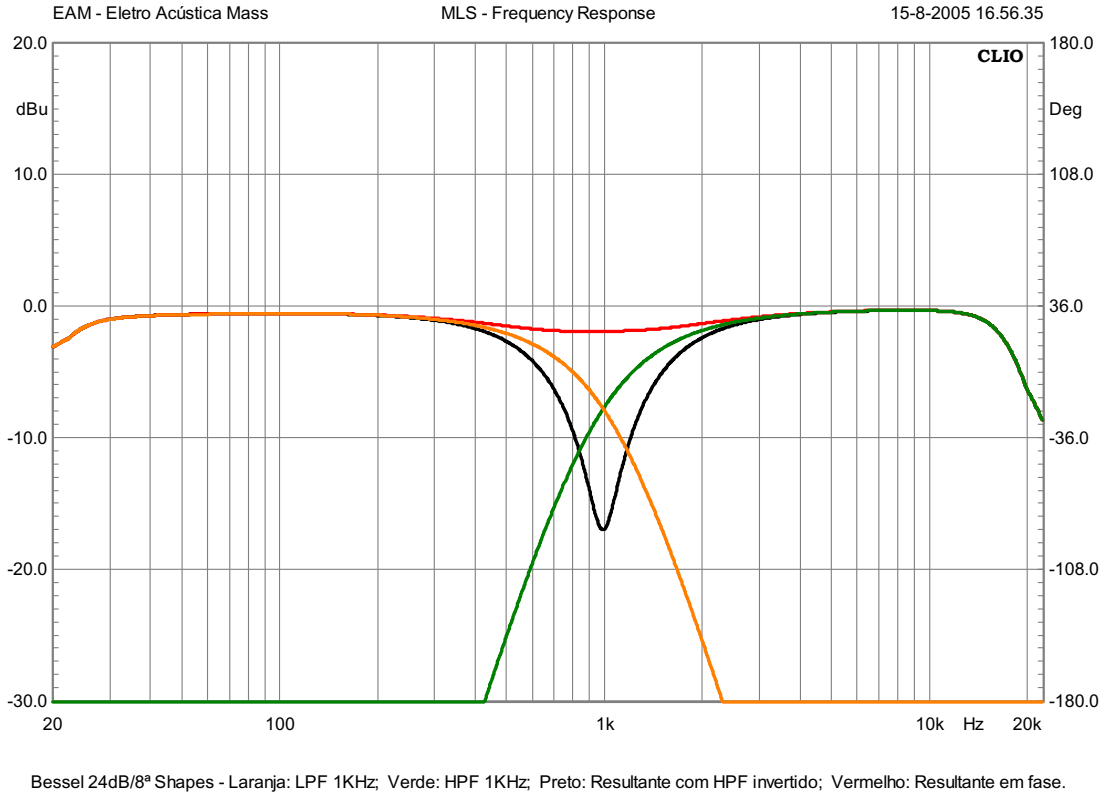
A esta altura já sabemos que vamos necessitar de modelos elétricos que nos permitirão visualizar se a resposta acústica total, ou aquela de uma de suas vias, está comportando-se dentro do esperado. Os modelos, também chamados de “target”, devem ser escolhidos de modo a servirem de guia para a obtenção da resposta mais plana possível do sistema.

A escolha de qual modelo elétrico deveremos utilizar será objeto da análise que se segue, onde visualizaremos diversos tipos de resposta disponíveis.

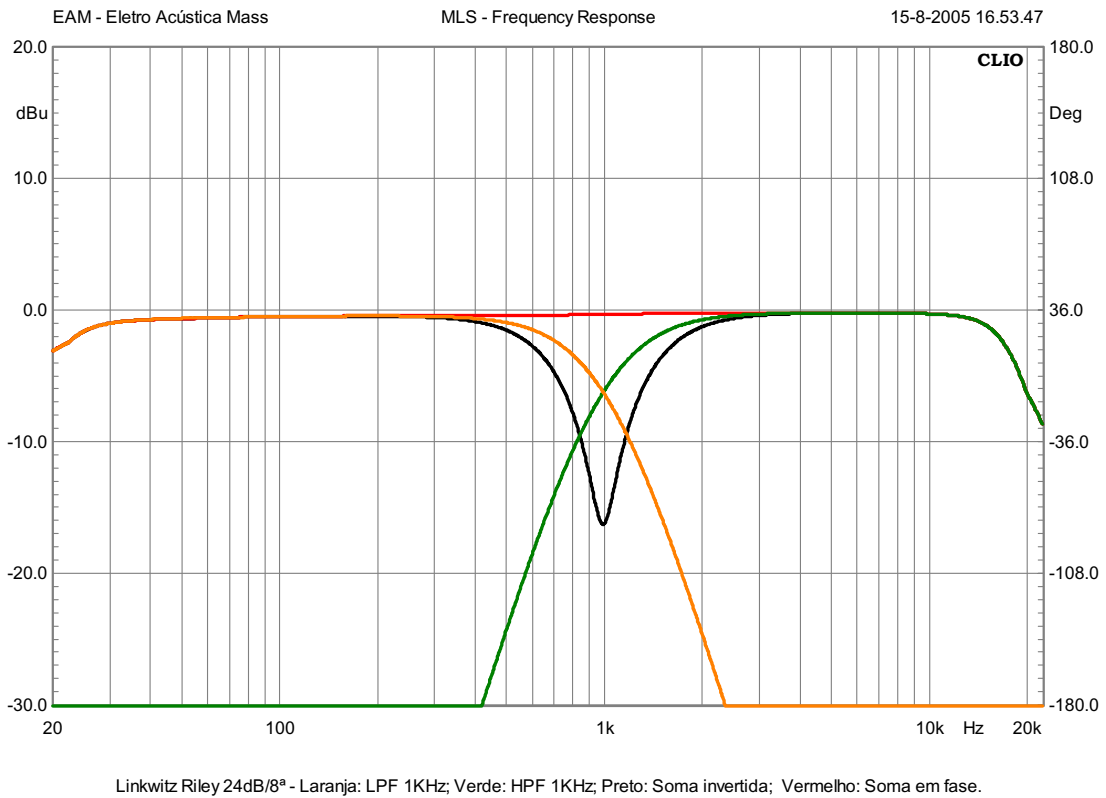


**Fig. 4 – Resposta Elétrica de um Crossover duas vias, com  $F_c = 1$  kHz, do tipo Butterworth com uma taxa de atenuação de 24dB/8ª.**

Se utilizarmos o modelo da Fig.4 para o ajuste de um sistema em duas vias, teremos como resultado um pico na região da frequência de transição.



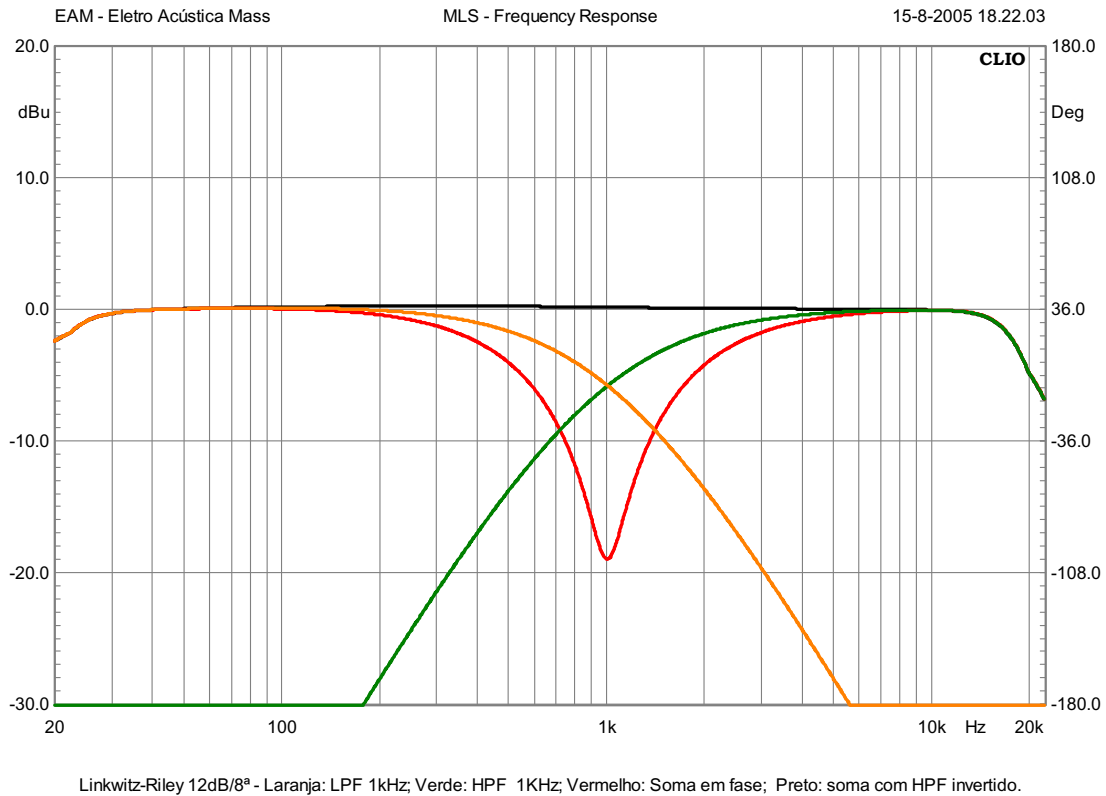
**Fig.5 - Resposta Elétrica de um Crossover em duas vias, com  $F_c = 1\text{kHz}$ , do tipo Bessel 24dB/8ª.**



**Fig. 6- Resposta Elétrica de um Crossover duas vias, com  $F_c = 1\text{kHz}$ , do tipo Linkwits-Riley, com taxa de atenuação de 24 dB/8ª.**

A utilização da resposta tipo Bessel, com taxa de atenuação de 24dB/8ª no mesmo crossover, resultou em um vale na região da frequência de transição, conforme a Fig. 5.

A Fig. 6 mostra a resultante do mesmo crossover, agora com uma resposta Linkwitz-Riley, com taxa de atenuação de 24dB/8ª. Ela é plana na região da frequência de transição. Isto acontece porque no ponto de cruzamento do LPF com HPF a atenuação é de exatos 6 dB. Como as curvas estão em fase, a soma de (-6dB) + (-6dB) resulta em zero dB.



**Fig.7 - Resposta Elétrica de um Crossover duas vias, com  $F_c = 1\text{kHz}$ , do tipo Linkwitz-Riley e taxa de atenuação de 12 dB/8ª. Laranja: LPF 1kHz; Verde: HPF 1kHz.**

Se a taxa de atenuação for alterada para 12dB/8ª, teremos a mesma resultante plana (curva em preto na Fig. 7), exceto que deveremos inverter a fase do HPF. Isto é necessário porque os filtros com 12 dB/8ª giram a fase de 180 graus. Assim, na condição sem inversão, teremos um vale pronunciado na frequência de transição, conforme a Fig. 7 (curva vermelha).

Muito embora os filtros com taxa de atenuação de 12dB/8ª não sejam muito utilizados em sistemas multi-vias, devido à excessiva superposição que permitem entre elas ao redor da frequência de corte, também levam a uma resposta plana. Entretanto, são muito comuns em crossovers passivos, dado seu baixo custo e os resultados aceitáveis que produzem.

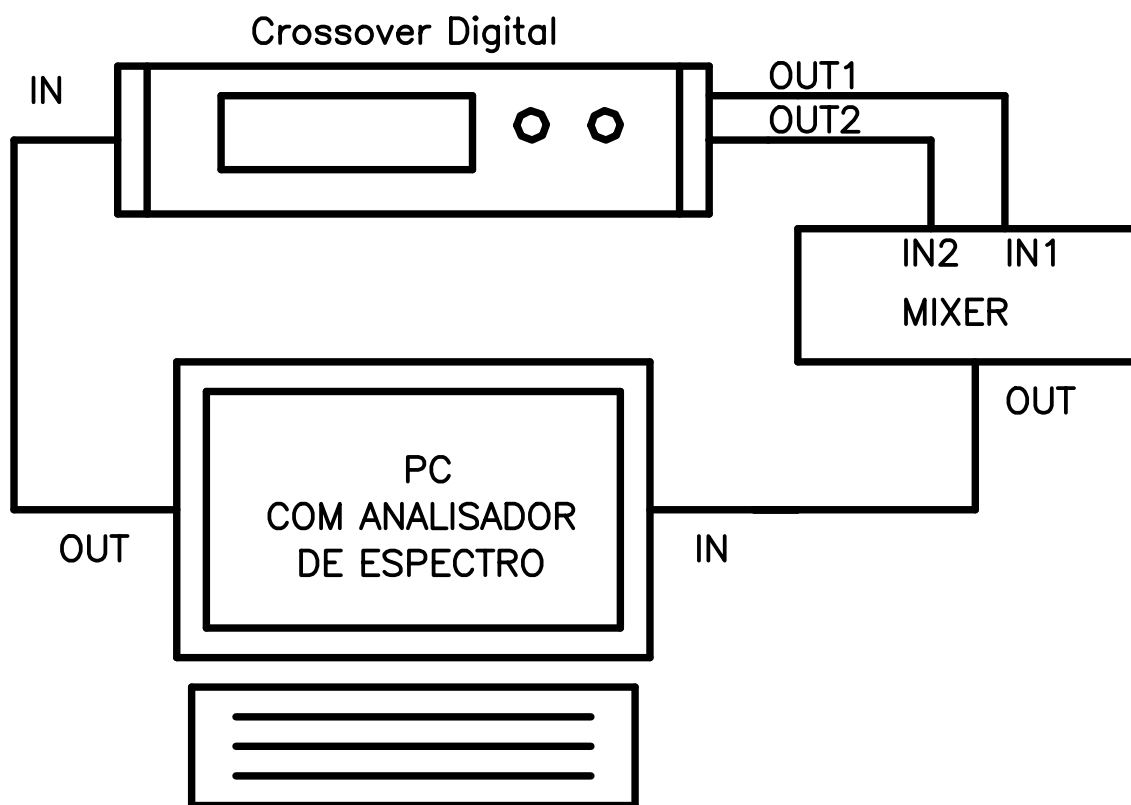
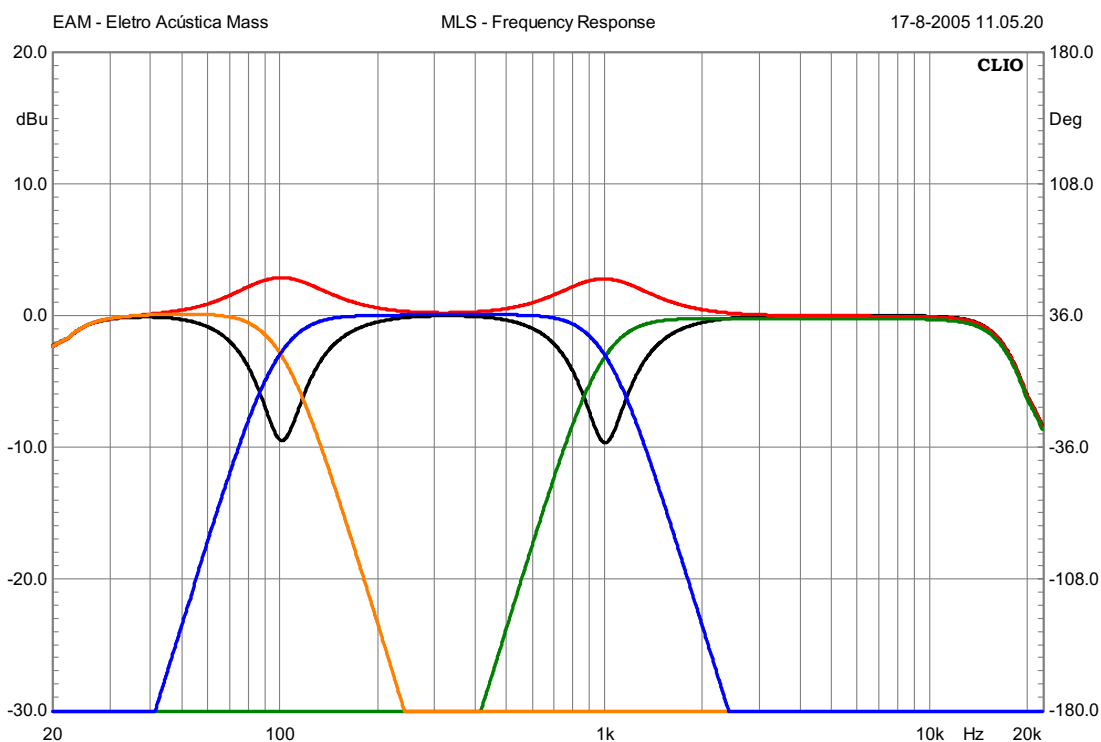


Fig. 8 – Configuração montada para obtenção das curvas elétricas das Fig. 4 a 7.

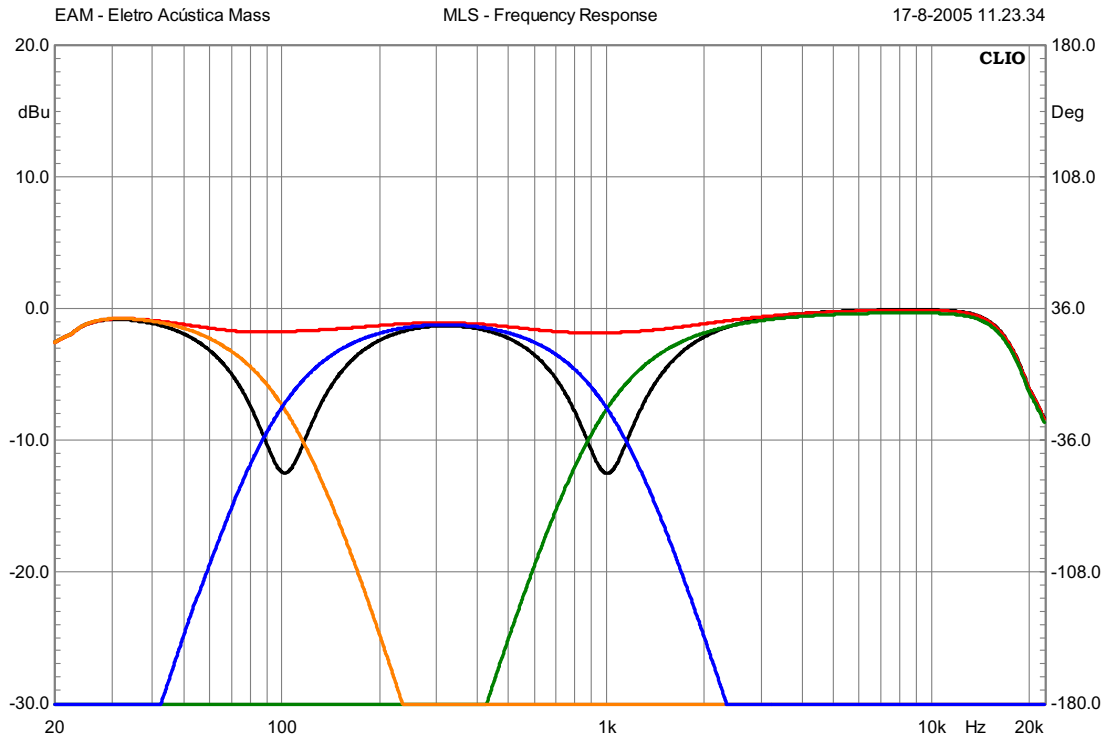
### **CROSSOVERES A 3 VIAS – Respostas Elétricas**



I/100/1K BUT 24 Laranja: LPF 100Hz; Azul: BPF 100Hz -1KHz; Verde: HPF 1KHz; Preto: Soma com fase invertida no BPF; Vermelho: Soma em

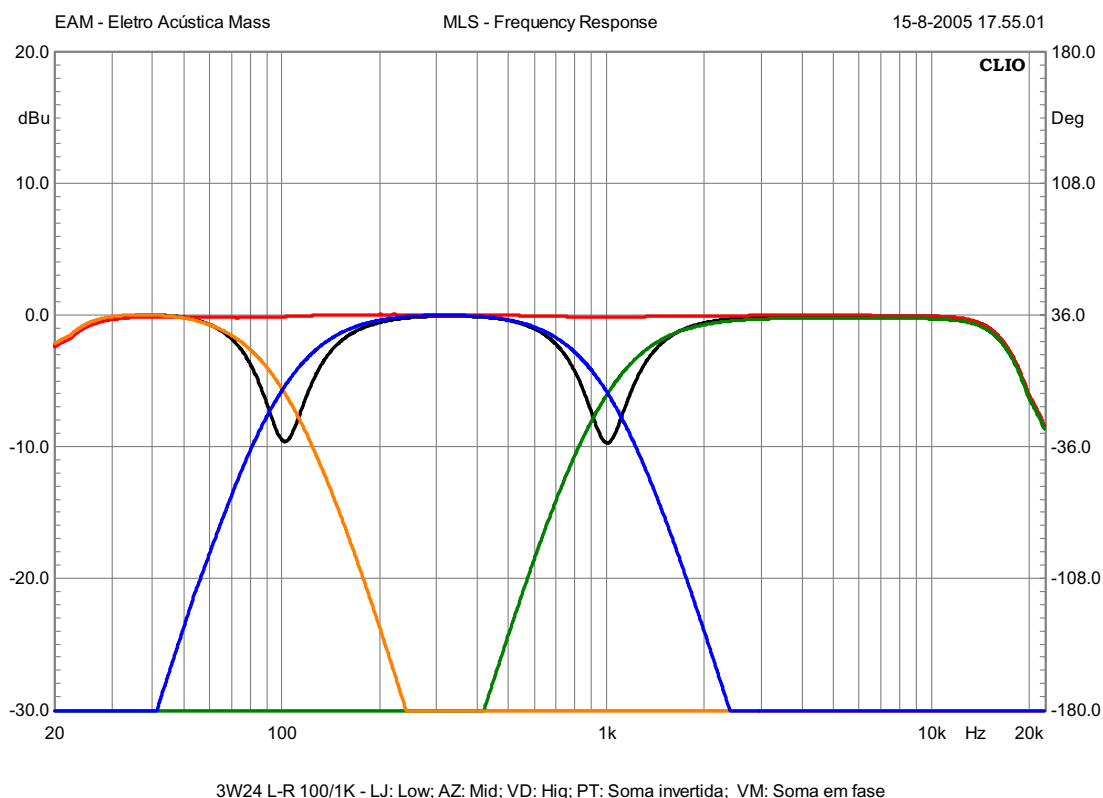
Fig. 9 - Resposta Elétrica de um Crossover de três vias, com frequências de corte iguais a 100 Hz e 1kHz, tipo Butterworth de 24 dB/8<sup>ª</sup>.

A Fig. 9 mostra a resposta elétrica de um Crossover de 3 vias com taxa de atenuação de  $24\text{dB}/8^{\text{a}}$ , tipo Butterworth. As extremidades continuam tendo filtros passa altas e passa baixa, respectivamente com os cortes em 20 Hz e 18kHz. A curva vermelha é a resultante da soma das curvas das duas vias, com frequências de corte em 100Hz e 1kHz. Os dois picos da curva mostram como seria a resposta acústica de nosso sistema se adotássemos este modelo elétrico. A curva preta mostra a resultante no caso de invertemos a fase da via do filtro passa faixas (BPF). Nenhuma das duas é ideal.



**Fig. 10 - Resposta Elétrica de um Crossover de três vias, com frequências de corte em 100 Hz e 1 kHz, do tipo Bessel, com taxa de atenuação de  $24\text{ dB}/8^{\text{a}}$ .**

A Fig. 10 mostra o mesmo Crossover, agora com uma resposta tipo Bessel, sendo a curva vermelha a resposta resultante, com as vias em fase. Os vales nas duas frequências de transição inviabilizam este modelo para obtenção de uma resposta plana. A curva preta é a resultante obtida com a inversão da fase da via do filtro passa banda (BPF).



**Fig. 11 - Resposta Elétrica de um Crossover de três vias, com os cortes em 100 Hz e 1 kHz, do tipo Linkwitz-Riley, com taxa de atenuação de 24 dB/8ª.**

Na Fig. 11, ainda o mesmo Crossover, desta vez com uma resposta do tipo Linkwitz-Riley. A resultante, em vermelho, é plana, indicando que este modelo é a melhor opção para moldar a resposta acústica do sistema.



