

# ANALISE COMPARATIVA DOS DIFUSORES DE SCHROEDER COM A ORGANIZAÇÃO SERIAL NA TÉCNICA DE COMPOSIÇÃO COM 12 NOTAS DE SCHOENBERG: PROPOSTA DE MÉTODOS PARA *DESIGN* DE DIFUSORES ACÚSTICOS

**José A. Mannis\* & Jonatas Manzolli\*\***

\*Departamento de Música, IA / Centro de Documentação de Música Contemporânea - Unicamp

\*\*Departamento de Música, IA / Núcleo Interdisciplinar de Comunicação Sonora - Unicamp

e-mail : jamannis@uol.com.br, jonatas@nics.unicamp.br

Resumo: Apresentação da técnica de composição com doze notas de Schoenberg. A análise da estrutura dos difusores de Schroeder em comparação com a técnica de composição com 12 notas de Schoenberg mostram que quando o difusor possui estrutura complexa e, ao invés de repetições idênticas ou retrógrados, adota algoritmos que resultam numa série de N elementos (N é inteiro e número primo), induzidos de forma que seqüencialmente temos o Original seguido da sua Inversão, o desempenho do difusor é melhor. Com base nos aspectos positivos dos difusores de Schroeder bem como em trabalhos e experimentos no campo da difusão de ondas sonoras empregando outras técnicas que seqüências numéricas e que deram bons resultados, apresenta-se, ao final, novas propostas de design de estruturas de difusão.

## 1. COMPOSIÇÃO COM DOZE NOTAS<sup>1</sup>

Schoenberg formulou seu pensamento sobre a composição com doze notas em 1950, muito depois de ter escrito diversas obras com esse método. Basicamente, consiste no uso constante e exclusivo de uma série de 12 notas diferentes, na qual nenhuma delas é repetida antes de completar o total cromático. Por questões óbvias essa série não deve ser de modo algum idêntica à escala cromática (Figura 1), na qual o intervalo entre as notas da série é constante e igual a [1] (segunda menor). Ao contrário, a série deve conter alturas que formam entre si variados intervalos.

B	C	C#	D	Eb	E	F	F#	G	G#	A	Bb
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

alturas da série											
B	C	C#	D	Eb	E	F	F#	G	G#	A	Bb
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2 <sup>a</sup> m	2 <sup>a</sup> m	2 <sup>a</sup> m	2 <sup>a</sup> m	2 <sup>a</sup> m	2 <sup>a</sup> m	2 <sup>a</sup> m	2 <sup>a</sup> m	2 <sup>a</sup> m	2 <sup>a</sup> m	2 <sup>a</sup> m	2 <sup>a</sup> m
intervalos entre as notas da série											

Figura 1: 11 notas do total cromático (do a si = 0 a 11) Intervalos constantes e iguais a 1, segunda menor.

B	C	C#	D	Eb	E	F	F#	G	G#	A	Bb
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

1 SCHOENBERG, Arnold. *Stile e idea*. Tradução: Maria Giovanna Moretti e Luigi Pestalozza. Milano : Rusconi e Paolazzi, 1960. xlvii, 237p. (p.107-147, Composizione con dodici note) (ed. orig. New York : Philosophical Library, 1950)

alturas da série											
A	Bb	E	D	Eb	Db	G	F	F#	G#	B	C
10	11	5	3	4	2	8	6	7	9	0	1
1	-6	-2	1	-2	6	-2	1	2	-9	1	
2 <sup>a</sup> m↑	5 <sup>a</sup> dim↑	2 <sup>a</sup> ↑	2 <sup>a</sup> m↑	2 <sup>a</sup> ↑	5 <sup>a</sup> dim↑	2 <sup>a</sup> ↑	2 <sup>a</sup> m↑	2 <sup>a</sup> ↑	6 <sup>a</sup> ↑	2 <sup>a</sup> m↑	
intervalos entre as notas da série											

Figura 2: Série com vários intervalos.

Comparando a série da Figura 2 com a escala cromática (Figura 1), pode-se observar como a diversificação de intervalos enriquece a série e, conseqüentemente, seu potencial musical. Nesse exemplo observamos intervalos de 2<sup>a</sup>m (segunda menor), 2<sup>a</sup> (segunda maior), 5<sup>a</sup>dim (quinta diminuída), e 6<sup>a</sup> (sexta maior), ascendentes (↑) e descendentes (↓), que formam uma seqüência. Nessa seqüência, alguns termos aparecem tanto na forma ascendente quanto descendente (2<sup>a</sup>↓ e 2<sup>a</sup>↑ ; 5<sup>a</sup>dim↓ e 5<sup>a</sup>dim↑), e outros permanecem fixos (2<sup>a</sup>m↑ e 6<sup>a</sup>↓).