Vistas parciais do Processador Digital Shure P4800 utilizado nos diversos ajustes. Note que não há controles no painel dianteiro e as conexões traseiras das oito saídas não são do tipo XRL. O produto é fornecido pela Pride Music, com os soquetes necessários. O acesso ao processamento só é possível via link com um PC.

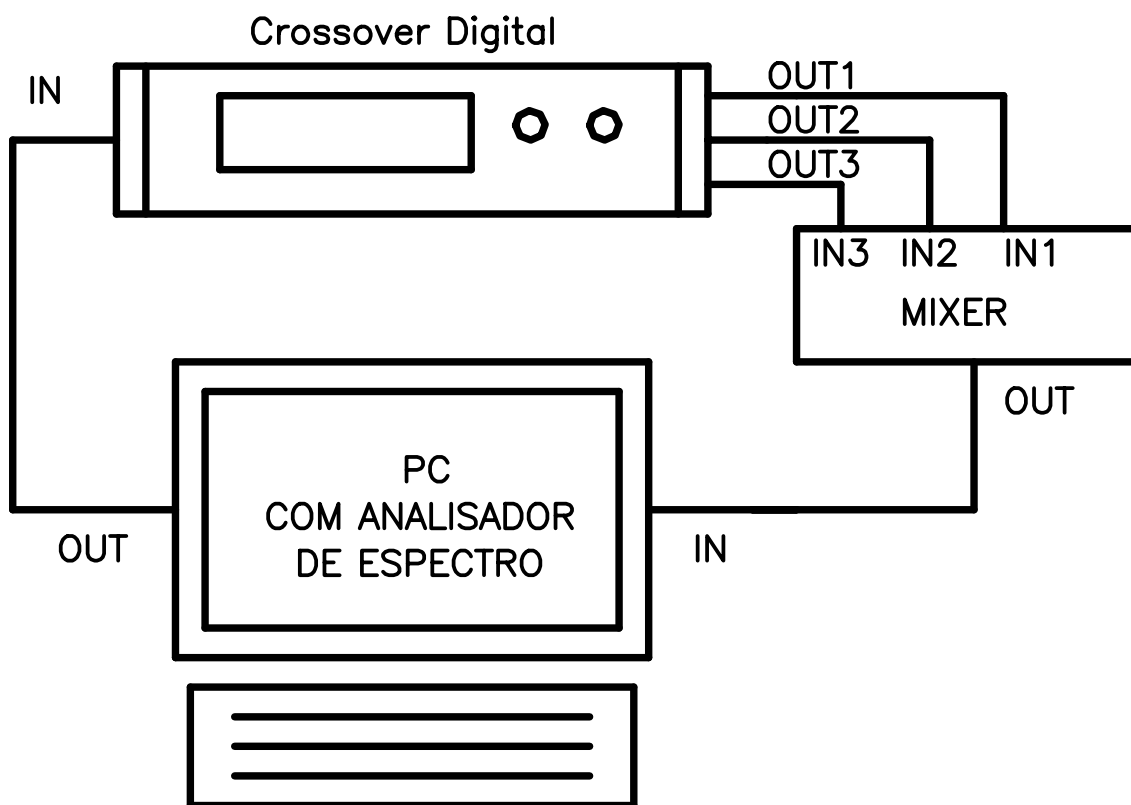


Fig. 12 – Configuração sugerida para obter as curvas das Fig. 9, 10 e 11.

## CROSSOVERES DE 4 OU MAIS VIAS – Respostas Elétricas

Os crossovers de quatro ou mais vias têm sua razão de ser com base nos seguintes fatos:

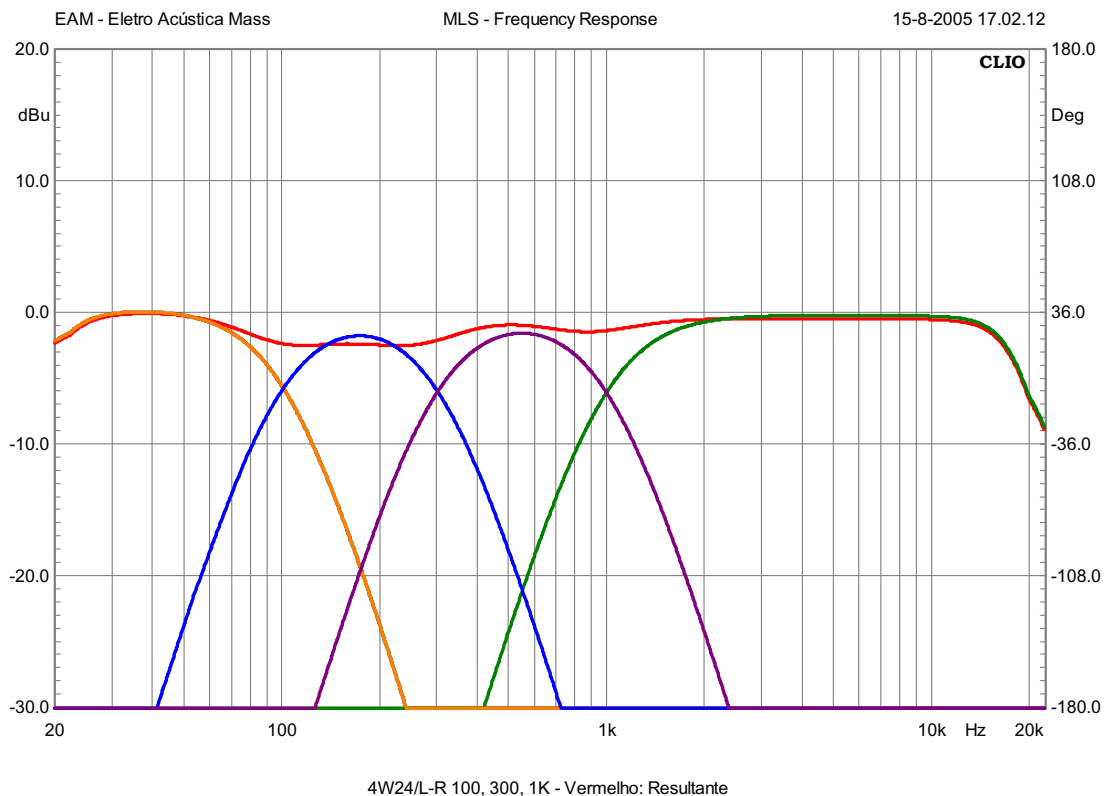
- 1 - Os alto-falantes de 18 polegadas em caixas do tipo sub woofer só possuem boa resposta até 120Hz.
- 2 - Os alto-falantes de 10 polegadas são excelentes para a reprodução de voz, mas podem não suportar os requisitos de potência e deslocamento do cone impostos pelas baixas frequências de corte usadas nos falantes de 18” .
- 3 - Os alto-falantes de 15 polegadas são ótimos para reforço de graves a partir de 100Hz, mas não têm um bom timbre nas vizinhanças da frequência de corte usada no driver de titânio.
- 4 - Uma banda de frequência mais estreita em cada via é melhor para um amplificador reproduzir, exigindo menos de suas fontes de alimentação.

Conclusão: Fazemos uma caixa acústica com uma quarta via, utilizando 18”, 15”, 10” e um driver de titânio para as médias e altas frequências.

Bem, uma coisa é imaginar e outra é realizar. Observando o comportamento de BPF (filtros passa faixa) adjacentes (quando um termina de responder, o outro começa), veremos que eles só produzem resposta plana se a largura de banda de cada BPF for igual ou maior que 10. Exemplo: BPF de 100 a 1000Hz ( $1000/100=10$ ), 120 a 1200Hz ( $1200/120=10$ ) e assim por diante.

Para a caixa de 4 vias proposta, as frequências de corte são, aproximadamente, 100, 300 e 1000 Hz. Portanto, numa razão menor que 10. Ao montar o modelo elétrico para ajustar o sistema de 4 vias, vemos que fica impossível obter uma resposta plana como resultante.

Neste ponto, descartamos os modelos Butterworth e Bessel por não satisfazerem a condição de resposta plana, passando a explorar apenas os do tipo Linkwitz-Riley.



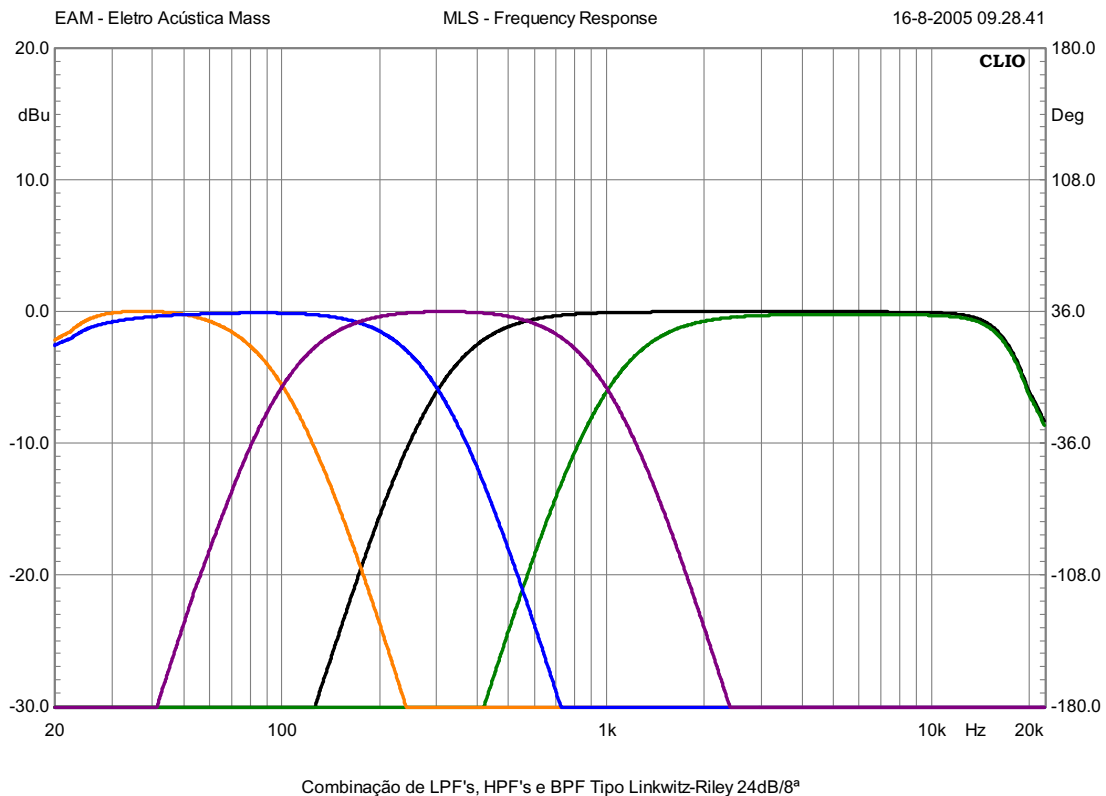
**Fig. 13 - Resposta Elétrica de um Crossover de quatro vias, com os cortes em 100 Hz, 300 Hz e 1 KHz, do tipo Linkwitz-Riley, com taxa de atenuação de 24 dB/8°.**

A Fig. 13 mostra as irregularidades que ocorrem quando as frequências de corte dos BPF estão muito próximas. A soma resultante, em vermelho, não é plana e, se usada como modelo, vai produzir resultados inadequados.

Muito embora a fase de cada HPF e LPF sofra uma rotação de 360 graus e, portanto em fase na resultante, a resposta não é plana. Também, os cruzamentos estão ocorrendo a -6dB. Isto não era a condição necessária para obter a resposta plana? Sem dúvida, mas as cristas dos filtros com razão menor que 10, não estão passando por zero dB.

Podemos então simplesmente aumentar o nível enviado ao Analisador de Espectro nas vias onde a amplitude máxima não atinge 0 dB? Não, e por um motivo lógico: os cruzamentos deixarão de acontecer a -6dB e a resposta, novamente, não será plana.

Como então obter um modelo adequado para o ajuste de cada via e assim obter a resposta desejada?



**Fig. 14 – Combinação de vários filtros Linkwitz-Riley 24dB/8ª para obter a transição em -6dB.  
Laranja: LPF 100Hz; Roxo: BPF 100 Hz – 1KHz; Azul: LPF 300Hz; Preto: HPF 300Hz;  
Verde: HPF 1KHz.**

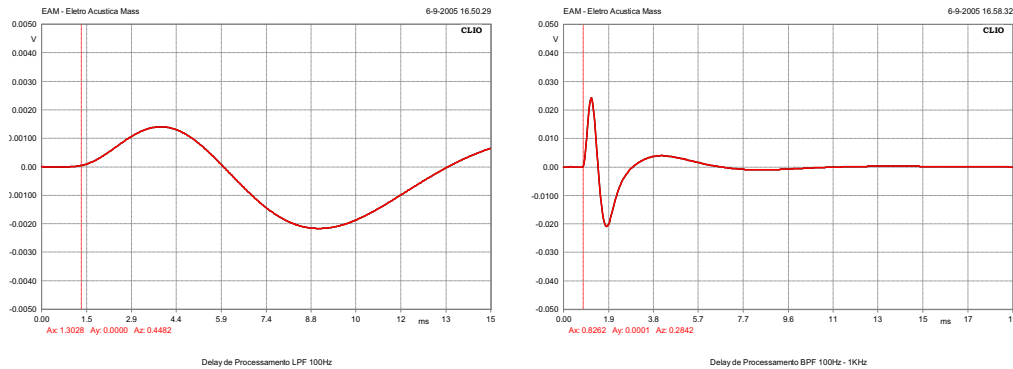
Para obter um modelo que produza resposta plana no sistema, utilizaremos um artifício, que só se tornou facilmente implementável com o uso de processadores digitais. Com eles podemos implementar qualquer curva, nos formatos mais utilizados em áudio. Basta plotar todos os modelos como LPF ou HPF, tal que fiquem adjacentes.

O gráfico da Fig. 14 é um exemplo, mas não apresenta a resultante da soma das vias. Ela não é possível de se obter neste artifício, uma vez que não estamos usando filtros adjacentes BPF. Mas nós a teremos quando ajustarmos nosso sistema de quatro vias, dado que o comportamento acústico do conjunto será como o de filtros BPF adjacentes.

A configuração necessária para obtermos as curvas elétricas representadas nos gráficos da Fig. 14 pode ser qualquer uma das já apresentadas. Utilizaremos apenas uma via de saída do processador, onde serão programados, sucessivamente, os filtros desejados, salvos em arquivo e plotados como “targets”.

Quando estivermos lidando com crossovers de até três vias, cujas frequências de transição estejam espaçadas por uma razão igual ou maior que 10, poderá ocorrer um efeito indesejável na curva resultante. Isto se deve à latência dos processadores digitais, que não é a mesma em todas as faixas de frequências.

Ao capturar a curva desejada, devemos verificar no Analisador de Espectro qual foi o delay causado por aquele filtro específico e introduzir a correção de tempo no processamento. Do contrário, mesmo estando os pontos de transição ocorrendo em -6dB, não obteremos uma resultante plana no modelo. A Fig. 15 mostra a comparação de atraso de tempo entre duas vias adjacentes.



**Fig. 15 – Comparação da latência ocorrida entre dois filtros adjacentes. Esquerda: LPF 100 HZ com 1,30 ms; Direita: BPF 100 a 300 Hz com 0,82 ms. Diferença = 0.48 ms.**

Entretanto, esta é uma questão que só necessita ser levada em consideração se desejarmos plotar a resultante. Para ajustarmos nosso sistema basta apenas ter os modelos ou “targets” dos filtros individuais.

Agora que já temos modelos a serem seguidos, podemos iniciar o ajuste dos sistemas que desejarmos. A criação de novos modelos, segundo a necessidade, segue os mesmos moldes apresentados. Eles agora devem ser criados com a unidade de medida dBSPL, para que os “targets” possam ser comparados na mesma escala da leitura com microfone. Para isto basta mudar, no set do Analisador de Espectro, a unidade de medida de dBu para dBSPL. Criam-se então as famílias de curvas desejadas, salvando-as em disco para uso posterior.

## A TEORIA, NA PRÁTICA

Para utilizar o método proposto de ajuste de PA's, processaremos quatro tipos de configurações:

- 1 - Caixa protótipo em uma via, passivo**
- 2 - Caixa protótipo em duas vias, passivo / ativo**
- 3.1 - Caixa protótipo em 2 vias, ativa / passiva + sub woofer**
- 3.2 - Caixa protótipo em 3 vias, ativa / passiva + sub woofer**

## 1 – Caixa protótipo em uma via, passivo.

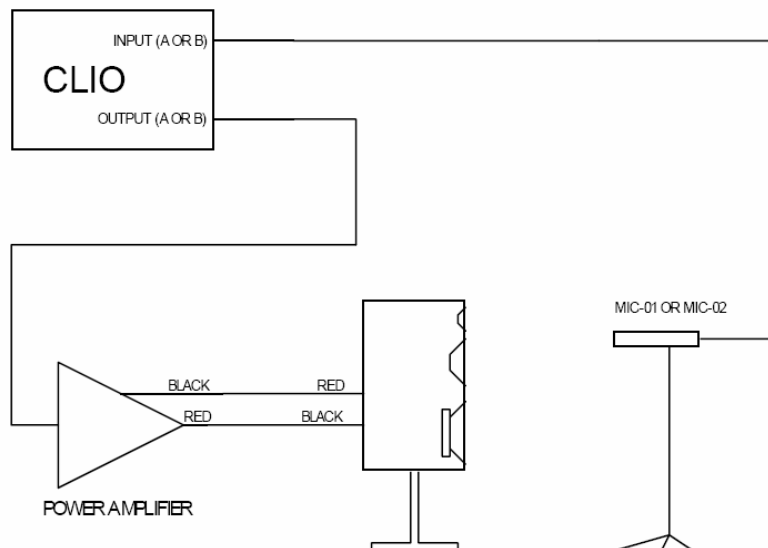
Para esta finalidade, montamos uma caixa equipada com dois alto-falantes de 12 polegadas, modelo 12MB2P e um Driver de altas D3500Ti-Nd, ambos fabricados pela Selenium®.

O divisor passivo fabricado pela EAM®, foi desenvolvido após a medição dos parâmetros dos falantes e drivers, resultando em uma curva razoavelmente plana.

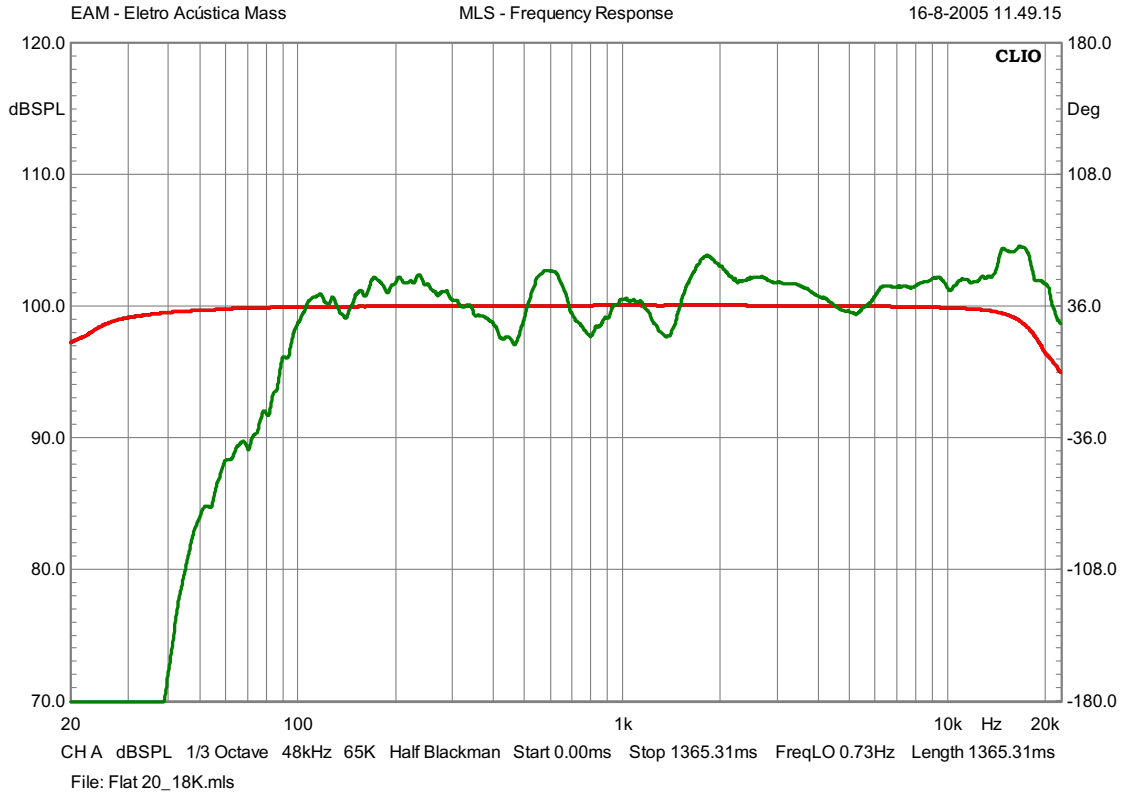


**Fig. 16 - Fotos da caixa protótipo e do seu divisor passivo.**

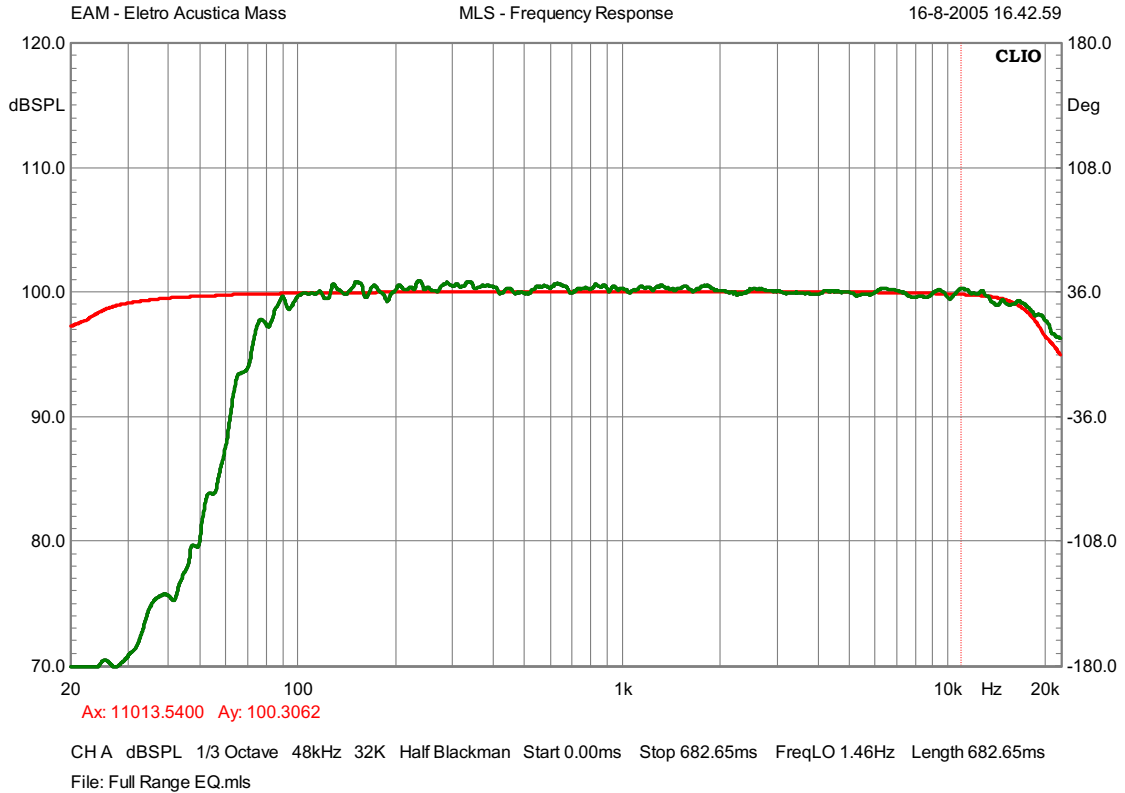
Usando como modelo um “target” de resposta plana, aplicamos ruído rosa com potência suficiente para obter aproximadamente 100 dB SPL.



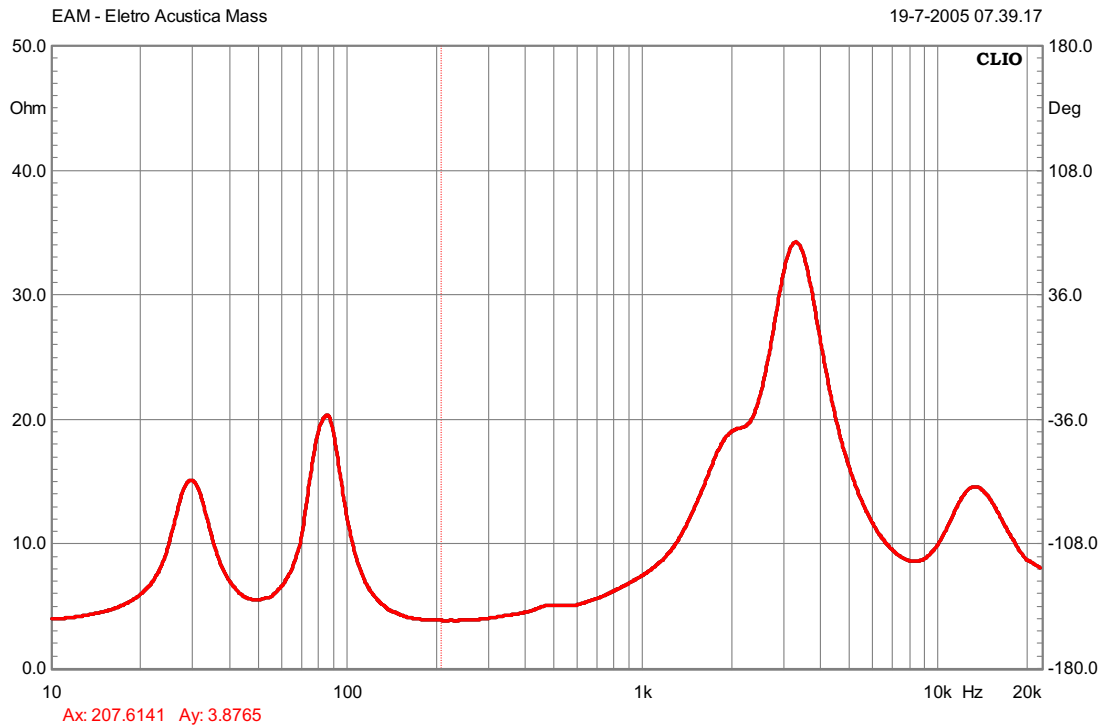
**Fig. 17 – Configuração para medida da resposta em frequência com um Analisador de Espectro**



**Fig. 18 – Resposta da caixa protótipo com uma via passiva, antes do processamento digital.**



**Fig. 19 – A mesma caixa anterior, agora com processamento aplicado através de um equalizador gráfico de 31 bandas e 9 filtros paramétricos.**



**Fig. 19B – Curva de Impedância no modo Full Range.**

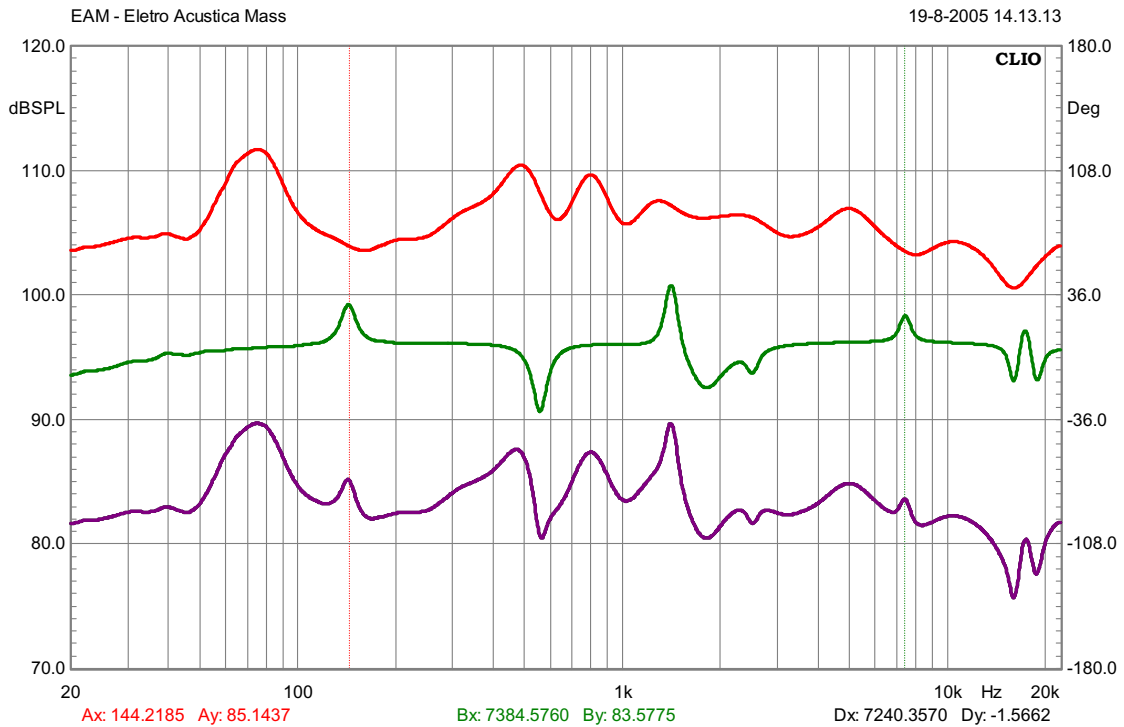
Os gráficos das Fig. 18 e 19 mostram a resposta da caixa, respectivamente, antes e depois do processamento. Foi utilizado um equalizador digital de 31 bandas, marca Behringer® modelo DEQ2496, que além da função equalização gráfica, permite a aplicação de até mais 10 filtros paramétricos.

Para tornar a resposta plana devemos verificar as frequências onde acontecem picos e vales na resposta, sintonizando-se em bandas que coincidam com as irregularidades. Caso o vale ou o pico não coincida, sendo a largura de banda de 1/3 de oitava do equalizador muito extensa ou estreita, deve-se optar por um filtro do tipo paramétrico.

Estes filtros também são chamados de “Notch Filters” e têm como característica a possibilidade de alterarmos a frequência central, o ganho ou a atenuação e a largura de banda. Portanto, poderemos sintonizá-lo exatamente onde o problema ocorre.

#	TIPO	FREQUÊNCIA Hz	NÍVEL dB	Q	OITAVA
1	Gráfico	20	0.0	3.0	1/3
2	Gráfico	25	0.0	3.0	1/3
3	Gráfico	31.5	0.0	3.0	1/3
4	Gráfico	40	0.0	3.0	1/3
5	Gráfico	50	0.0	3.0	1/3
6	Gráfico	63	+4.5	3.0	1/3
7	Gráfico	80	+5.5	3.0	1/3
8	Gráfico	100	+0.5	3.0	1/3
9	Gráfico	125	-1.0	3.0	1/3
10	Gráfico	160	-2.5	3.0	1/3
11	Gráfico	200	-1.5	3.0	1/3
12	Gráfico	250	-1.5	3.0	1/3
13	Gráfico	315	+0.5	3.0	1/3
14	Gráfico	400	+1.5	3.0	1/3
15	Gráfico	500	+4.5	3.0	1/3
16	Gráfico	630	-0.5	3.0	1/3
17	Gráfico	800	+4.0	3.0	1/3
18	Gráfico	1000	-1.0	3.0	1/3
19	Gráfico	1250	+1.5	3.0	1/3
20	Gráfico	1600	0.0	3.0	1/3
21	Gráfico	2000	0.0	3.0	1/3
22	Gráfico	2500	0.0	3.0	1/3
23	Gráfico	3150	-1.5	3.0	1/3
24	Gráfico	4000	-1.0	3.0	1/3
25	Gráfico	5000	+0.5	3.0	1/3
26	Gráfico	6300	-1.5	3.0	1/3
27	Gráfico	8000	-3.0	3.0	1/3
28	Gráfico	10000	-2.0	3.0	1/3
29	Gráfico	12500	-2.5	3.0	1/3
30	Gráfico	16000	-4.0	3.0	1/3
31	Gráfico	20000	-2.5	3.0	1/3
32	Paramétrico	143	+3.5	6.0	1/6
33	Paramétrico	557	-6.0	6.0	1/6
34	Paramétrico	1415	+6.5	7.0	1/7
35	Paramétrico	1803	-4.0	2.0	1/2
36	Paramétrico	2517	-2.0	8.0	1/8
37	Paramétrico	7430	+2.5	9.0	1/9
38	Paramétrico	16070	-4.0	10	1/10
39	Paramétrico	17419	+3.0	10	1/10
40	Paramétrico	18881	-3.5	7.0	1/7

Fig. 20 – Equalização da caixa protótipo, de uma via passiva, que resultou na curva da Fig. 19.



Resposta Elétrica do Equalizador Digital

**Fig. 21 – Respostas elétricas obtidas com a equalização da tabela da Fig. 20 – Vermelho: Equalizador Gráfico; Verde: Paramétricos; Roxo: Soma. (Deslocados para melhor visualização).**



**Fig. 22 – Posição da caixa e do microfone para a medição da resposta em frequência**

A Fig. 22 mostra a forma de posicionar a caixa sob teste em relação ao microfone. Este método, chamado de **Plano Terra**, proporciona uma resposta quase anecóica, porque o microfone passa a comportar-se como um PZM (Pressure Zone Microphone). Como o som não sofre reflexões antes de chegar ao microfone, o resultado da leitura é bastante verdadeiro. Deve-se procurar um local amplo, com paredes distantes, para evitar as reflexões. Os ruídos de veículos e vento provocam irregularidades nas leituras, principalmente nas baixas frequências. Portanto, deve-se buscar um local apropriado, relativamente silencioso.

A foto é ilustrativa. Na verdade, o microfone deve ser colocado a 2 metros de distância da caixa, e ela deve ser inclinada de tal forma que faça um ângulo de 90 graus em relação à ponta deste. Assim, obteremos um resultado semelhante aquele conseguido em câmara anecóica com o microfone a 1 metro. Veja a Fig. 23.

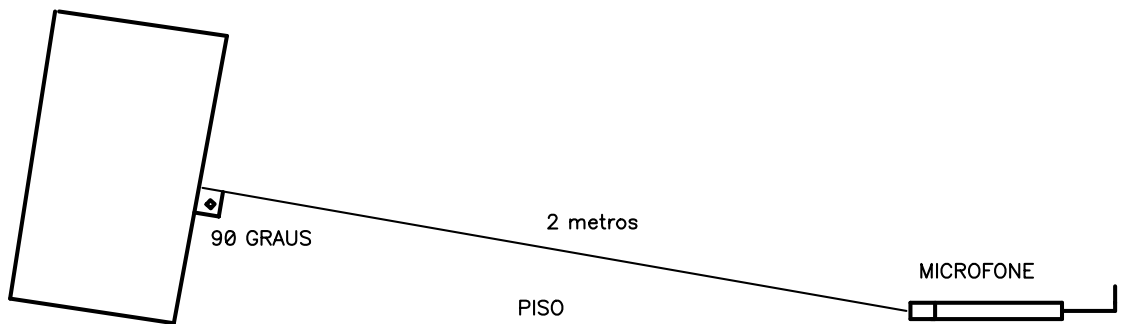


Fig. 23 – Arranjo para medição da resposta em frequência.

O valor de 100 dB SPL foi escolhido por não ser tão perturbador e geralmente estar acima do ruído ambiente. É bom lembrar que necessitaremos aplicar muitas salvas de Ruído Rosa ou MLS até concluirmos a medição, o que pode provocar um certo desconforto auditivo.

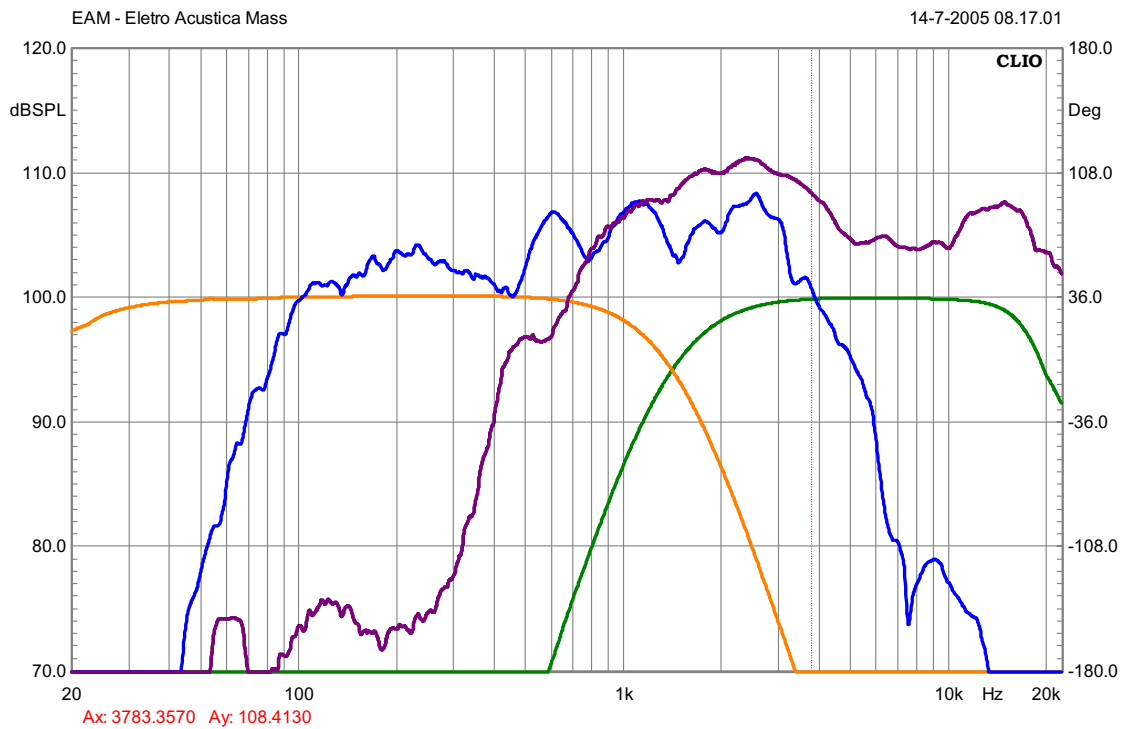
## 2 – Caixa protótipo de duas vias, passiva e ativa.

A mesma caixa anterior foi também implementada com a possibilidade de uso no modo bi-amplificado. O divisor de frequências passivo também providencia uma pré-equalização, que suaviza as respostas dos falantes e do driver, otimizando o uso do processador digital e protegendo o driver. Lembramos que as proteções inseridas no processamento, tais como limiter e compressor, atuam até à entrada do amplificador. No caso de uma falha interna neste último, a única proteção seria o circuito do crossover passivo.

O procedimento de ajuste agora exige duas curvas “target”: uma Passa Baixas e uma Passa Altas. Conforme a conclusão anterior, as curvas adequadas serão do tipo Linkwitz – Riley com taxa de atenuação de 24dB/8ª.

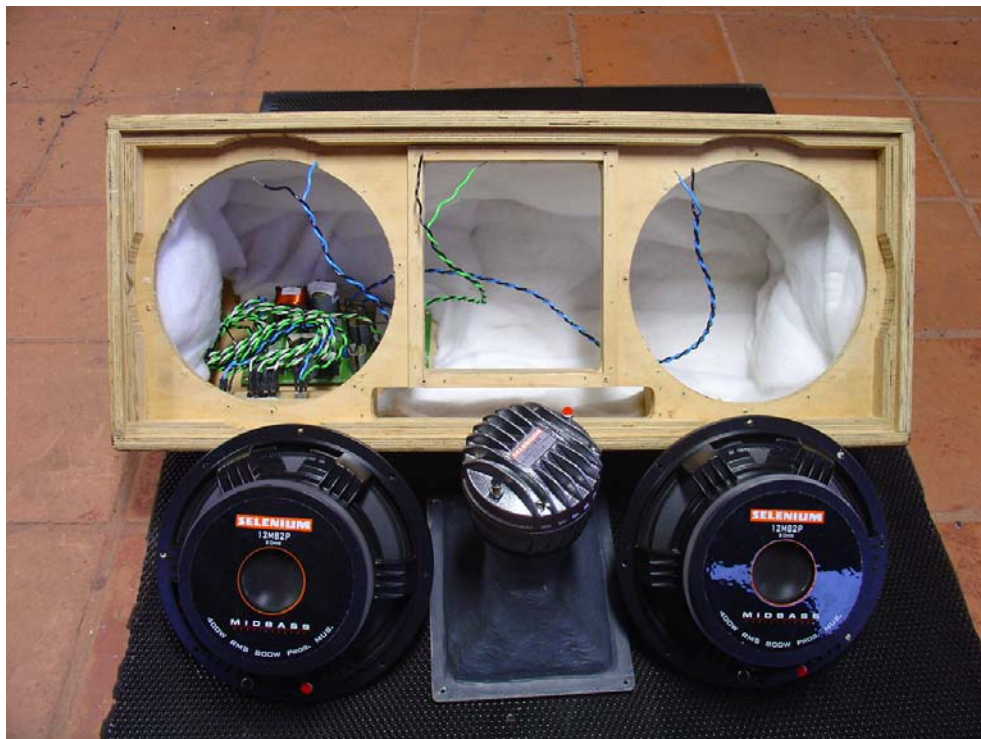
Para a caixa protótipo foi escolhida a frequência de 1400 Hz como sendo a de transição entre os alto-falantes e o Driver. Essa escolha não é aleatória: busca-se o melhor aproveitamento das características dos transdutores, respeitando-se limites aceitáveis de potência e resposta em frequência de cada um deles. Idealmente, devemos escolher a frequência de corte uma oitava abaixo do ponto de corte natural do falante de graves e uma oitava acima da frequência do ponto de corte natural do driver de altas.

Muitas vezes isto não é possível, como podemos constatar, na prática. Então, assume-se uma razão de compromisso, aproveitando o “melhor dos dois mundos”.

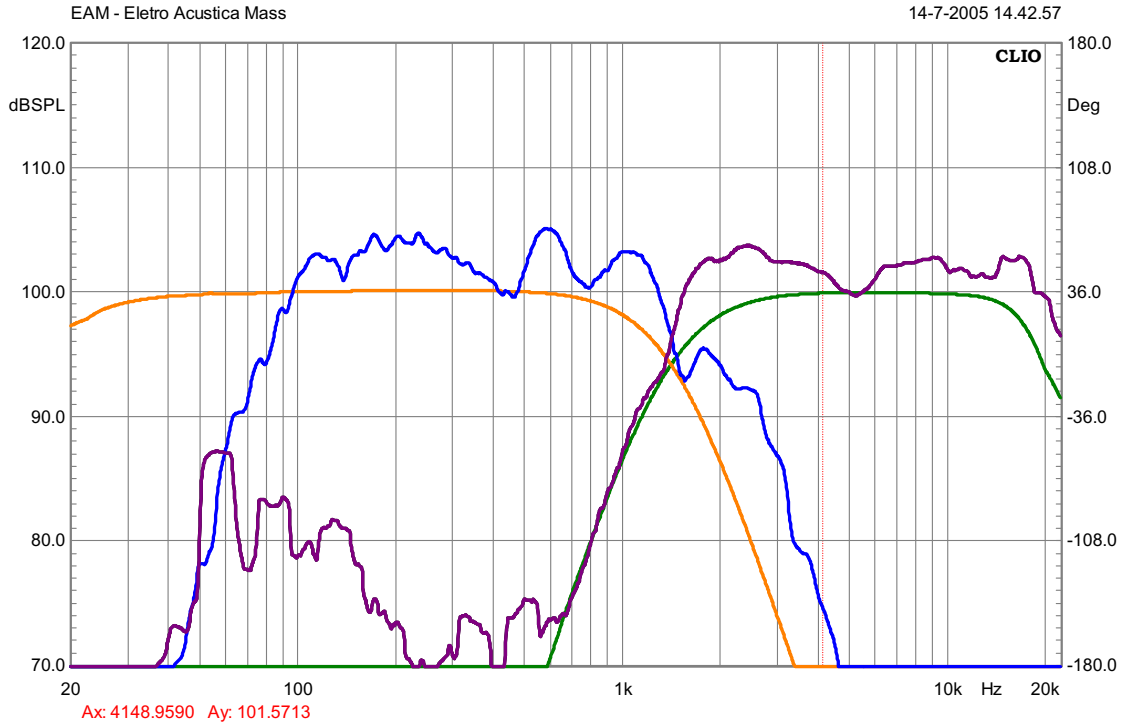


Resposta Acústica dos Transdutores

**Fig. 24 – Resposta acústica dos transdutores “in natura” instalados na caixa. As irregularidades na curva roxa devem-se a ruídos de baixa frequência ao medir o Drive de Altas.**

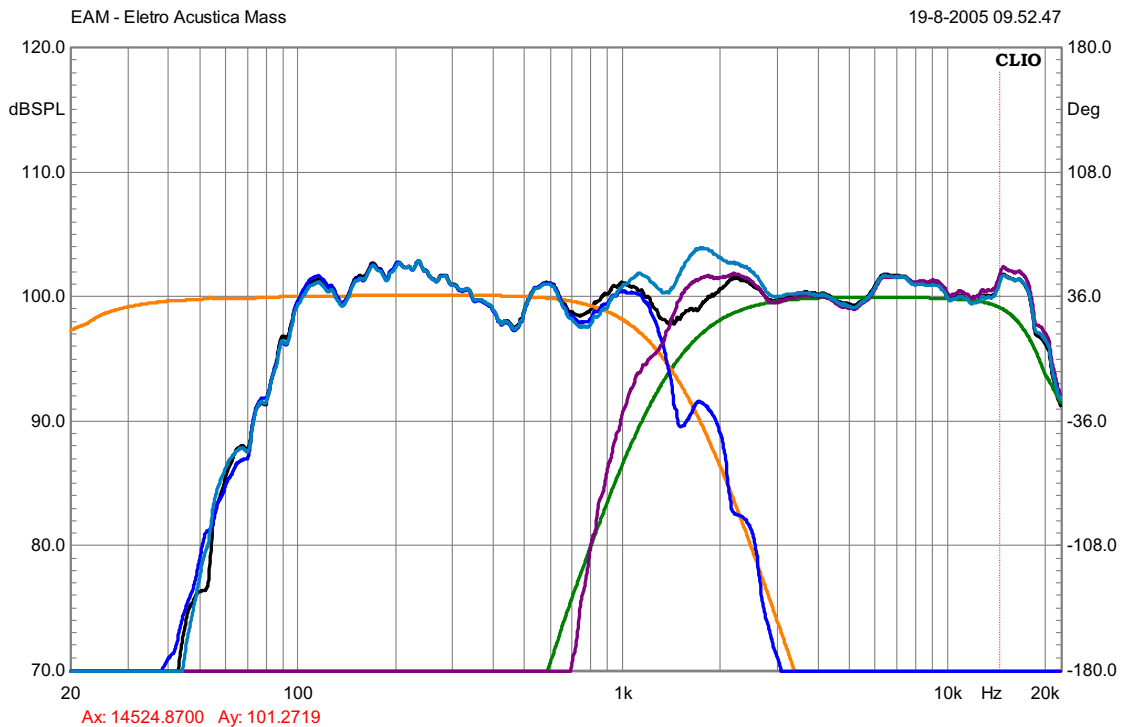


**Detalhe da caixa protótipo com vista dos transdutores e o processador passivo instalado.**



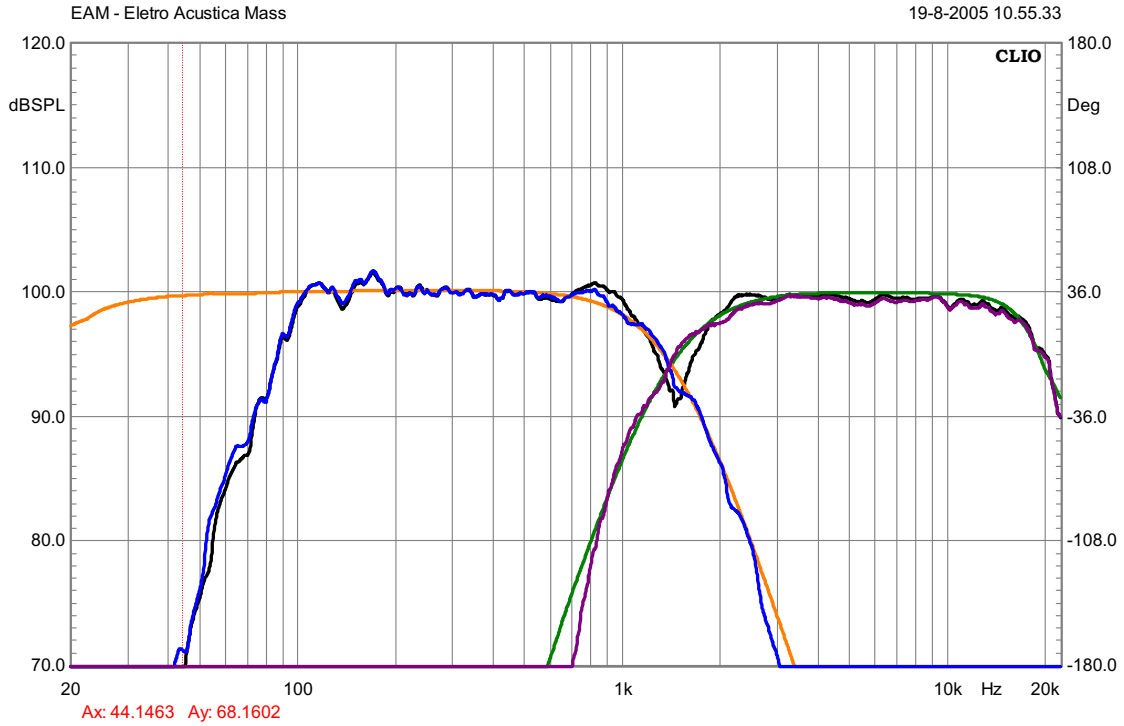
Resposta Acústica dos Transdutores com Divisor Passivo Bi Amp