A Figura 3 ilustra uma variação ainda mais acentuada dos intervalos em dois segmentos [3, -2, -5, -1, 7, 4] e [4, -9, 2, 5, 1, -7]. O intervalo de 3<sup>a</sup>M (terça maior) [4] é comum a ambos. Os intervalos de 3<sup>a</sup>m (terça menor) [3] e de 6<sup>a</sup>M (sexta maior) [9] são equivalentes (inversão). Chamamos atenção para o fato particular de que o sentido ascendente-descendente dos intervalos se encontra também invertido de um segmento para outro.

B	C	C#	D	Eb	E	F	F#	G	G#	A	Bb
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

alturas da série											
E	G	F	C	B	F#	Bb	C#	D#	G#	A	D
5	8	6	1	0	7	11	2	4	9	10	3
3	-2	-5	-1	7	4	-9	2	5	1	-7	
3 <sup>a</sup> m↑	2 <sup>a</sup> ↓	4 <sup>a</sup> ↓	2 <sup>a</sup> m↓	5 <sup>a</sup> ↑	3 <sup>a</sup> M↑	6 <sup>a</sup> M↓	2 <sup>a</sup> ↑	4 <sup>a</sup> ↑	2 <sup>a</sup> m↑	5 <sup>a</sup> ↓	
intervalos entre as notas da série											

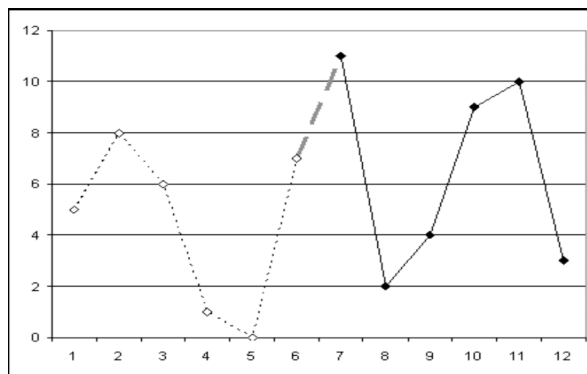


Figura 3: Série com variação de intervalos.

O gráfico acima evidencia a simetria da distribuição das alturas percebidas pelo ouvinte. O eixo vertical é então logarítmico e representa a freqüência das notas musicais.

Até aqui consideramos o âmbito da série compreendido dentro de uma oitava [0 a 11]. Ampliando esse âmbito, temos, no exemplo a seguir, a série do segundo movimento da Sinfonia, op.21 de Anton Webern. Observe como o segundo segmento é a exata inversão do primeiro. Isso confere à série propriedades importantes para a estruturação e a unidade da composição.

G	G#	A	Bb	B	C	C#	D	Eb	E	F	F#	G	G#	A	Bb	B	C	C#	D	Eb	E	F	F#	G
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

alturas da série											
F	Ab	G	F#	Bb	A	Eb	E	C	C#	D	B
10	13	0	11	3	14	20	9	17	6	19	16
3	-13	11	-8	11	6	-11	8	-11	13	-3	
3ªm↑	9ªm↓	7ªM↑	6ªM↓	7ªM↑	5ªdim↑	7ªM↓	6ªM↑	7ªM↓	9ªm↑	3ªm↓	
intervalos entre as notas da série											

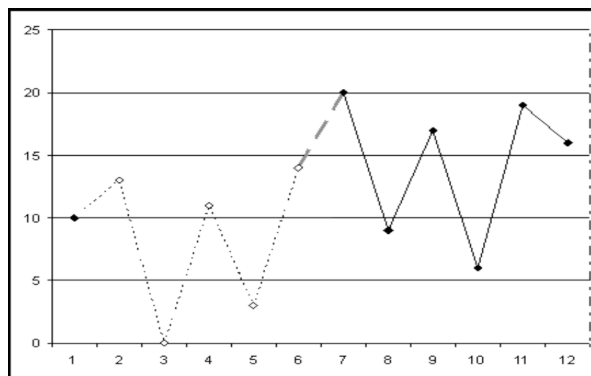


Figura 4: Série do segundo movimento da Sinfonia, op.21 - Anton Webern

O pivô A-Eb (intervalo de 5ªdim) articula dois segmentos de série perfeitamente simétricos em relação ao eixo da frequência (inversão). Os mesmos intervalos do primeiro segmento aparecem no segundo com sinal invertidos (sentido ascendente-descendente oposto).