**Fig. 25 - Resposta dos Transdutores no modo Bi-Amp após o circuito passivo, com Crossover Digital em 1400 Hz L-R 24 dB/8ª. Laranja e Verde: Targets; Azul e Roxo: Low e Mid Hig. As irregularidades na curva roxa devem-se a ruídos de baixa frequência ao medir o Drive de Altas.**



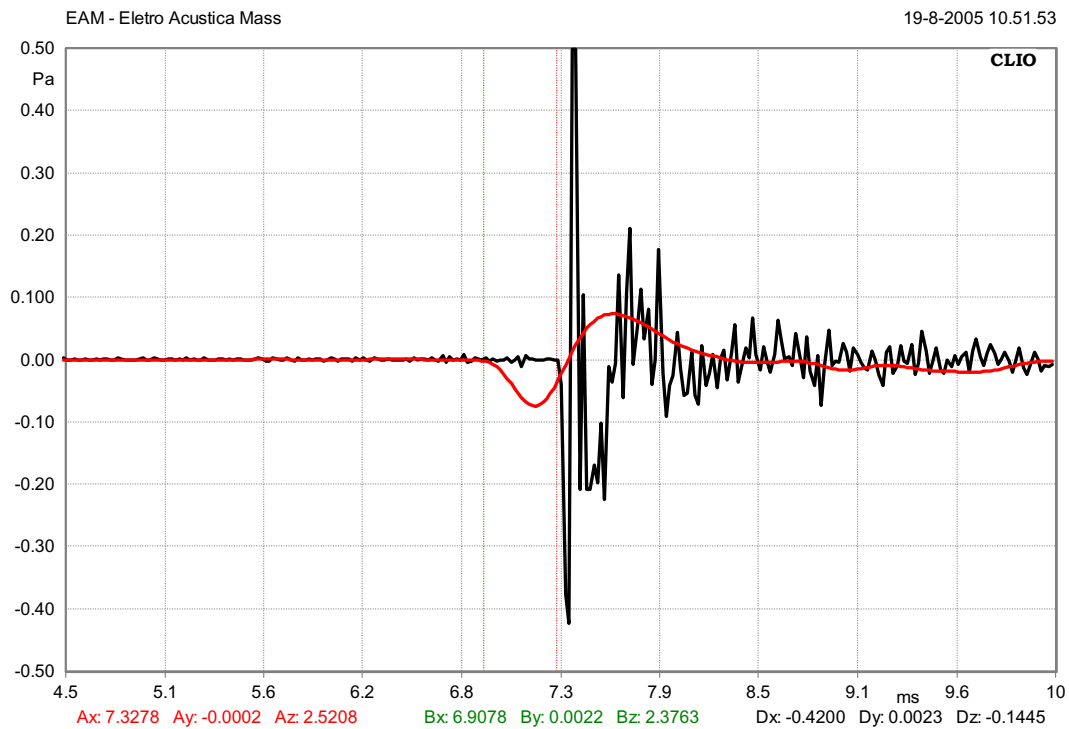
2W24/1400 L-R24 Resposta em frequência sem processamento

**Fig. 26 – Resposta em frequência no modo Bi-Amp, antes do processamento. Laranja e Verde: Targets; Azul e Roxo: Low e Mid Hig; Preto: Soma com fase invertida; Azul Claro: Soma em fase.**



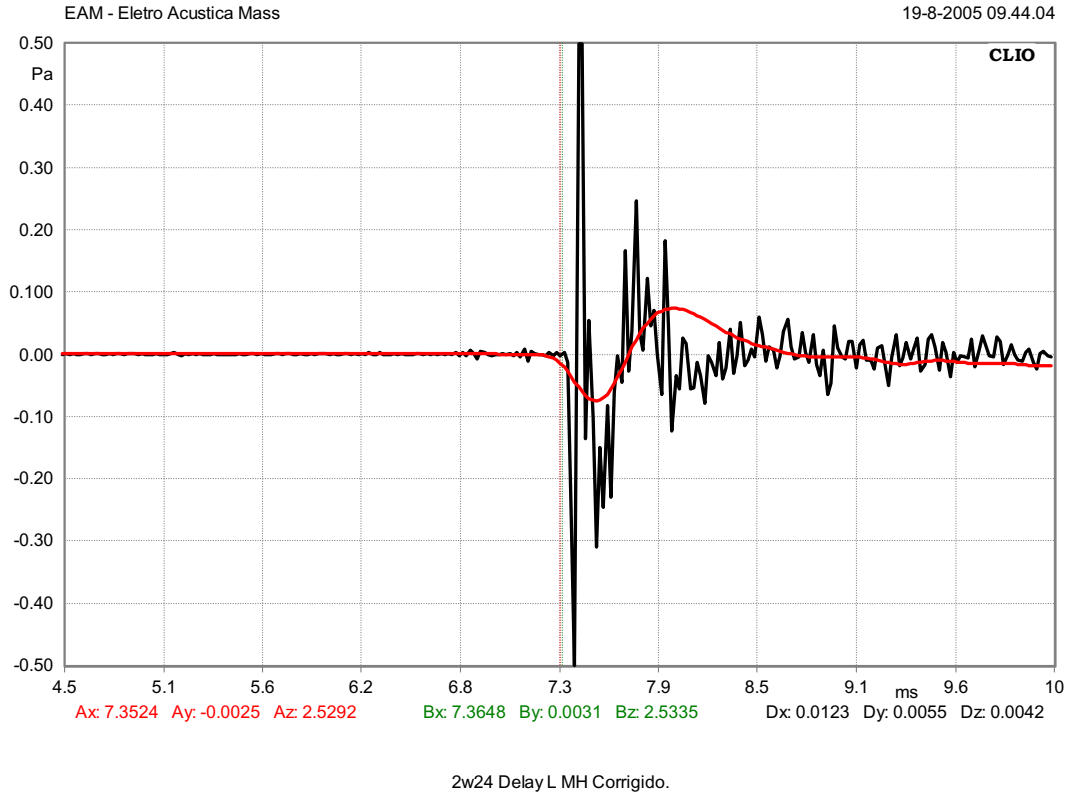
Soma sem Delay na via Low

Fig. 27 – Resposta no modo Bi-Amp, antes da correção do delay entre as vias. Preto: Soma em fase

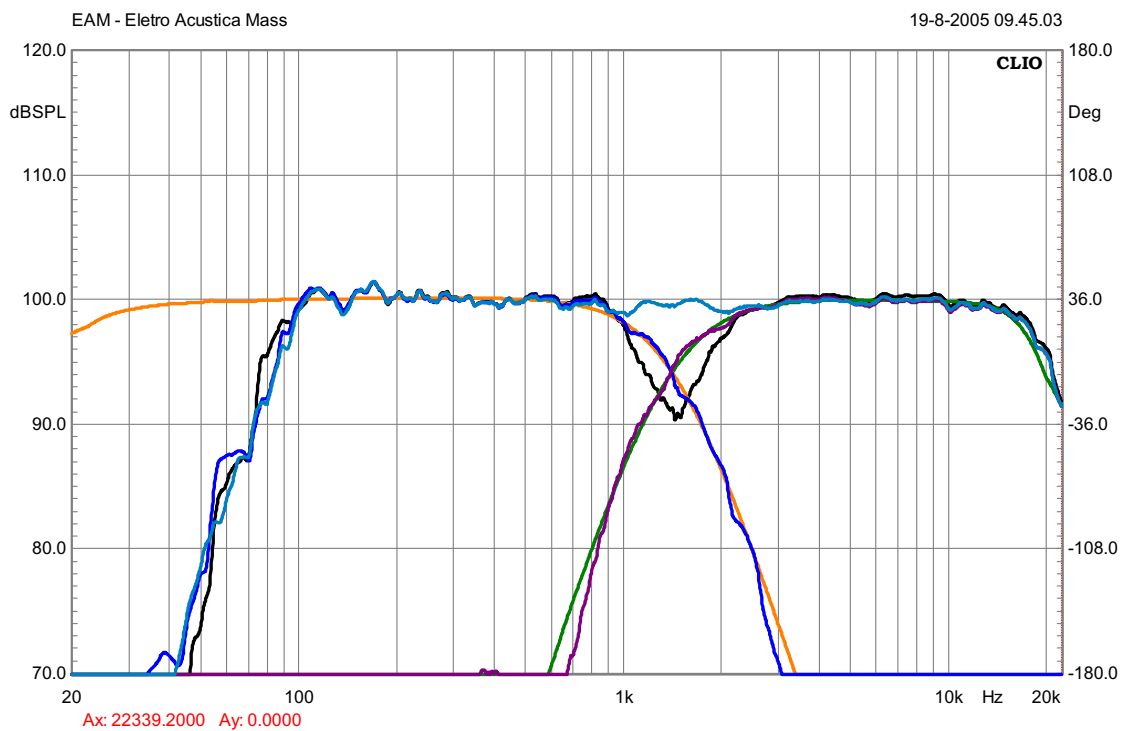


2W24 Delay Low e Mid Hig.

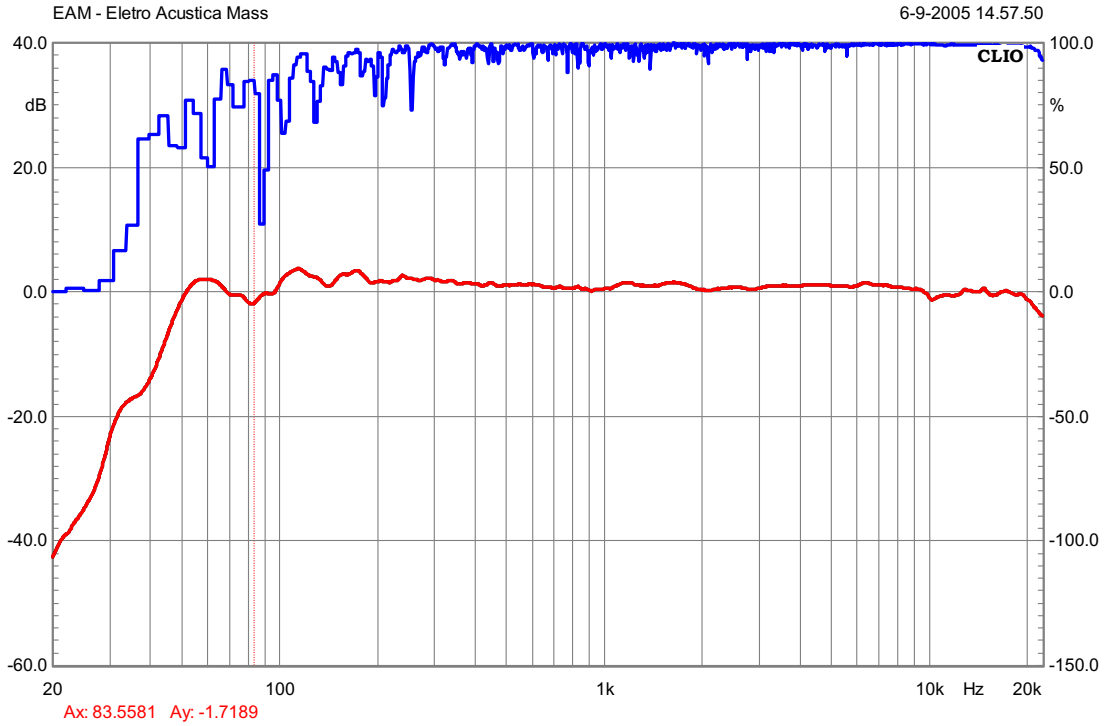
Fig. 28 – Medida do delay nas vias de Low Mid e Mid Hig. Vermelho: Delay da via Low = 6,90 ms e Preto: Delay da via Mid Hig = 7,32ms. Diferença = 0,42 ms.



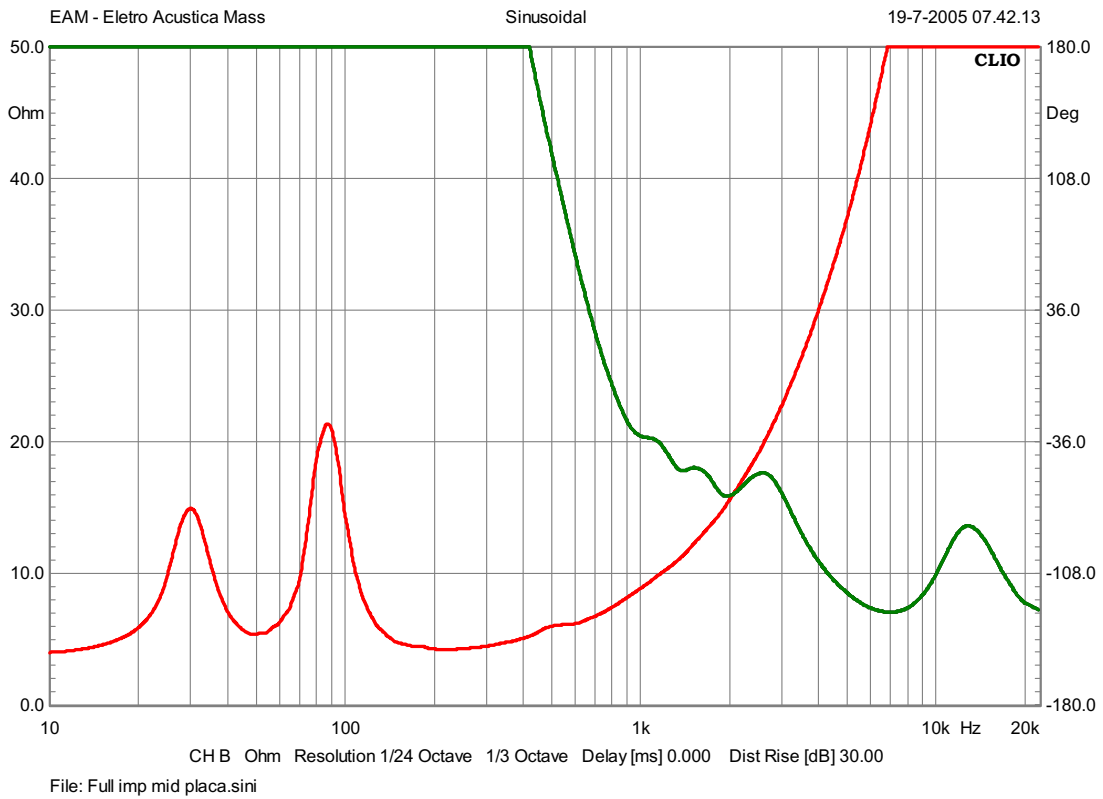
**Fig. 29 – Delay medido após a correção no processador. Diferença = 0.01ms.**



**Fig. 30 – Resposta depois do processamento e da aplicação do delay de 0.42ms na via Low. Laranja e Verde: targets; Preto: soma invertida; Azul: soma em fase.**



**Fig. 30B – Resposta Bi Amp medida “ao vivo” + Coerência (azul)**



**Fig. 31 – Curvas de impedância da caixa protótipo no modo bi-amplificado. Vermelho: 2 x 12MB2P, em paralelo; Verde: D3500Ti-Nd.**

Os gráficos das Fig. 24 a 30 mostram a evolução da resposta acústica da caixa desde a medição dos transdutores puros até a obtenção da resposta plana, obtida com o processamento e a correção do delay entre as vias. O da Fig. 30 é a impedância medida com o divisor passivo instalado. Na Fig. 31 vemos a curva de impedância dos transdutores.

O delay ou atraso na propagação do som no ar é um fenômeno a ser considerado, porque o centro acústico de cada via de um sistema multi-vias dificilmente é coincidente no espaço / tempo.

A medição deve levar em consideração que o delay só é importante para o processamento, na frequência de transição, entre vias adjacentes. Assim, o microfone de medição deverá estar situado tanto quanto possível entre dois transdutores de vias adjacentes, para a correta captura do valor do atraso (se houver) entre elas.

Não faz o menor sentido medirmos o delay entre a via de Sub Woofer e a de médio agudos. Mesmo que fisicamente o driver de altas esteja instalado próximo ao falante de sub woofer.

Para ficar claro, diríamos que nos interessa que duas vias, reproduzindo a mesma frequência (corte), estejam em fase e alinhadas no tempo. E elas somente reproduzirão a mesma frequência se forem acusticamente adjacentes.

#### **Concluindo:**

1. É necessário que tenhamos um modelo elétrico a seguir, cuja resultante seja uma resposta plana.
2. O target que mais atende à proposição anterior é o Linkwitz – Riley a 24 dB/8ª
3. Cada via deve ser modelada sobre o target escolhido.
4. Os delays devem ser medidos e aplicados no processamento.
5. A resposta acústica plana só acontecerá se e somente se: as curvas acústicas estiverem conforme o modelo elétrico, os transdutores em fase e o delay corrigido.

Pela exposição, fica no ar a pergunta: Devemos então sempre usar o shape L-R 24 em todos os processamentos que programarmos?

Sim, se todos os transdutores emitissem resposta perfeita dentro da faixa acústica a eles destinada. Mas isto está muito longe de acontecer.

No exemplo da Fig. 25, mesmo após uma “suavização” passiva, os transdutores ainda não se comportam como o modelo desejado. Fica a critério do programador escolher o “shape” que mais aproxime a resposta acústica do modelo desejado.

A tabela a seguir mostra bem este critério na escolha dos tipos de resposta dos LPF e HPF. Conferindo os dados, eles parecem frutos de uma escolha empírica, mas estão intimamente ligados à resposta acústica dos transdutores.

Então, todos os tipos de resposta encontram sua utilidade. Depende tão somente da resposta acústica dos transdutores e dos “targets” utilizados como modelo.

## EAM – ELETRO ACÚSTICA MASS

PROCESSAMENTO PARA CAIXA MODELO: PROTÓTIPO

Equipada com divisor passivo EAM® modelo SM 222 SEL V2 Nd  
Kit de alto-falantes Selenium® 2x12MB2P e Driver D3500Ti-Nd

CRIADO EM 19 / 08 / 2005

### PROGRAMAÇÃO DO CROSSOVER

VIA	POLARID.	HPF Hz	LPF Hz	GANHO	DELAY
1 – LOW	+	40 BUT 24	1.6k BUT 24	0	0.42ms
2 – MID HIG	+	1.11k BES 24	18k BUT 24	-3.0	0

### EQUALIZADORES NA VIA 1 – LOW (2x12MB2P)

Nº	TIPO	GANHO dB	FREQUÊNCIA Hz	BW 8ª	Q
1	Paramétrico	-2.5	223	0.40	2.5
2	Paramétrico	+4.0	467	0.14	7.1
3	Paramétrico	-2.5	568	0.14	7.1
4	Paramétrico	+3.5	770	0.14	7.1
5	Paramétrico	-4.5	1.09k	0.20	5.0
6	Paramétrico	+7.0	1.53	0.10	10
7	Paramétrico	-6.5	1.78k	0.11	8.9
8	Paramétrico	+5.0	2.07k	0.10	10
9	Paramétrico	-3.3	2.25k	0.10	10

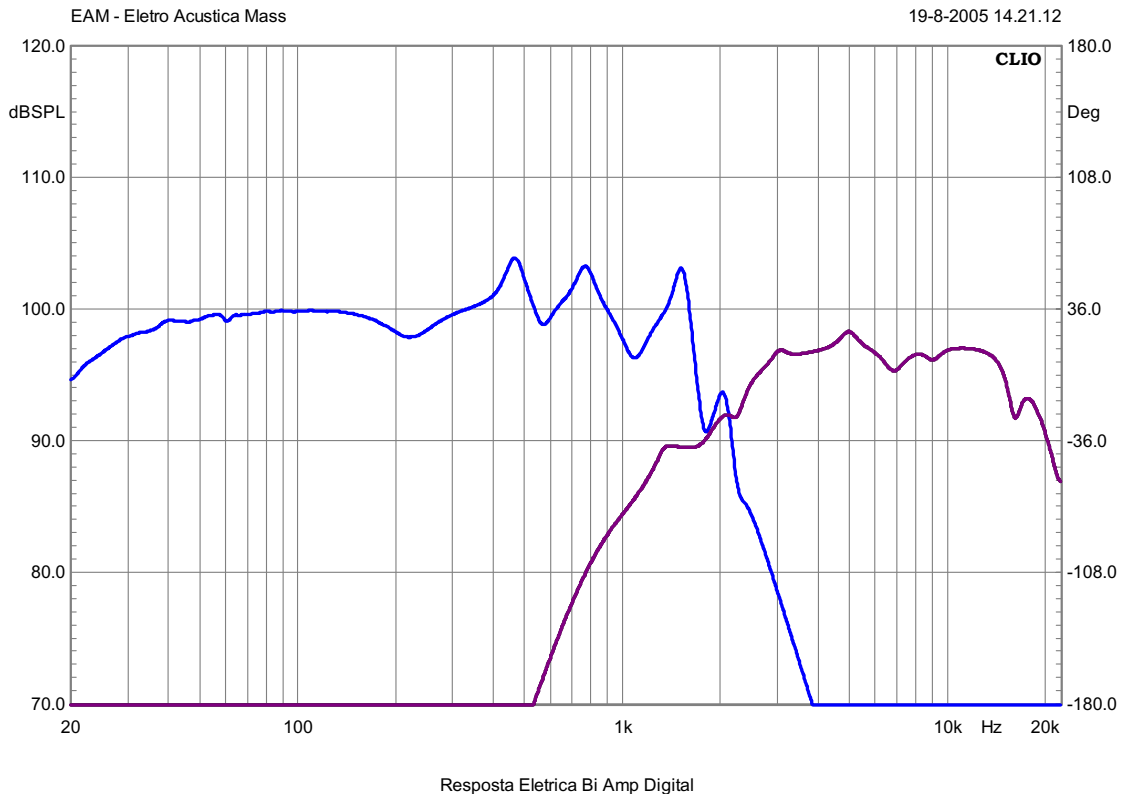
### EQUALIZADORES NA VIA 2 – MID HIG (D3500Ti-Nd)

Nº	TIPO	GANHO dB	FREQUÊNCIA Hz	BW 8ª	Q
1	Paramétrico	-3.5	1.11k	0.56	1.8
2	Paramétrico	+1.0	1.35k	0.11	8.9
3	Paramétrico	-3.7	1.74k	0.11	8.9
4	Paramétrico	-2.3	2.25k	0.11	8.9
5	Paramétrico	+1.0	3.04k	0.11	8.9
6	Paramétrico	+1.5	4.98k	0.14	7.1
7	Paramétrico	-2.0	6.86k	0.18	5.6
8	Paramétrico	-1.0	9.06k	0.13	7.9
9	Paramétrico	-4.5	16.1k	0.10	10

Fig. 32 – Tabela de processamento para a caixa protótipo no modo Bi-Amp.