### 1.1. Séries derivadas da série fundamental

Da série fundamental [O] derivam-se automaticamente três outras séries: sua inversão [I], seu retrógrado [R] e o retrógrado da inversão [RI], todas compreendidas no quadro abaixo.

B	C	C#	D	Eb	E	F	F#	G	G#	A	Bb
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	5	8	6	1	0	7	11	2	4	9	10	3
1	2	5	3	10	9	4	8	11	1	6	7	0
2	4	7	5	0	11	6	10	1	3	8	9	2
3	9	0	10	5	4	11	3	6	8	1	2	7
4	10	1	11	6	5	0	4	7	9	2	3	8
5	3	6	4	11	10	5	9	0	2	7	8	1
6	11	2	0	7	6	1	5	8	10	3	4	9
7	8	11	9	4	3	10	2	5	7	0	1	6
8	6	9	7	2	1	8	0	3	5	10	11	4
9	1	4	2	9	8	3	7	10	0	5	6	11
10	0	3	1	8	7	2	6	9	11	4	5	10
11	7	10	8	3	2	9	1	4	6	11	0	5

Figura 5 – Quadro com a série original, todas suas transposições e séries derivadas.

No quadro geral de séries, as linhas da esquerda para a direita contém todas as transposições da séries na forma original  $[O_i]$ ; da direita para a esquerda os retrógrados  $[R_i]$ ; as colunas de cima para baixo contém as inversões  $[I_i]$ ; e de baixo para cima os retrógrados das inversões  $[RI_i]$ .

As séries foram todas adequadas a um único âmbito: B-Bb [0 a 11]

A série original  $[O_0]$  está na primeira linha: [5, 8, 6, 1, 0, 7, 11, 2, 4, 9, 10, 3]

Seu retrógrado  $[R_0]$ : [3, 10, 9, 4, 2, 11, 7, 0, 1, 6, 8, 5]

Sua inversão  $[I_0]$ : [5, 2, 4, 9, 10, 3, 11, 8, 6, 1, 0, 7]

O retrógrado da inversão  $[RI_0]$ : [7, 0, 1, 6, 8, 11, 3, 10, 9, 4, 2, 5]

A primeira transposição da série original  $[O_1]$  está na segunda linha:

[2, 5, 3, 10, 9, 4, 8, 11, 1, 6, 7, 0]

etc.

Segundo Schoenberg o emprego dessas formas espelhadas (nos domínios da freqüência e do tempo) corresponde ao princípio da percepção absoluta e unitária do espaço musical. Para Webern<sup>2</sup>, através dessas formas cria-se o maior número possível de relações para a 'série', atinge-se um alto grau de coerência, o que resulta numa grande inteligibilidade. Em outras palavras, fazer o máximo com o mínimo, obtendo dessa forma o maior grau de variação e, ao mesmo tempo, o maior grau de unidade.

2 WEBERN, Anton. *Chemin vers la nouvelle musique*. Paris : Jean-Claude Lattès, 1980. 170p.

S A T O R  
A R E P O  
T E N E T  
O P E R A  
R O T A S

Figura 6: Ditado latino<sup>3</sup>: O semeador Arepo mantém a obra num movimento circular.

## 2. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DIFUSORES DE SCHROEDER E A ORGANIZAÇÃO SERIAL NA TÉCNICA DE COMPOSIÇÃO COM DOZE NOTAS DE SCHOENBERG

As seqüências de profundidades  $d_n$  dos difusores de Schroeder QRD, PR<sub>2</sub>D e PR<sub>3</sub>D possuem estruturas com simétricas semelhantes às da organização das séries original [O] e suas derivadas: inversão [I], retrógrado [R] e retrógrado da inversão [RI] e igualmente contém séries, como visto no item 2 onde a composição com doze notas consiste basicamente no uso constante e exclusivo de uma série de notas diferentes, na qual nenhuma delas é repetida antes de completar o total.

Para comparar um tipo de difusor com outro, adotaremos os mesmos dados para o *design* de cada um. Neste caso,

$$d_n = \frac{S_n \lambda_0}{N \cdot 2}$$

$$\frac{\lambda_0}{2N} = cte \therefore d_n = kS_n$$

Portanto trabalharemos aqui somente com o parâmetro variante.

Para  $N=17$  geraremos as seqüências  $S_n$  para cada um dos tipos de difusores:

	QRD	PR <sub>2</sub> D	PR <sub>3</sub> D
$n$	$S_n$	$S_n$	$S_n$
1	0	-	-
2	1	2	3
3	4	4	9
4	9	8	10
5	16	16	13
6	8	15	5
7	2	13	15
8	15	9	11
10	13	1	16
11	13	2	14
12	15	4	8
13	2	8	7
14	8	16	4
15	16	15	12
16	9	13	2
17	4	9	6
1	1	1	1
...	...	...	...

As seqüências  $S_n$  podem ser comparadas às séries de alturas musicais.

Observa-se no QRD um eixo de simetria entre  $S_9$  e  $S_{10}$ , sendo o segmento de  $S_{10}$  a  $S_{17}$  o retrógrado de  $S_1$  a  $S_9$  o que faz dessa seqüência uma série de apenas 9 elementos {0,1,4,9,16,8,2,15,13}. Em consequência dessa simetria, a seqüência de diferenças  $[S_{n+1}-S_n]$  entre  $S_{10}$  e  $S_{17}$  é retrógrada e invertida em relação a  $S_1$  a  $S_8$ , com pivot [ 0 ] em  $S_9$ .

3 WEBERN, idem. p.145, conclusão de conferência proferida em 02/Mar/1932.

QRD		
$n$	$S_n$	$S_{n+1} - S_n$
1	0	1
2	1	3
3	4	5
4	9	7
5	16	-8
6	8	-6
7	2	13
8	15	-2
9	13	0
10	13	2
11	15	-13
12	2	6
13	8	8
14	16	-7
15	9	-5
16	4	-3
17	1	-1
1	0	1
2	1	...
...	...	...

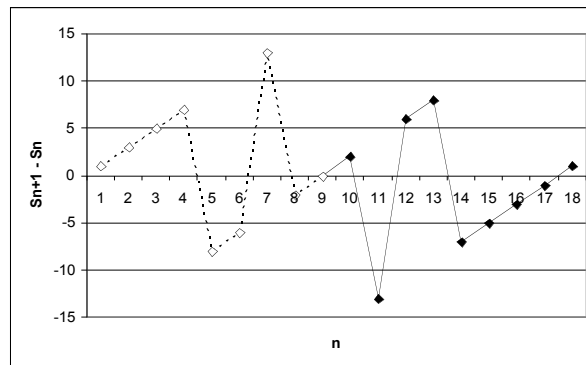
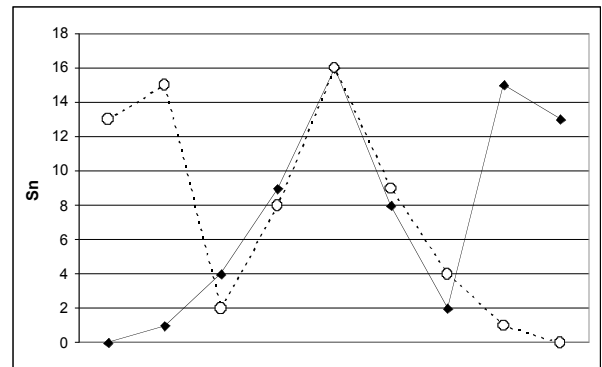
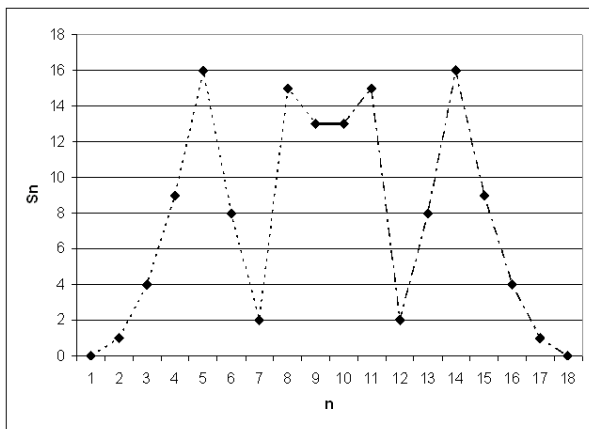


Figura 7: Seqüências  $S_n$  e  $S_{n+1}-S_n$  num QRD  $N=17$ . O primeiro gráfico mostra um claro retrógrado.

Em  $PR_2D$  a seqüência  $S_1$  a  $S_8$  se repete a partir de  $S_9$ , o que faz dela na verdade uma série de apenas 8 elementos  $\{2,4,8,16,15,13,9,1\}$ . Porém essa seqüência tem um eixo de simetria entre  $S_4$  e  $S_5$  sendo os termos  $S_5$  a  $S_8$  a exata inversão do segmento de  $S_1$  a  $S_4$ , ou seja,  $S_5 = N - S_1 = 17 - S_1$ ;  $S_6 = 17 - S_2$ ; etc. A seqüência  $S_{n+1} - S_n$  consiste em uma série de 4 elementos em  $S_1$  a  $S_4$  e  $S_9$  a  $S_{12}$  invertidos a partir de  $S_5$  e  $S_{13}$ .