A tabela da Fig. 32, no quadro “Programação do Crossover”, contém apenas dois tipos de shapes: Butterworth e Bessel. Isto mostra que em função da necessidade, qualquer shape pode ser usado para se obter a modelagem da curva acústica sobre o “target”. Bom senso e conhecimento técnico de caixas acústicas e dos transdutores devem ser empregados, para evitar procedimentos destrutivos.

Algo curioso, mas esperado: quando a caixa está corretamente ajustada, se ouvirmos apenas uma das vias, o som não parecerá completo para ela. Somente se completará quando todas as vias estiverem ativas. Isto ocorre porque, como vimos, a atenuação na frequência de transição é da ordem de 6 dB. Assim, não ouviremos bem o fim da faixa de Low nem o começo da faixa Mid Hig, se ligadas individualmente.



**Fig. 33 –** Curvas de resposta elétrica das duas vias do processador digital após o ajuste da tabela da Fig. 32. Azul: via Low; Roxo: via Mid Hig.

A figura 33 mostra a resposta elétrica das vias do processador após o ajuste resumido na tabela da Fig. 32. Elas assumem a exata inversão da resposta acústica dos transdutores em relação aos “targets” antes do ajuste. Onde havia perda, aplicou-se ganho e vice-versa.

### 3 – Caixa Protótipo Multi-Vias.

Para esta demonstração, escolhemos um dos vários projetos disponíveis no site da Selenium, [www.selenium.com.br](http://www.selenium.com.br), desenvolvidos pelo Prof. Homero Sette Silva.

Preferimos um projeto de grande porte para mostrar que, não importando as dimensões do sistema, o método de ajuste continua o mesmo.

Para tal, selecionamos o projeto **PAS3 – Opção 3**, composto de duas caixas, a saber:

**PAS3 – G1** – Sub Woofer equipado com dois alto-falantes 18SW1P Selenium®

**PAS3 – MA3** – Caixa satélite, em três vias, equipada com 1 x WPU1509, 1 x 10MB1P e 1 x driver D3500Ti-Nd, montado em uma Corneta HL 47-50. Todos de fabricação Selenium®.



Fig. 33 - MA3



Fig. 34 - G1

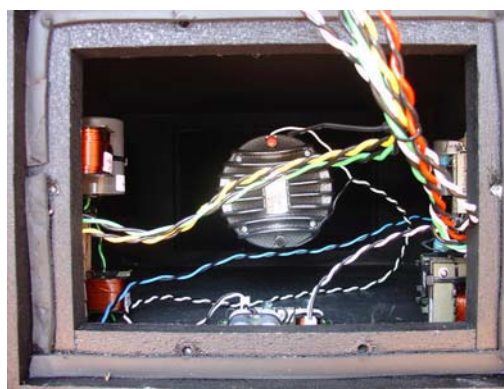


Fig. 35 - D3500Ti-Nd

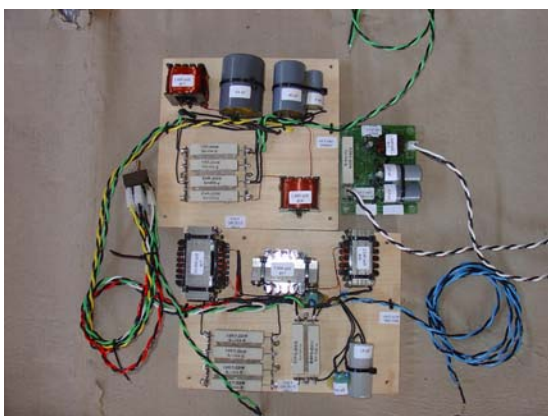


Fig. 36 - Divisor Protótipo.



Fig. 37 - Prof. Homero Sette.

As fotos das figuras 33 a 37 mostram as Caixas PAS3 – Opção 3, que foram gentilmente confeccionadas pela **New Box Acoustic**, empresa especializada na fabricação de Caixas Acústicas, com sede em Ribeirão Preto, SP, [www.newbox.com.br](http://www.newbox.com.br) e [vendas@newbox.com.br](mailto: vendas@newbox.com.br), para a realização deste trabalho. Elas reproduzem o projeto existente no site da Selenium.

Na Fig. 36 vemos o protótipo do divisor passivo desenvolvido pela EAM.

Considerando a existência no mercado de bons processadores digitais de três vias estéreo, foi conveniente que um dos setups de processamento pudesse utilizar estes equipamentos. Além de possuírem custo mais baixo que os de quatro vias estéreo, minimizam a necessidade de amplificadores, cabos de conexão e outras vantagens.

Para implementar esta facilidade, o processador passivo criado cumpre duas funções:

**Modo Quadri-Amp:** Suaviza passivamente a resposta dos três transdutores da MA3, recebendo amplificação de três vias na MA3 e uma na G1.

**Modo Tri-Amp:** É implementado um divisor passivo de duas vias entre os alto-falantes de 15 e 10 polegadas, sendo suavizada, também passivamente, a resposta do driver. O sistema passa a ter duas vias na MA3 e uma na G1. Para permitir a comutação entre os dois modos, foi instalada uma chave na parte traseira da MA3.

Embora inusitado e talvez, até herético, a junção dos falantes de 15 com o de 10 polegadas (e não o de 10 com driver, como estamos habituados a ver), tem

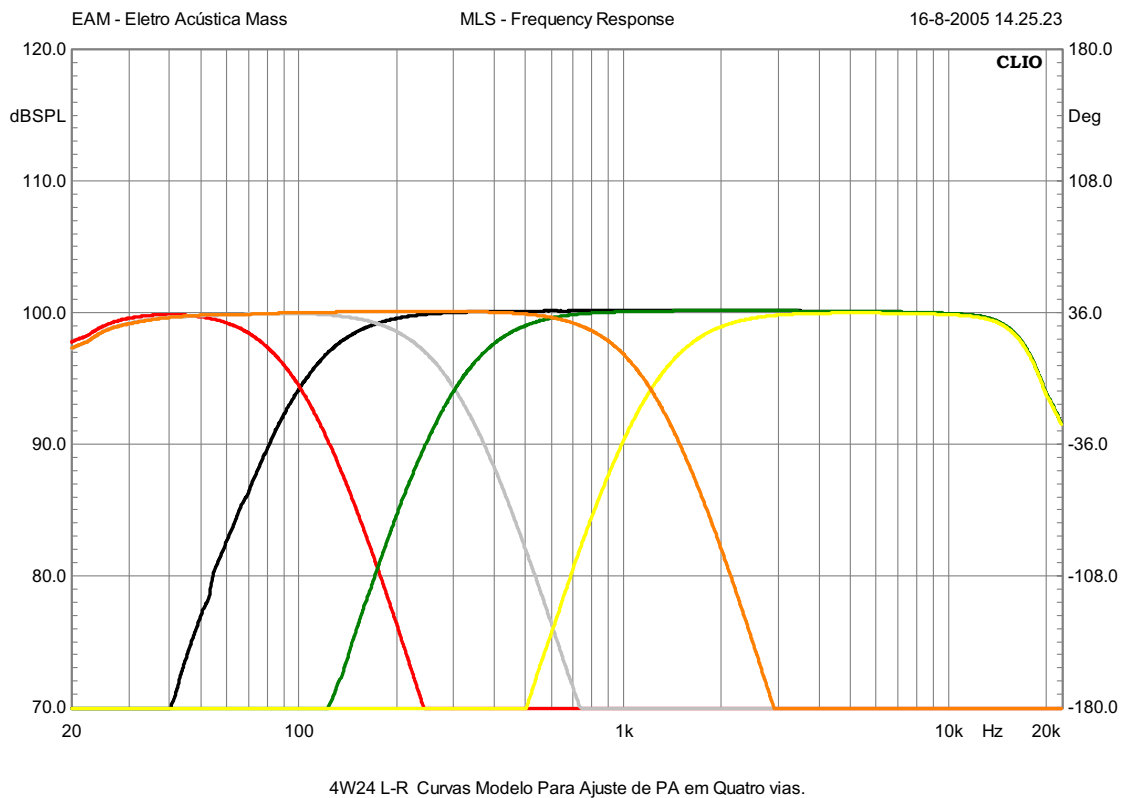
suas razões de ser: a primeira e mais tangível, é que os alto-falantes de 15” e 10” estão praticamente no mesmo alinhamento vertical dentro da caixa, dispensando o uso de delay ativo entre eles. Além disso, os amplificadores poderão ser apenas três, sendo dois classe H e apenas um da classe AB (para alimentar o Driver de Altas). Portanto, menos amplificadores e de modelos mais econômicos. Some-se a isto o menor número de cabos e conexões e mais simplicidade no processamento.

Consideramos esta opção extremamente interessante para muitas aplicações, sem que haja perda significativa de pressão ou qualidade sonora.

A Caixa G-1 não necessita de processamento passivo em nenhum dos casos.

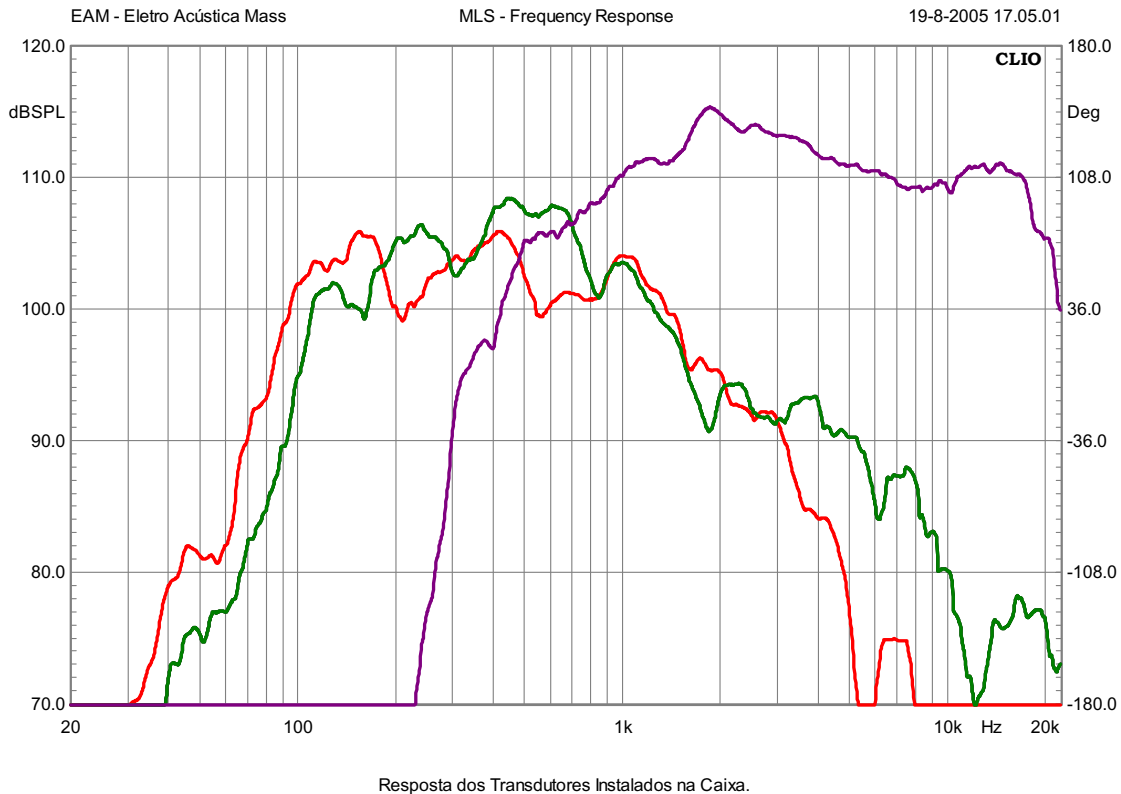
A seguir, faremos o ajuste da PAS3 nos dois modos descritos.

### 3.1 - Quadra Amplif. (MA3 em três vias + Sub Woofer G1)



**Fig. 38 – “Targets” L-R , 24dB/8ª, para ajuste de Sistema de quatro vias.**

Para o ajuste do sistema de quatro vias, implementamos as curvas da Fig. 38, onde as frequências de transição, em 100, 300 e 1200Hz, estão a -6dB no ponto de cruzamento. Para obter estas curvas, utilizamos o artifício já explanado anteriormente. A soma resultante não pode ser plotada, visto que as curvas não são de filtros passa faixa adjacentes. Entretanto, após o ajuste do sistema, poderemos ver a resposta acústica da soma das vias em uma única curva de resposta plana.

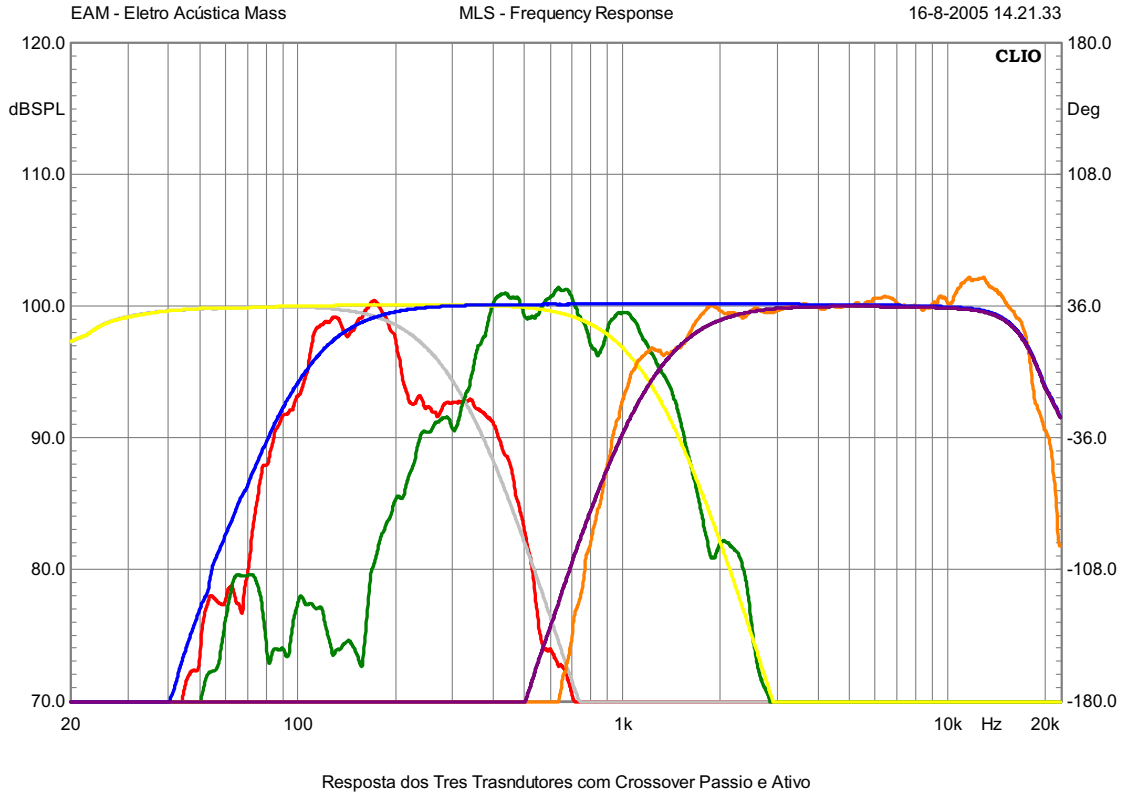


**Fig. 39 - Resposta Acústica dos Transdutores instalados na MA3, antes do processamento. Vermelho: WPU1509; Verde: 10MB1P; Roxo: D3500Ti-Nd.**

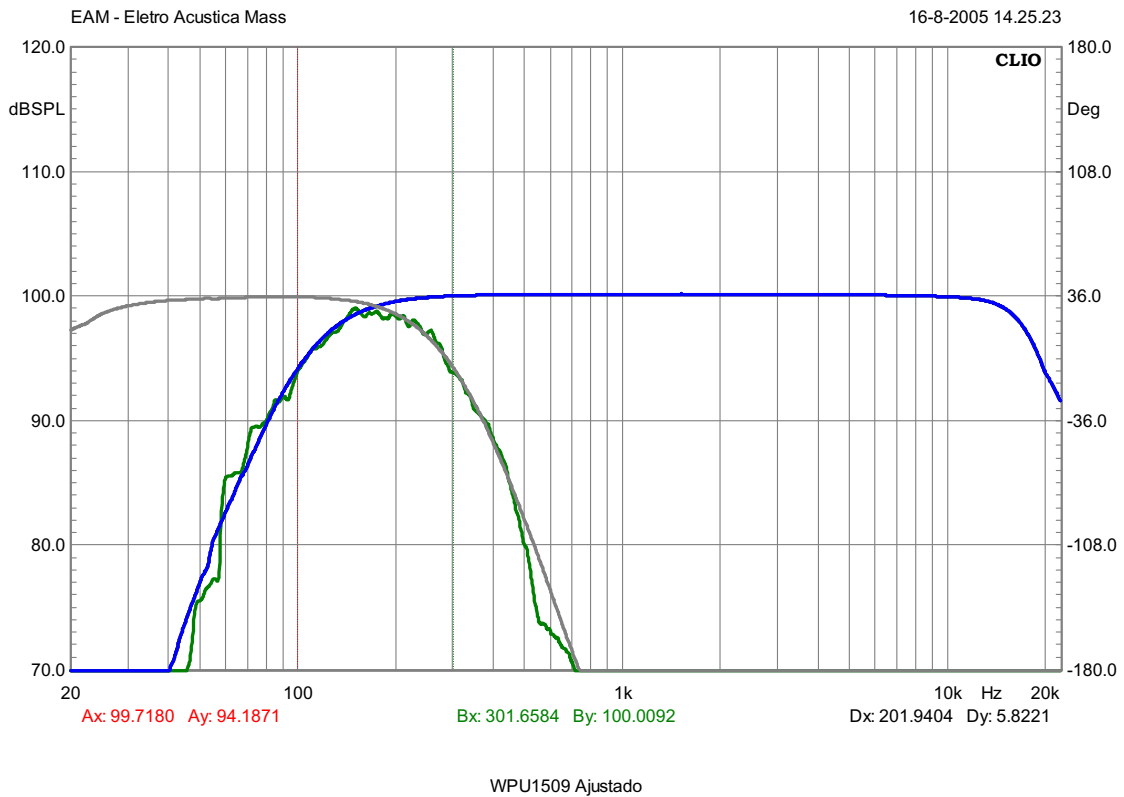
A Fig. 39 mostra a resposta das 3 vias da MA3, que foram medidas com o método plano terra, com o microfone de teste colocado no piso, a 2 metros da caixa. À primeira vista, poderíamos concluir que o 10MB1P seria dispensável, já que o WPU1509 abrange toda a região coberta por ele. Na verdade, além do timbre do 10MB1P ser perfeito para a faixa de 300 a 1200Hz, desobrigamos o 1509 de reproduzir uma faixa muito maior de frequências, que seria de 100 a 1200Hz, onde deixaria a desejar. Este transdutor, pela sua maior massa móvel, foi idealizado como reforço de graves. Usando o 10MB1P na faixa de 300 a 1200Hz, teremos uma menor distorção harmônica e mais definição na qualidade do som.

A curva Roxa mostra a soberba resposta do Driver D3500Ti-Nd na corneta HL 47-50, em seus expressivos 110 dB SPL a 1 W, praticamente planos. Sem processamento, ele se estende até 18KHz com distorção harmônica inferior a de muitos drivers famosos do mercado. Quando processado, pode atingir resposta plana de 1200 Hz a 21 KHz com 104 dB SPL. É realmente um excelente produto.

Resta-nos suavizar as “nervosas” curvas obtidas a partir do 15” e do 10”, que foram severamente modificadas pelas cornetas da MA3. Nada estranho. É sabido que um transdutor, medido fora da caixa corneta, costuma apresentar uma resposta bastante linear. Uma vez instalado na corneta, há uma tendência natural desta amplificar os sons graves, em detrimento dos agudos. Veja no site da EAM, [www.eam.com.br](http://www.eam.com.br), na seção “downloads” o artigo “Equalizador Para Driver D408Ti”, onde este conceito está bem explorado. Este artigo também consta do site da Selenium, [www.selenium.com.br](http://www.selenium.com.br), e teve a supervisão do Prof. Homero Sette Silva.



**Fig. 40 – Resposta dos três Transdutores da MA3, com notchs passivos e crossover digital, em quatro vias. As frequências de transição são: 100, 300 e 1200 Hz. A via do Sub não está no gráfico.**

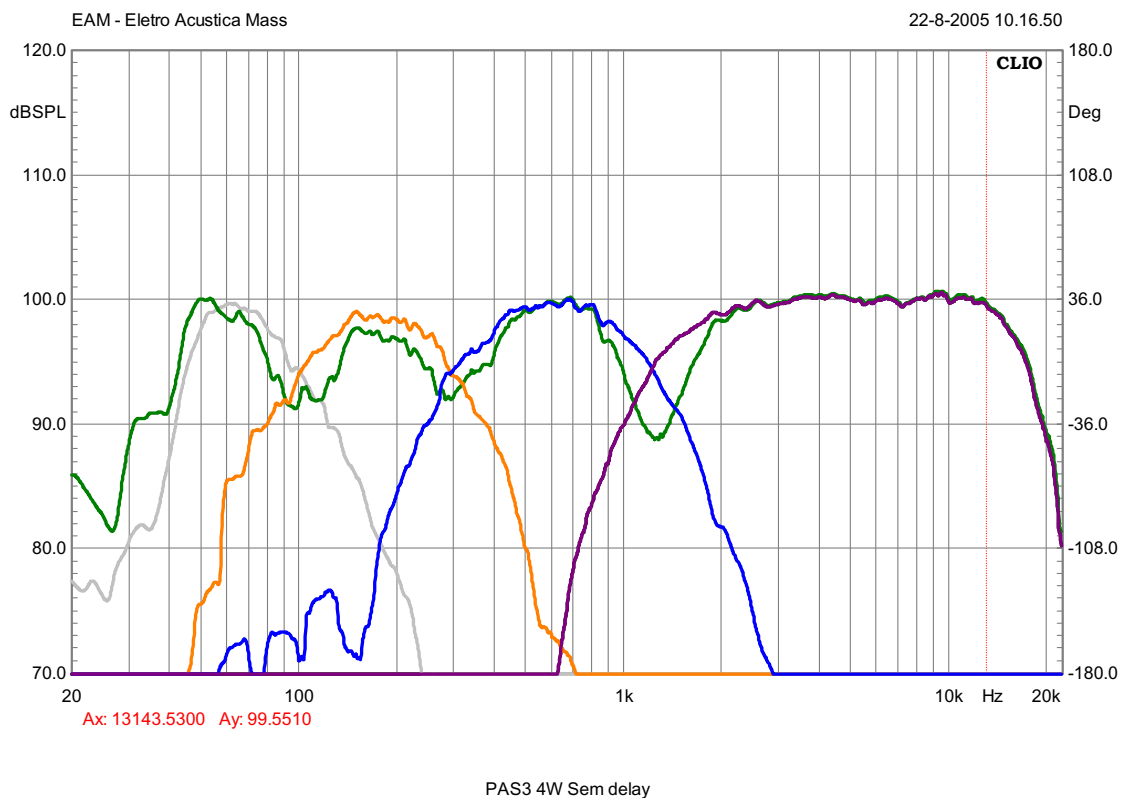


**Fig. 41 – A Curva de Resposta Acústica do WPU1509, depois de processado. As curvas Azul e Cinza são os “targets” elétricos LPF e HPF criados para a modelagem acústica.**

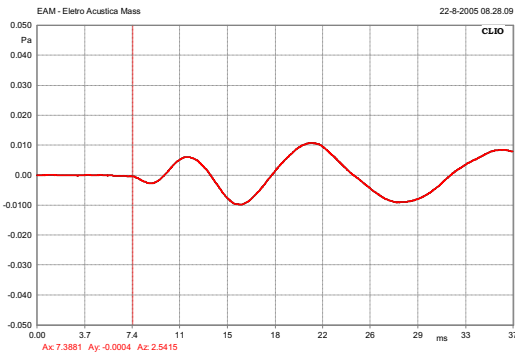
Após a medição das respostas acústicas de cada transdutor da MA3, fizemos nova leitura, agora aplicando os filtros notchs do divisor passivo e um Crossover Digital de quatro vias. Veja a família de curvas na Fig. 40.

Na Fig. 41, a resposta acústica do WPU1509 após o devido ajuste, utilizando os equalizadores paramétricos do processador.

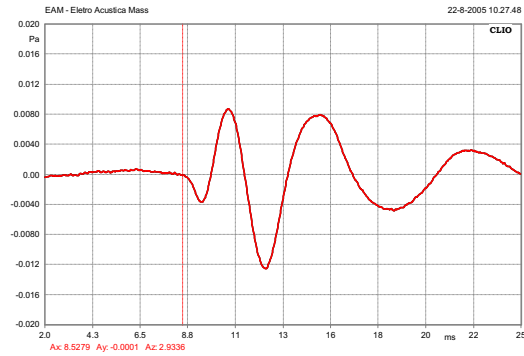
Aplicando o mesmo procedimento nas demais vias, obtivemos as curvas acústicas da Fig. 42. Muito embora o sistema esteja em fase e as curvas acústicas estejam conforme o modelo, não obtivemos resposta plana. A causa é o desalinhamento dos centros acústicos entre as vias. O próximo procedimento é determinar os valores do atraso entre as vias.



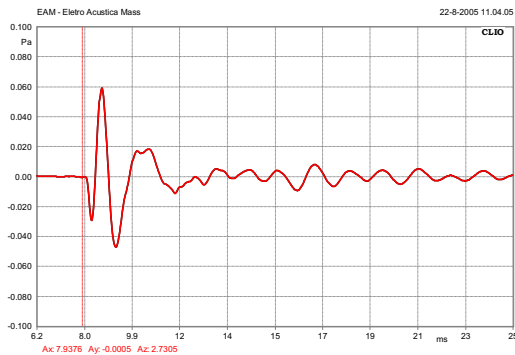
**Fig. 42 – Resposta das quatro vias do sistema PAS3 Opção 3, após o processamento digital e antes da correção do delay entre vias. Verde: Soma em fase.**



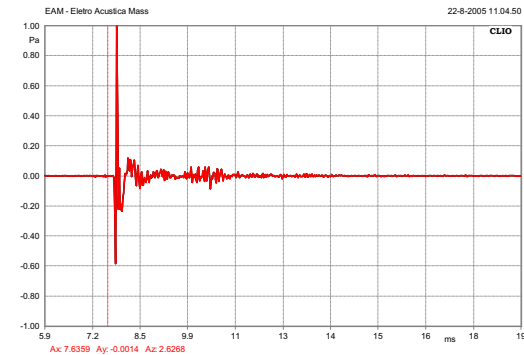
**Delay na via de Sub Woofer.**



**Delay na via de Low.**



**Delay na via de Low Mid.**



**Delay na via de Mid High.**

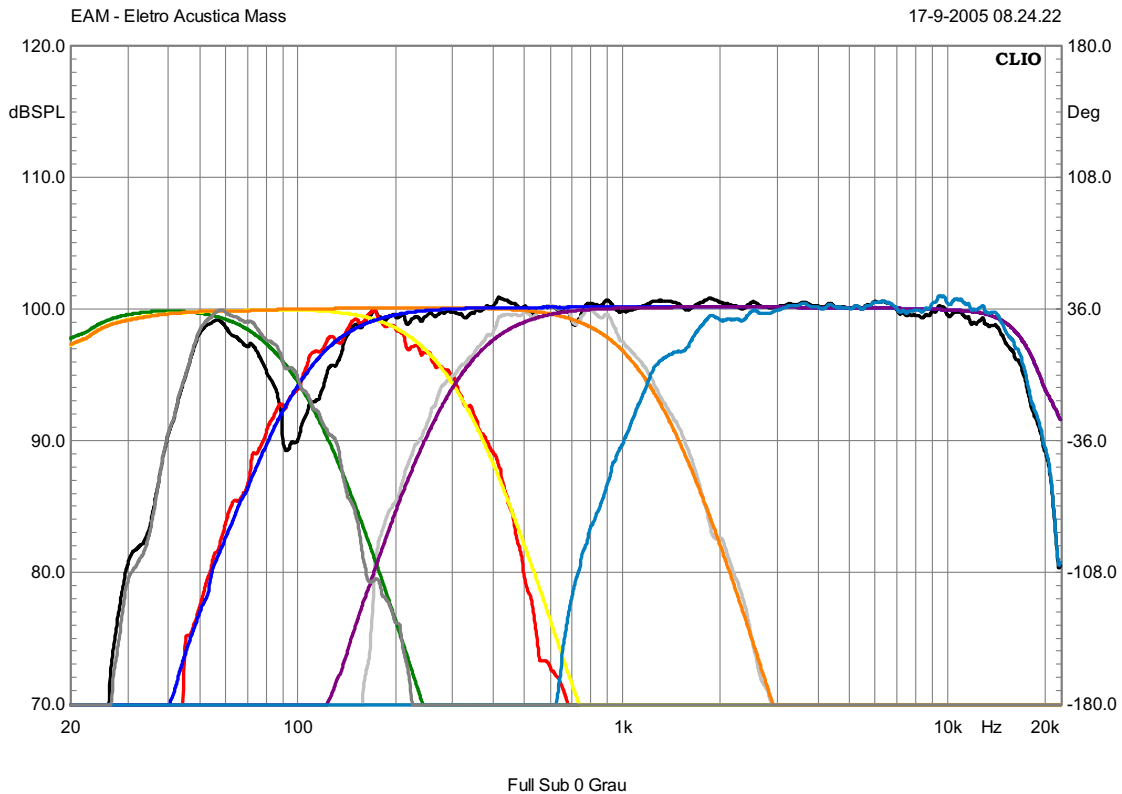
**Fig. 43 – Medidas do delay das quatro vias do conjunto PAS3 Opção 3.**

A Fig. 43 mostra a medição de delay de cada via. O Programa que estamos utilizando para as medições é o CLIOwin7, que mede automaticamente o delay juntamente com a varredura de MLS para a resposta em frequência. Para visualizá-lo, basta apenas selecionar “Time Domain” na barra de ferramentas superior do programa, tão logo seja concluída a varredura com a MLS.

Os valores encontrados foram:

Caixa Acústica	Transdutor	Delay ms	Diferença ms
PAS3G1	2x18SW1P	7.49	1.04
PAS3MA3	WPU1509	8.52	0.00
PAS3MA3	10MB1P	7.95	0.57
PAS3MA3	D 3500Ti Nd	7.63	0.89

A via mais atrasada em relação às demais é a do WPU1509 e deve ser considerado como o ponto zero. Devemos calcular a diferença entre ela e as demais, inserindo o delay no processamento. A coluna “Diferença ms” fornece este valor.



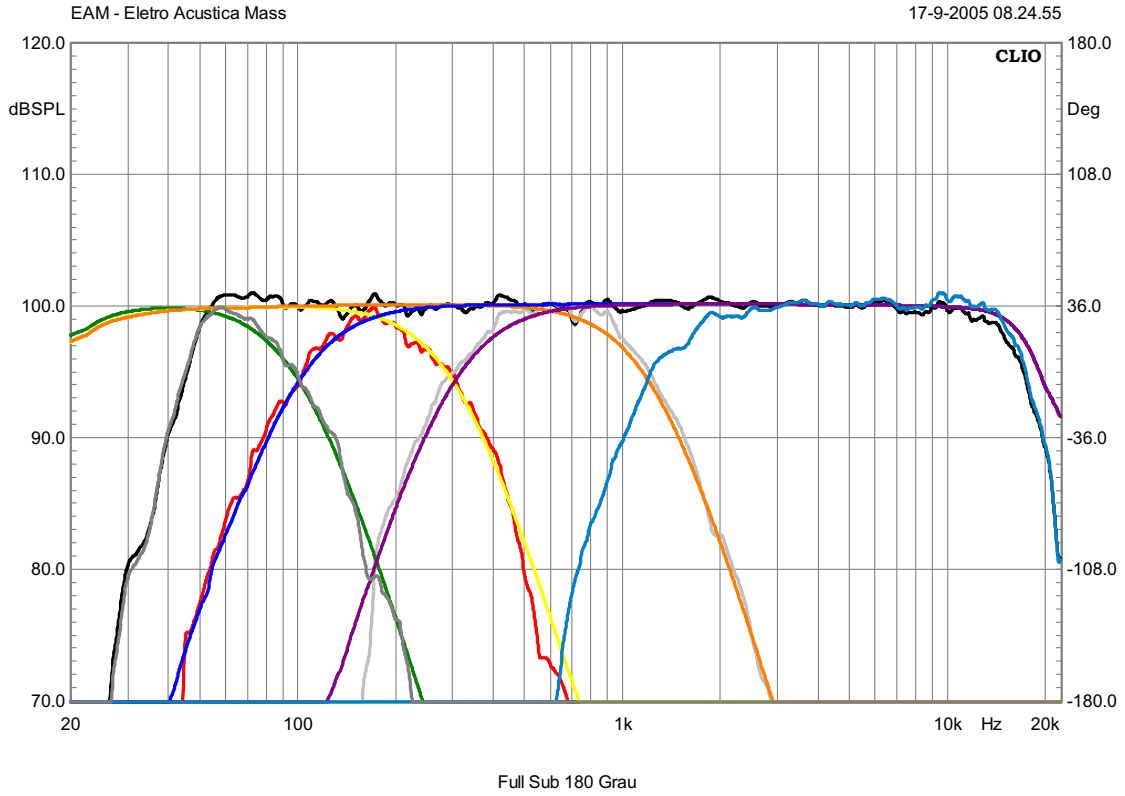
**Fig. 44 – Curva de Resposta Acústica com os delays aplicados nas vias do processador. A curva preta é a resultante.**

Após a aplicação do delay, deveríamos obter resposta plana em toda a faixa, mas isto não aconteceu. Observa-se um vale em 100Hz, na Fig. 44, que é justamente a frequência de transição entre a via de SUB e a de LOW.

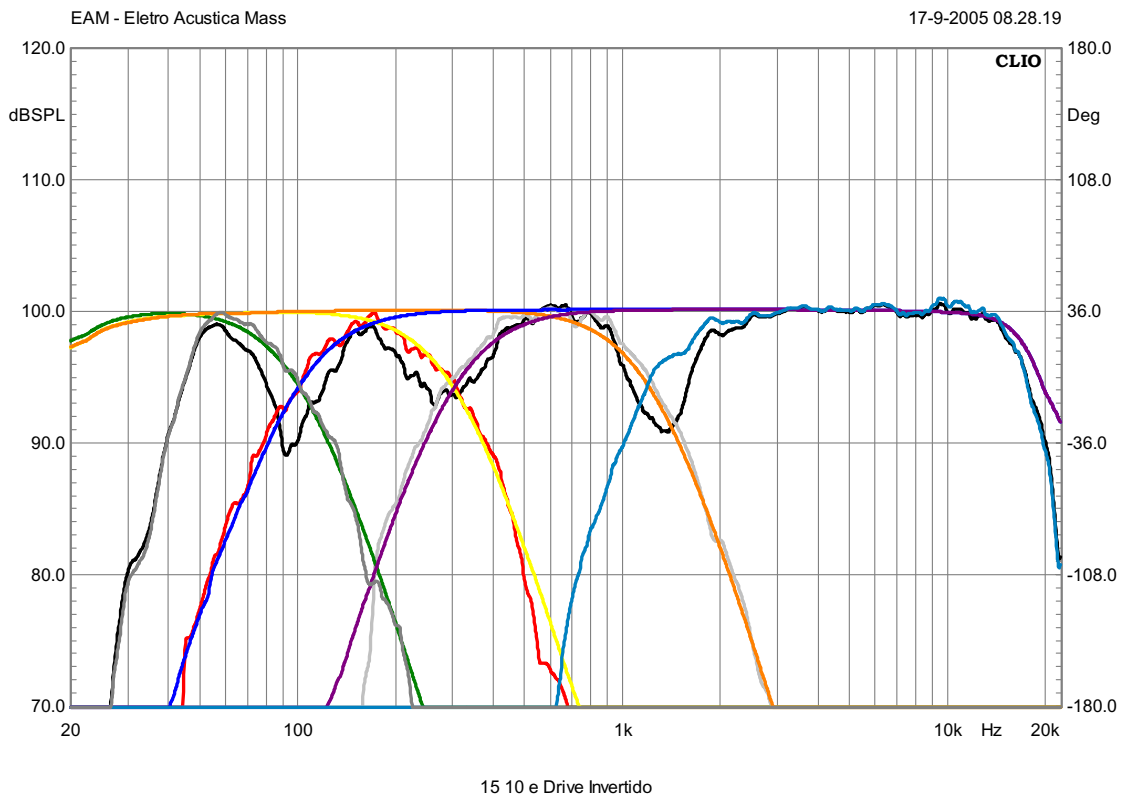
Esta situação não era esperada. Se todos os transdutores estão em fase elétrica, com as curva acústicas modeladas corretamente e os delays aplicados, a resultante acústica deveria ser plana.

Utilizando um Verificador de Polaridade (Phase Checker), notou-se que a fase da via de SUB estava acusticamente invertida, que foi resolvido com a simples inversão de fase da via de SUB no Processador, o que sanou o problema completamente, conforme podemos ver na Fig. 44A.

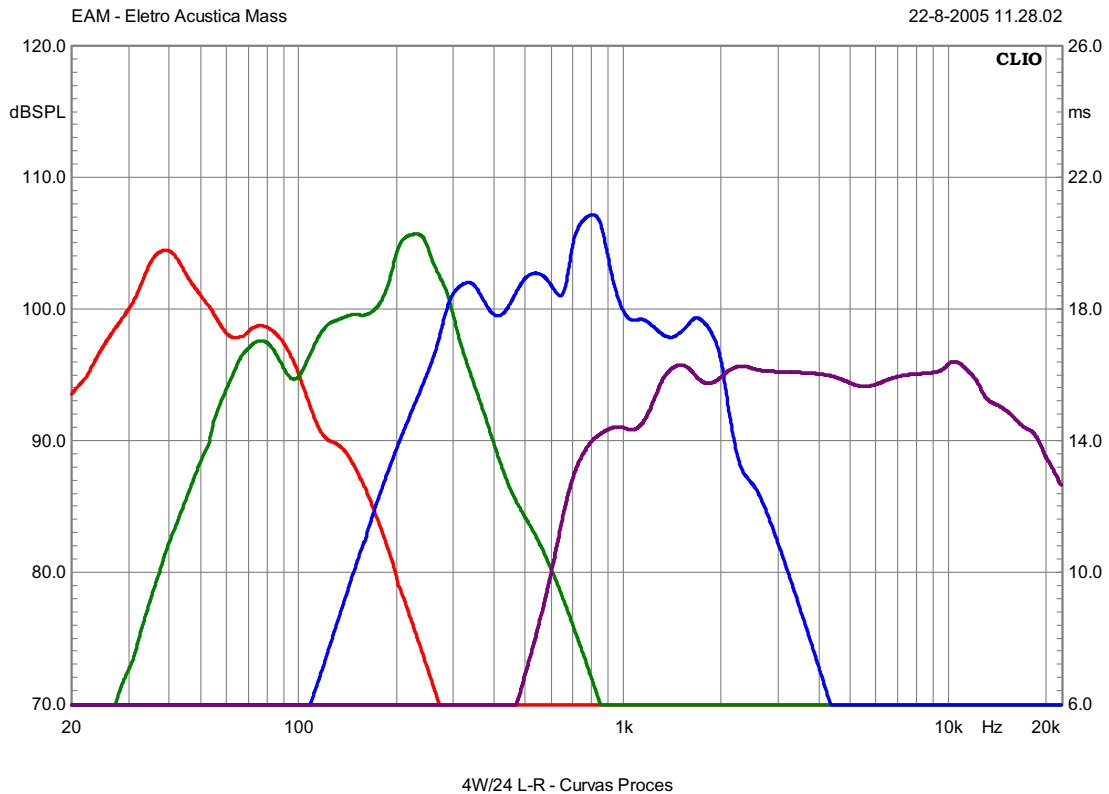
Por enquanto vamos nos abster de levantar qualquer hipótese para explicar o fenômeno, mas voltaremos a este assunto brevemente, em outro artigo, onde apresentaremos uma explicação lógica para esta situação.



**Fig. 44A - Resultante com a aplicação da defasagem de 180 graus na via de SUB.**



**Fig. 45 – Resposta Acústica com os delays aplicados, correção da fase do SUB e inversão nas vias Low Mid (15”) e Mid High (Drive). Preto: Soma com fases invertidas.**



**Fig. 46– Resposta Elétrica do Processador Digital a quatro vias.**

As Fig. 44, 44A e 45 mostram a resposta acústica completa da PAS3MA3. Na Fig. 44 o sistema está em fase, na 44A com a fase do SUB corrigida e na Fig. 45, a via do WPU 1509 e do D3500Ti Nd foram invertidas. Com a inversão de fase formaram-se três vales pronunciados nas freqüências de transição, mostrando o acerto do processamento.

A Fig. 46 mostra a Resposta Elétrica do Processador Digital para cada uma das vias.

A caixa PAS3G1 também teve sua resposta acústica medida com o mesmo método usado na PAS3MA3. Elas foram colocadas no piso e inclinadas da mesma forma, unidas pela extremidade. A via de 15” ficou junto à via de 18”. Isto é necessário para que possamos coletar corretamente o delay entre estas duas vias adjacentes.

Obviamente, quando as PAS3-MA3 forem instaladas em sistemas fly, o novo delay deverá ser encontrado e introduzido no processamento. Mas isto só é necessário entre a via de 15” e a de 18”. As demais permanecem inalteradas.

Este procedimento evitará muitas dores de cabeça. O desalinhamento entre estas duas vias provoca um vale considerável na freqüência de transição, descaracterizando todo o trabalho de alinhamento. O som perde presença em 100Hz, obrigando o operador a aumentar consideravelmente a potência enviada a estas vias, na tentativa, muitas vezes mal sucedida, de corrigir o vale. A distorção vem forte e há o risco de danificar os falantes.

**EAM – ELETRO ACÚSTICA MASS**  
**PROCESSAMENTO PARA CAIXA MODELO: PAS 3 - OPÇÃO 3 Selenium®**  
 Kit de Falantes: 2x 18SW1P – WPU1509 – 10MB1P – D 3500Ti-Nd  
 Equipada com Processador Passivo Bi / Tri Amp. EAM® modelo MA3 BI/TRI

CRIADO EM 23 /08/2005

**PROGRAMAÇÃO DO CROSSOVER DIGITAL EM QUATRO VIAS**

VIA	POLARID.	HPF Hz / Shape	LPF Hz / Shape	GANHO dB	DELAY ms
1 - SUB	-	20 BUT 24	104 L-R 24	0	1.04
2 – LOW	+	68 BES 24	330 L-R 24	-3.0	0
3 –MID	+	284 L-R 24	1.67 L-R 24	-5.0	0.57
4 –HIG	+	1k BUT 24	18k BUT 24	-13.0	0.89

**EQUALIZADORES NA VIA 1 – SUB (2x 18SW1P)**

Nº	TIPO	GANHO dB	FREQUÊNCIA Hz	BW 8ª	Q
1	Paramétrico	+1.5	38	0.16	6.3
2	Paramétrico	-5.5	61	0.20	5.0
3	Paramétrico	-5.0	109	0.16	6.3
4	Paramétrico	-6.5	184	0.20	5.0

**EQUALIZADORES NA VIA 2 – LOW (WPU1509)**

Nº	TIPO	GANHO dB	FREQUÊNCIA Hz	BW 8ª	Q
1	Paramétrico	-3.0	75	0.31	3.2
2	Paramétrico	-7.0	98	0.16	6.3
3	Paramétrico	-1.5	145	0.10	10.0
4	Paramétrico	-2.7	176	0.10	10.0
5	Paramétrico	+8.0	223	0.10	10.0
6	Paramétrico	+4.0	266	0.11	8.9
7	Paramétrico	-4.3	428	0.36	2.8

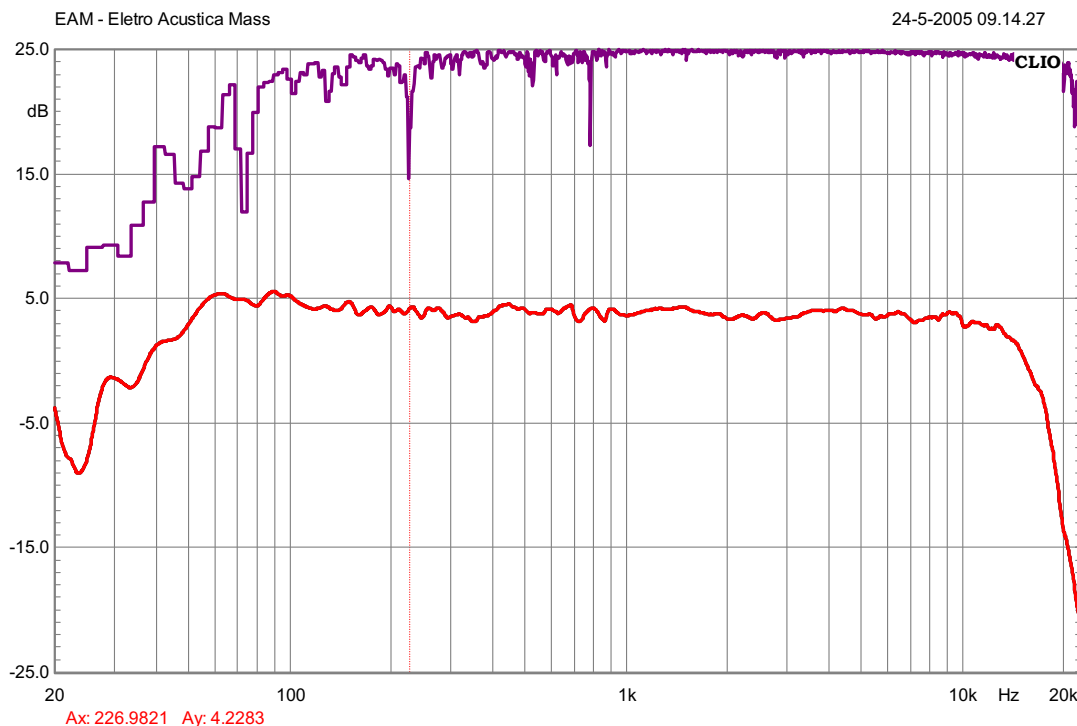
**EQUALIZADORES NA VIA 3 – MID (10MB1P)**

Nº	TIPO	GANHO dB	FREQUÊNCIA Hz	BW 8ª	Q
1	Paramétrico	+5.0	316	0.11	8.9
2	Paramétrico	-4.4	428	0.10	10.0
3	Paramétrico	+1.5	510	0.18	5.6
4	Paramétrico	-7.9	691	0.10	10.0
5	Paramétrico	+10.5	770	0.10	10.0
6	Paramétrico	-5.0	1k	0.11	8.9
7	Paramétrico	-3.5	1.32k	0.11	8.9
8	Paramétrico	+6.0	1.82k	0.10	10.0
9	Paramétrico	-4.5	2.16k	0.10	10.0

**EQUALIZADORES NA VIA 4 – HIGH (D3500Ti-Nd)**

Nº	TIPO	GANHO dB	FREQUÊNCIA Hz	BW 8ª	Q
1	Paramétrico	+3.0	738	0.20	5.0
2	Paramétrico	-4.5	1.14k	0.16	6.3
3	Paramétrico	+2.0	1.44k	0.14	7.1
4	Paramétrico	-2.0	1.86k	0.11	8.9
5	Paramétrico	+1.0	2.21k	0.13	7.9
6	Paramétrico	-1.4	5.54k	0.25	4.0
7	Paramétrico	+3.0	11.2k	0.10	10.0
8	Paramétrico	-3.5	12.5k	0.10	10.0
9	Paramétrico	-3.5	15.8k	0.10	10.0

Fig. 47 – Tabela para processamento das Caixas PAS3-G1 e PAS3-MA3 no modo 4 vias. Notar na PROGRAMAÇÃO DO CROSSOVER, a Polaridade da Via 1 – SUB invertida.



**Fig. 48 – Resposta em frequência do sistema PAS3 Opção 3 em quatro vias “ao vivo”, e a curva de coerência.**

A Coerência é um parâmetro que auxilia na verificação de irregularidades na resposta. Ela indica o quanto o sinal elétrico enviado à caixa é igual ao que está sendo reproduzido acusticamente. O ideal seria um valor de 100% em toda a faixa. No caso da PSA3 - MA3, temos dois pontos principais onde a Coerência não é igual a 100 %: 226 Hz e 800 Hz. Se a Curva da Resposta em Frequência for observada com uma resolução de 1/12 de oitava ou sem suavização alguma (smoothing), veremos estes pontos como vales ou picos. O vale em 70 Hz na curva de coerência não deve ser levado em consideração, porque no momento da captura da curva, pode não haver ocorrido sinal elétrico ou as condições do ambiente “mascararam” a leitura. Realmente, é bastante difícil obter respostas “limpas” abaixo de 100 Hz, se o ambiente não for controlado.

Neste caso, devido à faixa muito estreita dos vales na Coerência, nossos ouvidos não conseguem captar a irregularidade. Pode-se considerar o sistema medido como quase perfeito. Destaque para a faixa que vai dos 1000 Hz a 20 KHz, coberta pelo Driver D3500Ti-Nd, com coerência de 100%, que confirma a excelência do produto.

Notável também é que a alta eficiência do Drive permitiu que a potência aplicada a ele ficasse 13 dB abaixo da via de Sub!

Com isso, encerramos o processamento para o sistema PAS3 Opção 3 em quatro vias.

Uma análise subjetiva ouvindo o resultado, surpreende pela alta eficiência, graves profundos, sem reforço, e perfeita definição em toda a faixa de áudio.

O desempenho dos falantes 18SW1P na caixa PAS3G1 é algo que não estamos acostumados a ouvir, tamanha a qualidade e a definição na região das baixas frequências.

### 3.2 - Tri Amplificado (PAS3-MA3 em duas vias + Sub Woofer PAS3-G1)

Nesta opção, comutamos a PAS3-MA3 para a função Bi - Amplificada. Como dissemos, os transdutores de 15 e 10 polegadas passam a estar em uma mesma via ativa, providenciada pelo divisor passivo processado MA3 BI/TRI, especialmente desenvolvido para este conjunto.

Agora, teremos uma via para os transdutores de 18", uma para o conjunto 15" e 10" e outra para o Driver.

Passaremos a chamar estas vias de Sub, Low e High para facilitar a descrição.

O procedimento para o ajuste do processador continua o mesmo. Contaremos agora com uma facilidade maior: as Frequências de corte escolhidas foram 100 e 1200Hz, que estão separadas por uma razão maior que 10 (no caso, 12), o que é extremamente adequado para uso do modelo Linkwitz – Riley de 24 dB/8ª.

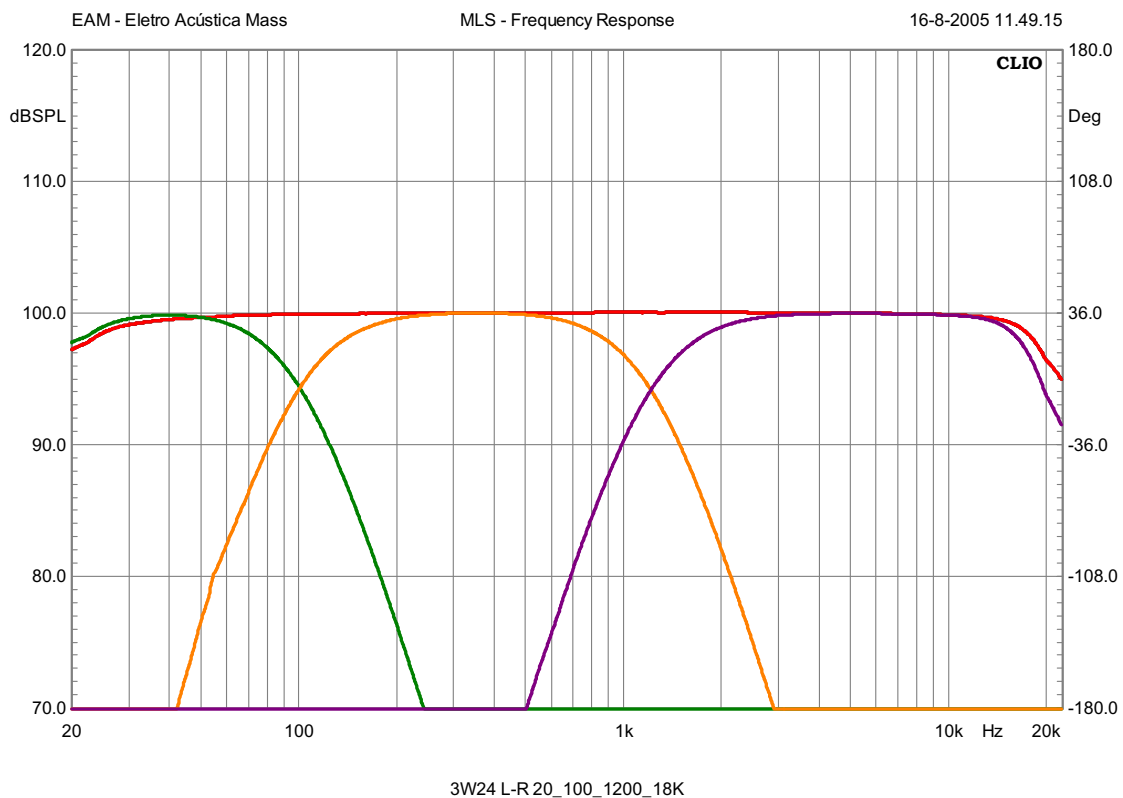
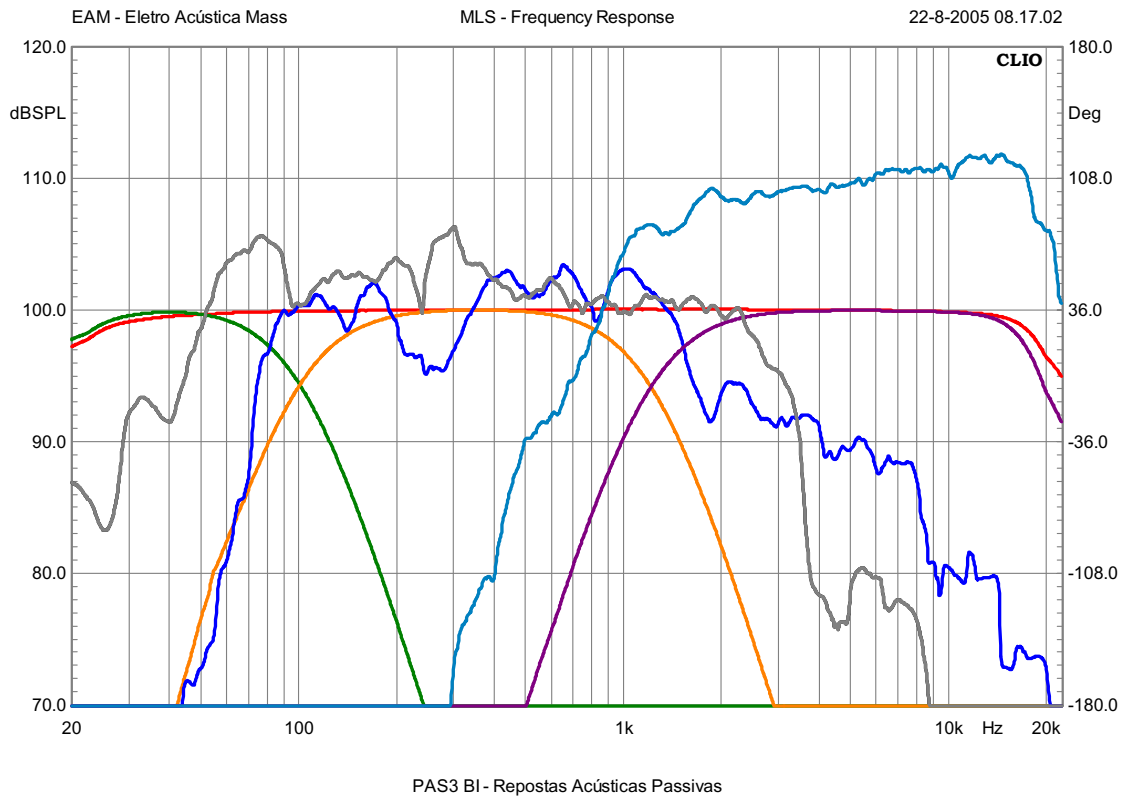


Fig. 49 – Curvas Elétricas (targets) para modelagem Acústica da PAS3 - MA3.

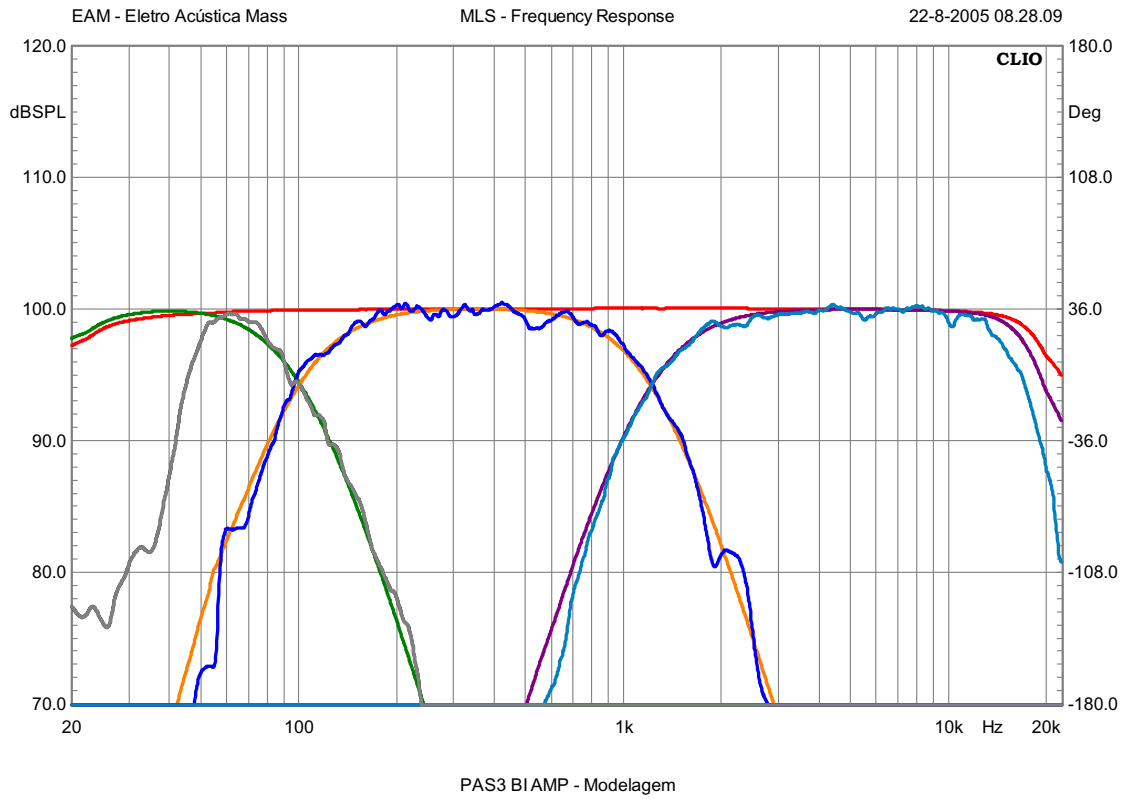
A Fig. 49 mostra o modelo a ser seguido para o processamento das vias do sistema PAS3 Opção 3. A curva Verde é a do Sub, a Laranja do Low e a Roxa do High. A resultante em vermelho é a que deverá ser obtida, se a modelagem seguir corretamente os procedimentos já vistos.



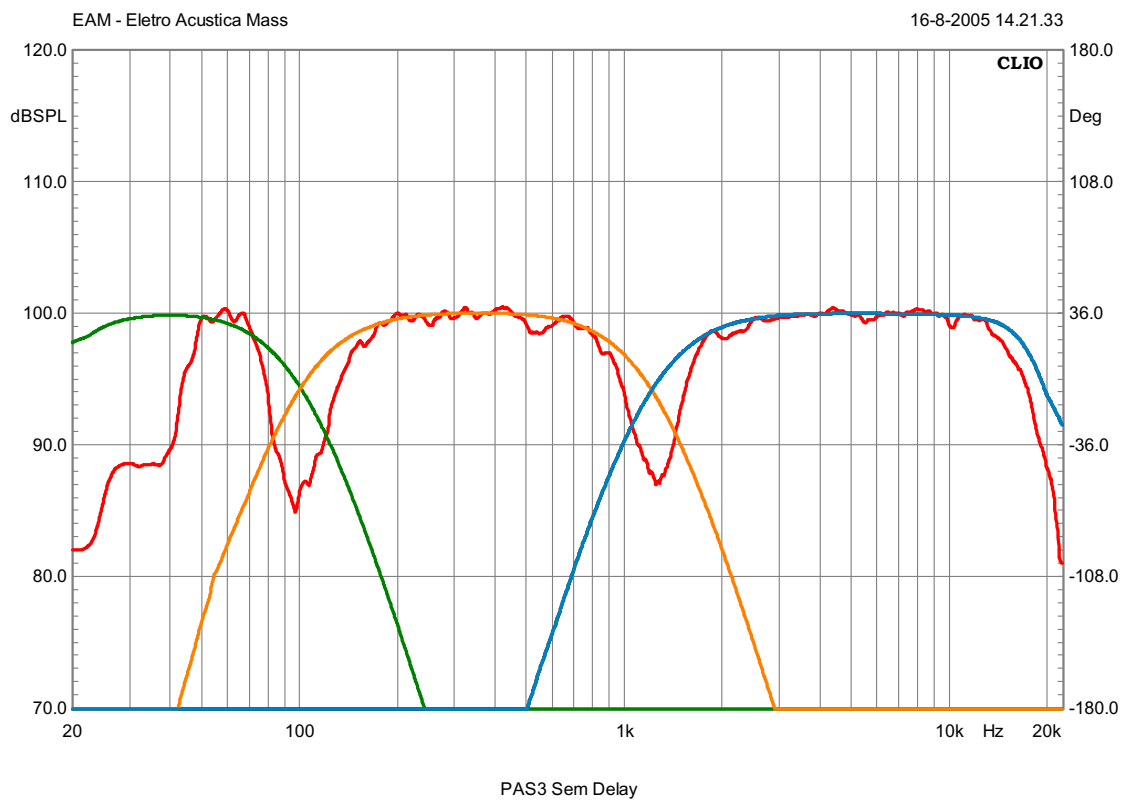
**Fig. 50 - PAS3 Opção 3 TRI AMP – Respostas somente com processamento passivo. Cinza: Sub; Azul: Low; Azul Claro: High.**



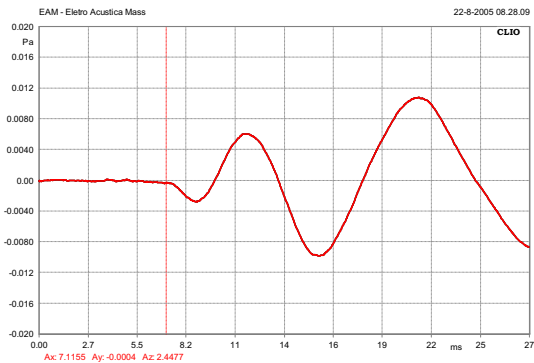
**Método utilizado para medir a resposta do conjunto PAS3 – Opção 3 – O microfone deve ser posicionado a 2 metros de distância da caixa. Ver Fig. 23.**



**Fig. 51 – Curvas Acústicas do sistema PAS3 Opção 3 modeladas sobre as Elétricas.**

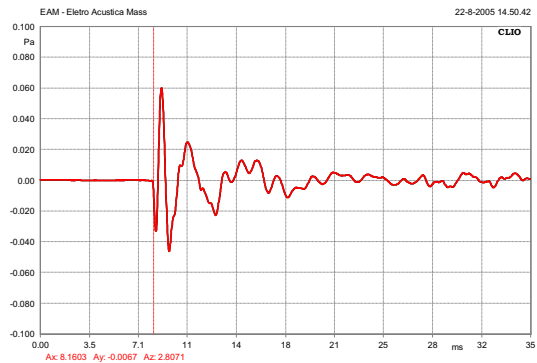


**Fig. 52 – Resultante obtida sem correção de Delay – Vermelho: Resposta Full**



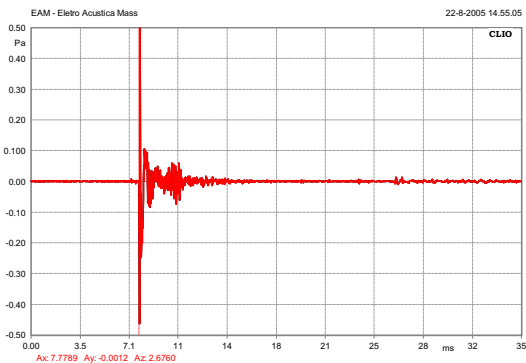
Delay Sub

### Delay da Via Sub



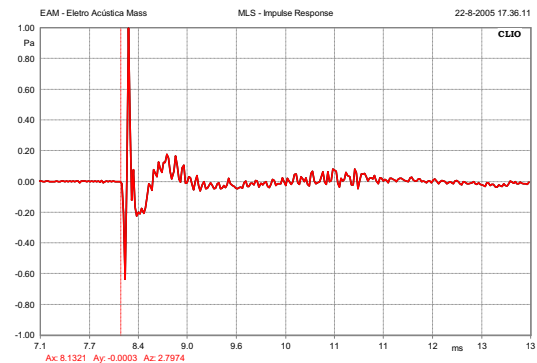
Delay 15 + 10

### Delay da Via Low



Delay Hig

### Delay da Via High



PAS3 - Delay Full com Microfone a 2 metros.

### Delay com Microfone a 2 metros

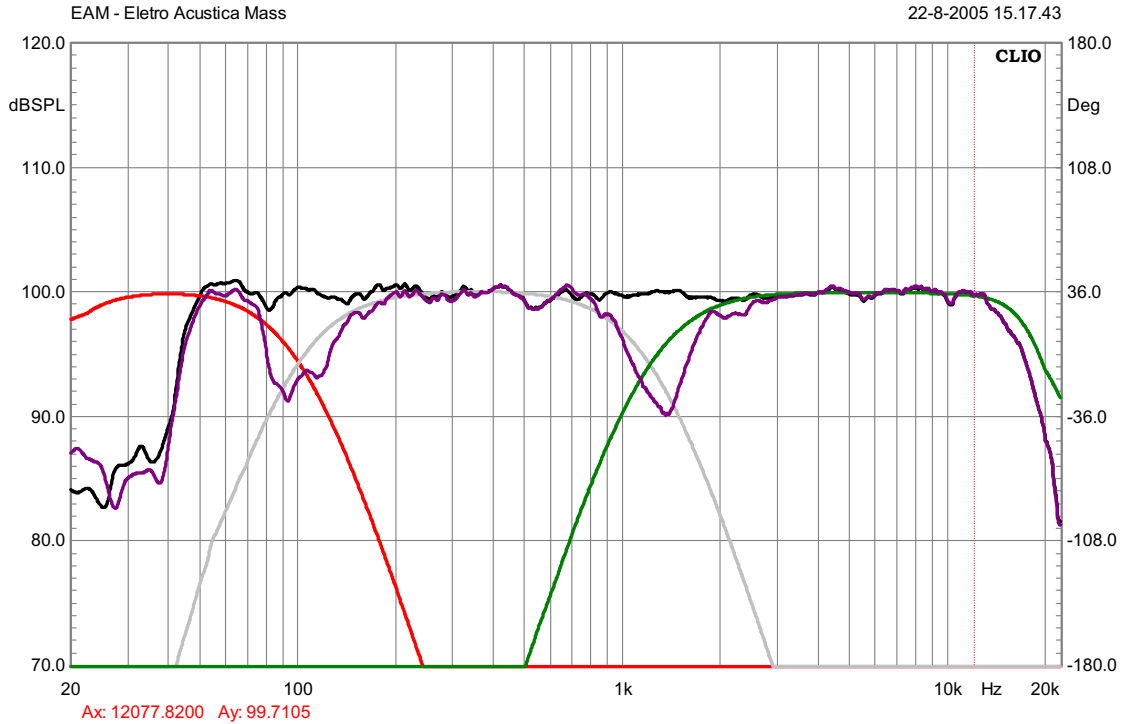
Fig. 53 – Medidas dos delays nas vias do sistema PSA3 Opção 3 no modo três vias.

Caixa Acústica	Transdutor	Delay ms	Diferença ms
PAS3G1	2x18SW1P	7.10	1.04
PAS3MA3	WPU1509+10MB1P	8.14	0.0
PAS3MA3	D3500Ti-Nd	7.76	0.38

Fig. 54 – Tabela de Diferenças entre os delays das vias.

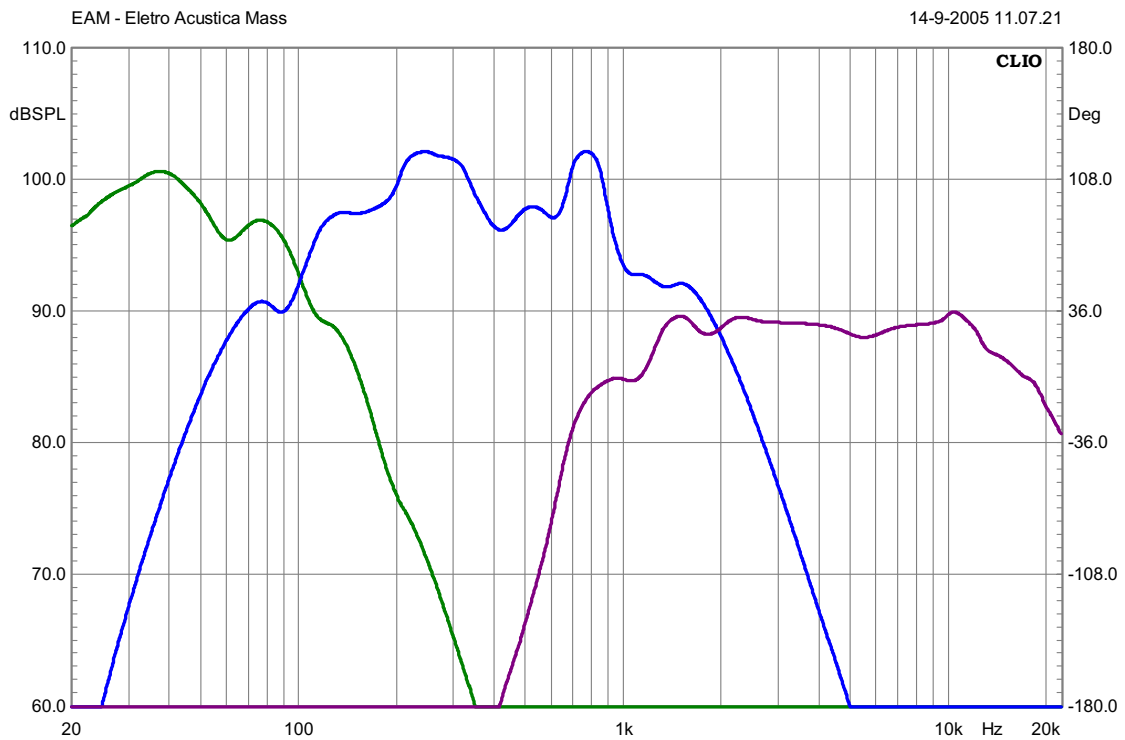


Foto do Painel Traseiro da MA3, Detalhando a Chave Comutadora BI/TRI AMP.



3W24 L-R G-1 + MA3 Soma e Inv.

**Fig. 55 – Resultante após a aplicação do delay no processador. Roxo: com a fase invertida na via Low. Preto: em Fase. A via de SUB está com a fase invertida em 180 graus, conforme já visto.**



PAS 3 Curvas Eletricas 3 Vias

**Fig. 56 – Curvas Elétricas do Processador em Três vias. Verde: SUB; Azul: LOW; Roxo: HIG.**

## EAM – ELETRO ACÚSTICA MASS

**Tabela de Processamento Ativo Para o Sistema PSA3 – Opção 3 Selenium:  
Equipada com Processador Passivo MA3 BI /TRI AMP – E.A.M. (Protótipo)**

Criada em 23 / 08 / 2005

### PROGRAMAÇÃO DO CROSSOVER DIGITAL EM 3 VIAS

VIA	POLARID.	HPF Hz / Shape	LPF Hz / Shape	GANHO dB	DELAY ms
<b>1 - SUB</b>	-	20 BUT 24	104 L-R 24	0	1.04 ms
<b>2 – LOW</b>	+	68 BES 24	1.6k L-R 24	-3.0	0
<b>4 –HIG</b>	+	1k BUT 24	18k BUT 24	-13.0	0.38 ms

### EQUALIZADORES NA VIA 1 – SUB ( 2x 18SW1P)

Nº	TIPO	GANHO dB	FREQUÊNCIA Hz	BW 8ª	Q
1	Paramétrico	+1.5	38	0.16	6.3
2	Paramétrico	-5.5	61	0.20	5.0
3	Paramétrico	-5.0	109	0.16	6.3
4	Paramétrico	-3.5	184	0.20	5.0

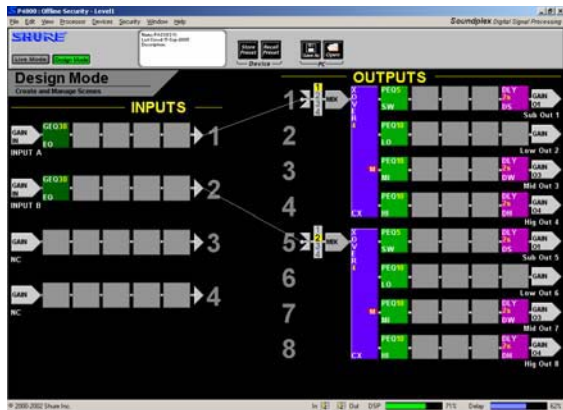
### EQUALIZADORES NA VIA 2 – LOW (WPU1509 + 10MB1P)

Nº	TIPO	GANHO dB	FREQUÊNCIA Hz	BW 8ª	Q
1	Paramétrico	-6.0	94	0.13	7.9
2	Paramétrico	+2.0	127	0.11	8.9
3	Paramétrico	+5.5	233	0.10	10.0
4	Paramétrico	+4.5	296	0.13	8.9
5	Paramétrico	-4.5	419	0.13	8.9
6	Paramétrico	-4.0	647	0.10	10.0
7	Paramétrico	+7.5	770	0.10	10.0
8	Paramétrico	-6.5	1k	0.11	8.9
9	Paramétrico	-4.5	1.29k	0.14	7.1

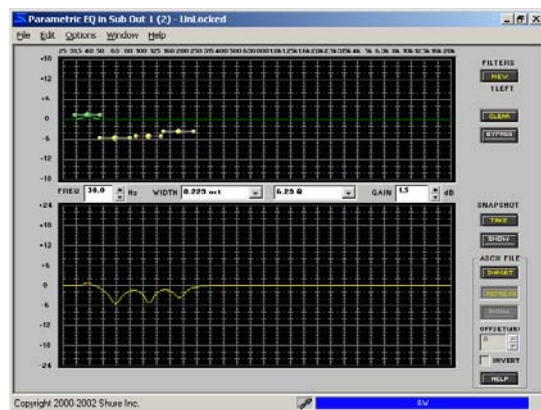
### EQUALIZADORES NA VIA 3 – HIG (D3500 Ti Nd)

Nº	TIPO	GANHO dB	FREQUÊNCIA Hz	BW 8ª	Q
1	Paramétrico	+3.0	738	0.20	5.0
2	Paramétrico	-4.5	1.14k	0.16	6.3
3	Paramétrico	+2.0	1.44k	0.14	7.1
4	Paramétrico	-2.0	1.86	0.11	8.9
5	Paramétrico	+1.0	2.21k	0.13	7.9
6	Paramétrico	-1.5	5.44k	0.25	4.0
7	Paramétrico	+3.0	11.2k	0.10	10.0
8	Paramétrico	-3.5	12.5k	0.10	10.0
9	Paramétrico	-3.5	15.8k	0.10	10.0

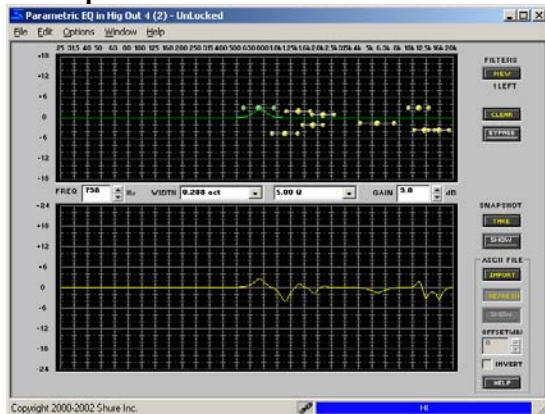
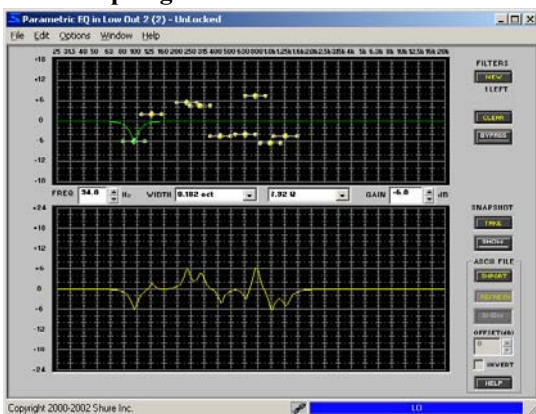
**Fig. 57 – Tabela de Processamento para a PAS3 – Opção 3 em Três vias. Como visto anteriormente, na PROGRAMAÇÃO DO CROSSOVER, a Polaridade da via 1 - SUB é negativa.**



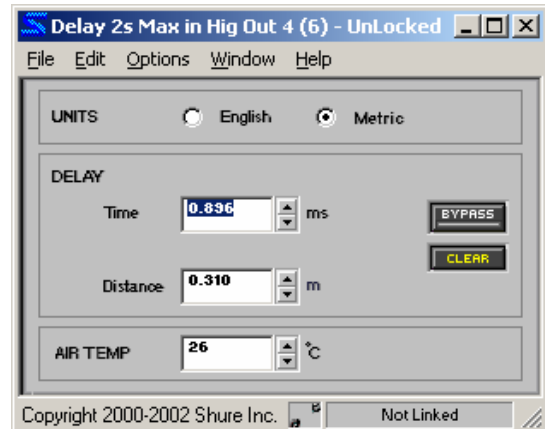
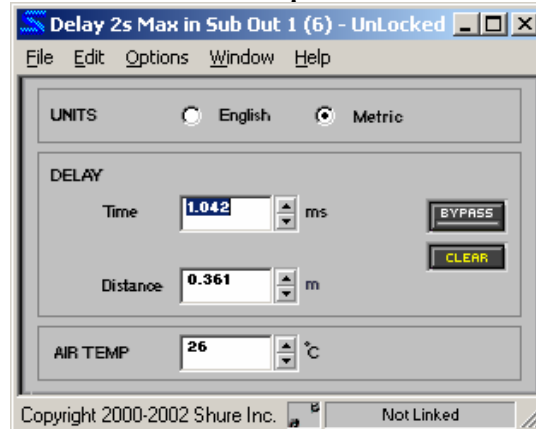
Topologia do Crossover



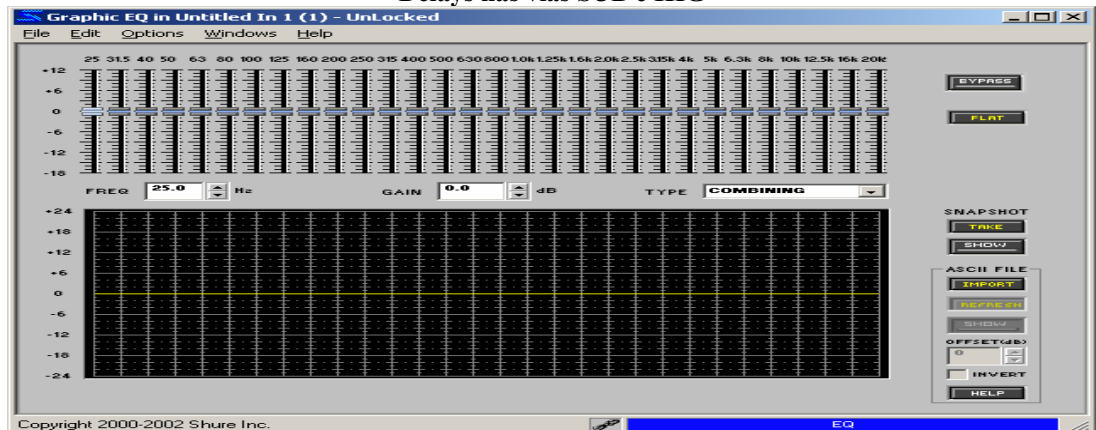
Equalizadores Paramétricos na via SUB



Equalizadores Paramétricos nas vias LOW e HIG.



Delays nas vias SUB e HIG



Equalizador Gráfico de 31 bandas estéreo nas duas entradas.

Fig. 57 – Telas do Processador Shure P4800 utilizado neste artigo, com o processamento da PSA3 em três vias. O equalizador gráfico de 31 bandas estéreo está disponível para ajustes de ambiente.

Nas Fig. 49 a 57, temos a evolução do ajuste, desde a escolha dos “targets”, até a tabela do Processamento em três vias.

Fig. 49 – “Targets” escolhidos em 100 e 1200 Hz, 24 dB/8ª Linkwitz – Riley.

Fig. 50 – Leitura individual das vias pós-divisor passivo.

Fig. 51 – Modelagem das curvas acústicas sobre os “targets”, utilizando os equalizadores paramétricos do Processador Digital.

Fig. 52 – Resultante obtida, antes da correção do delay entre as vias.

Fig. 53 – Medidas dos delays das vias.

Fig. 54 – Tabela com os valores de delay e a diferença entre eles.

Fig. 55 – Resultante após o delay haver sido inserido no processamento. Notar que a curva Roxa é a resultante com a via Low invertida, confirmando o acerto do ajuste. Esta inversão é feita momentaneamente no Processador Digital.

Fig 56 – Curvas elétricas obtidas no Processador Digital.

Fig. 57 – Páginas do Processador Shure P4800 com o processamento carregado.

Após o término do ajuste, comparamos o resultado do sistema em três e quatro vias. Auditivamente é difícil notar quem é quem. Aqui vale lembrar a relação custo / benefício para o usuário, já que ambos os sistemas se comportam quase da mesma forma em relação à pressão e resposta acústica.

A única ressalva a fazer seria que o amplificador utilizado para a reprodução da via Low (15”+10”), vai realizar uma tarefa um pouco mais “pesada”. Se no sistema a quatro vias a faixa Low vai de 100 a 300Hz, no de três vias vai de 100 a 1200Hz, obrigando o amplificador a fornecer um pouco mais de energia.

Isto não deverá constituir nenhum problema para os modernos amplificadores Classe H (sim, eles podem ser usados para esta faixa), e realizarão esta tarefa muito bem.

## Conclusão

Após passar por todas as etapas necessárias para o ajuste do sistema de caixas acústicas, seja ele residencial ou profissional, esperamos haver demonstrado que a metodologia sugerida é realmente prática e eficaz.

Não detalhamos aqui a programação do Processador Digital. Como possuem manual de utilização, apresentam variações de tipo para tipo e, como sua programação não é algo de aprendizado imediato, recomendamos que este assunto seja tratado individualmente pelos interessados. Alguns processadores são fornecidos com software para PC, o que facilita enormemente a programação. Com a simples conexão a uma porta RS232, o equipamento passa a ser comandado via computador, de um modo muito mais cômodo e flexível. Ao invés de procurarmos as várias e diminutas telas no painel do periférico, passaremos a desfrutar das facilidades de uma interface que usa o Sistema Operacional do Computador, o que é muito mais confortável.

Considerando que o Processamento de uma caixa acústica de P.A. deve ser feito, primeiramente, no “barracão”, nada mais justo que haver um PC à disposição. Até porque vamos necessitar dele para fazer funcionar o Analisador de Espectro de Áudio.

Nossos agradecimentos à:

**Eletrônica Selenium**, pelo fornecimento dos transdutores utilizados;  
**New Box**, pela construção das caixas PSA3MA3 e PAS3G1;  
**Studio R**, pelo fornecimento dos amplificadores utilizados nos testes;  
**Pride Music**, pelo fornecimento do Processador **Shure** P4800 utilizado nos testes.  
**Marcelo Marcos Polidoro**, Engenheiro de Desenvolvimento de Hardware em Telecomunicações, que gentilmente contribuiu na revisão deste artigo.  
**Walter Ullmann** – Engenheiro Mecânico e Programador em Linguagem C. Colaborador constante da E.A.M e também revisor deste trabalho.  
**Fernando Ferreira Caiuby** – Engenheiro de Materiais, integrante da equipe E.A.M, que fez a revisão final do texto.

Endereços eletrônicos das empresas participantes:

Eletrônica Selenium: [www.selenium.com.br](http://www.selenium.com.br) [homero@selenium.com.br](mailto:homero@selenium.com.br) (Homero Sette Silva)  
New Box: [www.newbox.com.br](http://www.newbox.com.br) [vendas@newbox.com.br](mailto:vendas@newbox.com.br) (Luiz Antonio / Gerson / Adilson)  
STUDIO R: [www.studior.com.br](http://www.studior.com.br) [studior@studior.com.br](mailto:studior@studior.com.br) (Ruy Monteiro)  
Pride Music: [www.pridemusic.com.br](http://www.pridemusic.com.br) [marinho@pridemusic.com.br](mailto:marinho@pridemusic.com.br) (Marinho Alves)  
E.A.M. - Eletro Acústica Mass [www.eam.com.br](http://www.eam.com.br) [suporte@eam.com.br](mailto:suporte@eam.com.br) (Vitorio F. Massoni)  
Walter Ullmann – [db\\_project@attglobal.net](mailto:db_project@attglobal.net)

**Pessoas que estiveram direta ou indiretamente envolvidas neste trabalho.**



Da esquerda para a direita, Vitorio, Homero, Eloiza, Jorge e Flávio, durante a 9ª Convenção AES Brasil, em 2005. Homero Sette é Consultor da Eletrônica Selenium, e os demais integram a equipe da E.A.M. – Eletro Acústica Mass.



**Homero Sette Silva, Ruy Monteiro (STUDIO R) e Vitorio F. Massoni**



**Gerson, Luiz Antonio e Adilson, da equipe da New Box Acoustic, diante da entrada da fábrica em Ribeirão Preto - SP.**

## APÊNDICE

### Breve Glossário.

**LPF (Low Pass Filter)**, **HPF (High Pass Filter)** e **BPF (Band Pass Filter)**: São as abreviações em inglês utilizadas para três tipos de filtros elétricos utilizados em áudio.

**LPF** – Filtro Passa Baixas: Permite a passagem de baixas frequências até o limite superior estabelecido.

**HPF** – Filtro Passa Altas: Permite a passagem de frequências além do limite inferior estabelecido.

**BPF** – Filtro Passa Banda: Permite a passagem de frequências entre dois limites estabelecidos.

**Shape**: Na tradução do inglês, é forma. Este termo é usado em relação à forma do filtro utilizada. Elas podem ser Linkwitz – Riley, Butterworth, Bessel, entre os mais utilizados. O Shape também deve ser acompanhado de outro parâmetro: a taxa de atenuação, em dB/oitava. Quanto maior a taxa de atenuação, maior será a inclinação da curva resultante do filtro. Esta taxa pode ser de 6, 12, 18, 24, 36, 48.... dB/oitava. A cada 6 dB/oitava, a fase resultante gira 90 graus. Assim, um filtro de 12 dB gira 180 graus e um de 24 dB gira 360 graus, o sinal de saída em relação ao de entrada.

**Decibel – dB**: O decibel é a décima parte do **Bel**. Não é uma unidade de medida, embora possa expressar em termos relativos o cociente entre duas quantidades. É necessário escolher uma referência para comparação. Por exemplo: estabelecemos que a referência é 1 Volt. Ao medirmos uma tensão igual a 2 Volts, é óbvio que a relação entre tensões dobrou, o que será expresso como 6 dB.

Para expressar uma razão de tensões em decibéis basta aplicar a fórmula  $20 \cdot \text{Log}_{10}(V_2 / V_1)$ . Se  $V_2 = 2 \cdot V_1$ , teremos  $20 \cdot \text{Log}_{10}(2)$ . Como  $\text{Log}_{10}(2)$  é igual a 0,3 teremos  $20 \cdot \text{Log}_{10}(2) = 6 \text{ dBv}$ . O “v”, colocado após o dB, indica uma referência igual a 1 V. Com uma calculadora científica, hoje bem popular, podemos determinar o valor do logaritmo de qualquer número. A base do logaritmo é 10.

Quando a relação é pequena, fica fácil escrever ou falar os números. Imagine se tivermos uma razão de 1.000.000 de vezes entre a entrada e saída de um circuito. O log de 1.000.000 é 6. Então,  $20 \times 6 = 120 \text{ dBv}$ , que é mais fácil falar e escrever. Isto é consequência da natureza exponencial do decibel: grandes razões são expressas por números pequenos.

O decibel pode aparecer das seguintes formas:

**dBv**: referenciado a 1 Volt.

**dBu**: referenciado a 0,775 Volts, considerando que o gerador possui uma impedância extremamente baixa, tal que a carga não mude o valor da tensão aplicada, quando conectada.

**dBm**: referenciado a 1miliWatt sobre uma carga de 600 ohms, dado por  $10 \cdot \text{Log}_{10}(P_2 / P_1)$  onde  $P_1$  é a potência de referência.

**dB SPL:** referenciado a Pressão Sonora  $p$ . Zero dB SPL refere-se a 20 uPa ou 0,00002 N/m<sup>2</sup> ou 0,0002 mbar ou 0,0002 dinas/cm<sup>2</sup>. A relação é dada por:  $SPL = 20 \cdot \text{Log}_{10}(p_2/p_1) = 20 \cdot \text{Log}_{10}(p_2/0,00002)$ .

**dBVU (Unit Volume):** Utilizado para indicar quando o equipamento medido está em sua máxima saída antes da distorção. Note que não há uma correspondência com dBV. Podemos ter um equipamento cujo zero dBVU seja de +20dBV ou outro valor qualquer. Alguns amplificadores têm VU's calibrados para esta finalidade, indicando quando a máxima potência foi atingida.

**dBFS (Full Scale):** Indica quando um equipamento com conversão analógica para digital chegou ao máximo nível antes da distorção. Esta distorção é muito mais severa que no caso de aparelhos puramente analógicos e o nível nunca deve ultrapassar zero dBFS (até porque não existe +3dB nos Vus dos aparelhos digitais). Nos modernos processadores digitais, com conversão a 24 bits, o maior sinal a ser processado é de 144 dBFS e portanto, bem confortável para a reprodução sem distorção. O oposto, isto é, níveis muito baixos de entrada ficam próximos do ruído e não devem ser utilizados. Esta situação ocorreria, por exemplo, quando o amplificador tem um ganho muito elevado, obrigando-nos a enviar um baixo nível de sinal para a máxima potência. Operando com amplificadores com sensibilidade de entrada de 0 dBu ou 40X (+7.2 dBu) este problema não ocorre.

Há inúmeros outros formatos de decibéis, mas são pouco utilizados em áudio. Recomendamos o Artigo "Tudo Sobre Decibéis" de Peron Rarez e Leonel Dumont, publicado na Revista Áudio, Música e Tecnologia, edições 165 e 167 de junho e julho/2005, onde os autores conseguiram uma leveza de texto própria para os "poucos amigos" da matemática.

**Analisador de Espectro de Áudio:** É um instrumento capaz de mostrar simultaneamente um largo espectro de frequências. No caso do áudio, esta faixa costuma ir de 10 Hz a 22 KHz. A visualização da resposta necessita de um monitor de PC (ou um display de leds), para que um gráfico do tipo x,y seja apresentado. No eixo x temos a frequência e no y a amplitude. Assim, após a medida, podemos ver na tela uma curva de resposta que mostra o nível ao longo da varredura de frequências. Tanto pode medir a resposta acústica de um sistema como a elétrica de um periférico qualquer (equalizador, crossover, etc). As medidas podem ser por exemplo em dBV, dBu, dB SPL e também podem ser aplicados filtros de ponderação.

São acompanhados de Gerador de Sinais (MLS, SIN, White, Pink), medidores de fase, delay, coerência e alguns, como no caso do CLIOwin7, com um multímetro digital, que mede Volts, Ohms, Capacitância, Indutância, THD, IMD. Praticamente todos os recursos necessários para medidas eletro-acústicas.

Alem disso, podem ainda executar medidas da resposta em frequência "ao vivo", utilizando uma Função de Transferência. Esta última é muito interessante porque permite ajustar o som de um show enquanto ele está acontecendo. Não tem a ver com processamento; o que se vai corrigir serão as mudanças que o som do PA sofreu em função do ambiente, do aquecimento das bobinas dos transdutores, utilizando um equalizador. E isto em questão de minutos.

**Processador Digital:** Aparelho que reúne várias funções, implementadas por circuitos integrados DSP (Digital Signal Processor).

São dedicados às funções do áudio profissional e fazem a conversão do som analógico em digital, processam com programas residentes, reconvertem para analógico antes de o entregarem na saída.

Funções como crossover de múltiplas vias, equalizadores gráficos e paramétricos, limiter, compressor, eliminador de microfonia, gates, e outras são comuns. Normalmente possuem um display com várias páginas, onde podemos verificar os parâmetros programados e fazer alterações nos comandos, conforme desejarmos. Justamente aí reside a versatilidade destes aparelhos: podemos programá-los segundo nossa necessidade. Como existe um atraso desde o momento em que o som chega à sua entrada e é entregue na saída (latência), pode-se obter efeitos “no passado”, impedindo que sinais não desejados sejam colocados na saída.

Com as modernas tecnologias, eles são capazes de fazer a conversão analógica para digital com taxa de conversão de 24 bits e amostragem de 96kHz. Isto produz um som de excelente qualidade em sua saída, praticamente comparável ao analógico de entrada.

A escolha destes aparelhos deve recair sobre aqueles que possuem maior capacidade de memória de processamento, que permitem a aplicação de inúmeras funções antes de seu esgotamento. É comum que os processadores mais econômicos somente permitam o uso de 4 equalizadores paramétricos por via. Na maioria das vezes, isto não é suficiente.

Não há como comparar um Crossover Analógico com um Processador Digital: o analógico já pode ser colocado na categoria de “vintage”, tal a distância tecnológica que os separam.

**Gate:** Do inglês: porta, portão. No áudio, define uma facilidade que um circuito possui de desligar a via caso o sinal caia abaixo de certo valor pré-estabelecido. Útil para microfones de bateria, onde o instrumento que não estiver sendo tocado, está com o microfone desligado, “limpando” o som captado.

**Compressor:** Comprime o sinal elétrico assim que ultrapassa um valor pré-determinado. Equipamento obrigatório em um PA, permitindo que uma maior pressão sonora média seja obtida antes da distorção.

**Limiter:** Do inglês, limitador. Também obrigatório no PA. Limita o máximo nível de sinal que vai para a saída de um periférico. É o derradeiro ponto além do qual o som não deve passar, sob pena de destruição dos transdutores. A correta combinação de Compressor e Limiter é extremamente vantajosa para o bom desempenho de um sistema de som profissional.

**Target:** Do inglês, alvo, objetivo. Nos Analisadores de Espectro, são as curvas que ficam “congeladas” na tela e que servem como referência para o processamento. Pode-se congelar uma leitura, modificar algo, medir novamente e comparar com a leitura anterior. Muito útil quando fazemos ajustes de caixas acústicas, onde podemos acompanhar a evolução após a aplicação de uma correção no som.

Dúvidas? Teremos prazer em ajudá-lo em [suporte@eam.com.br](mailto:suporte@eam.com.br).