PR<sub>2</sub>D

$n$	$S_n$	$S_{n+1} - S_n$
1	2	2
2	4	4
3	8	8
4	16	-1
5	15	-2
6	13	-4
7	9	-8
8	1	1
9	2	2
10	4	4
11	8	8
12	16	-1
13	15	-2
14	13	-4
15	9	-8
16	1	1
17	2	2
...	...	...

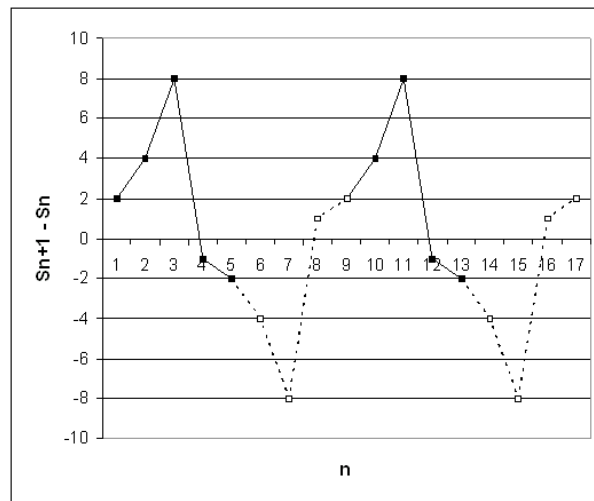
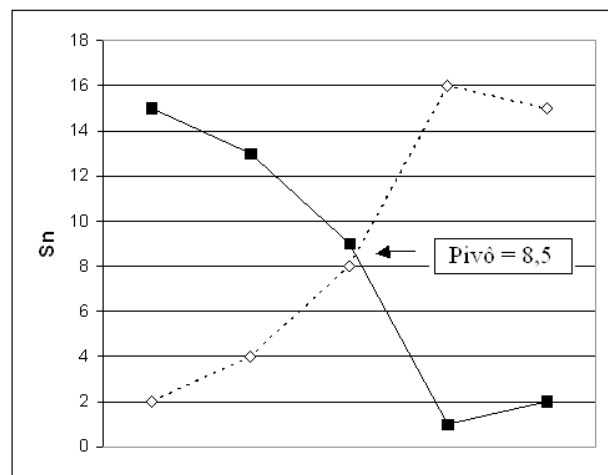
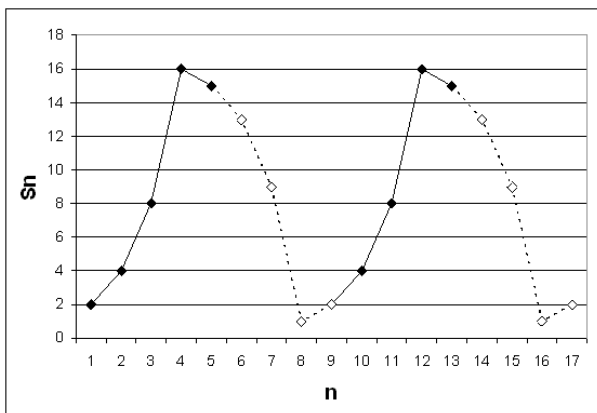


Figura 8: Sequências  $S_n$  e  $S_{n+1} - S_n$  num PR<sub>2</sub>D  $N=17$ .

Em PR<sub>3</sub>D a seqüência  $S_1$  a  $S_{16}$  é de fato uma série de 16 elementos {3,9,10,13,5,15,11,16,14,8,7,4,12,2,6,1} na qual o segmento de  $S_9$  a  $S_{16}$  é a exata inversão do segmento  $S_1$  e  $S_8$ . Observe que a seqüência  $S_{n+1} - S_n$  constitui uma série de 8 elementos que reaparece invertida a partir de  $S_9$ . A organização dessas profundidades tem a mesma estrutura que a das séries do segundo movimento da Sinfonia, op.21 de Anton Webern (v. Figura 4).

**PR<sub>3</sub>D**

$n$	$S_n$	$S_{n+1} - S_n$
1	3	6
2	9	1
3	10	3
4	13	-8
5	5	10
6	15	-4
7	11	5
8	16	-2
9	14	-6
10	8	-1
11	7	-3
12	4	8
13	12	-10
14	2	4
15	6	-5
16	1	2
17	3	6

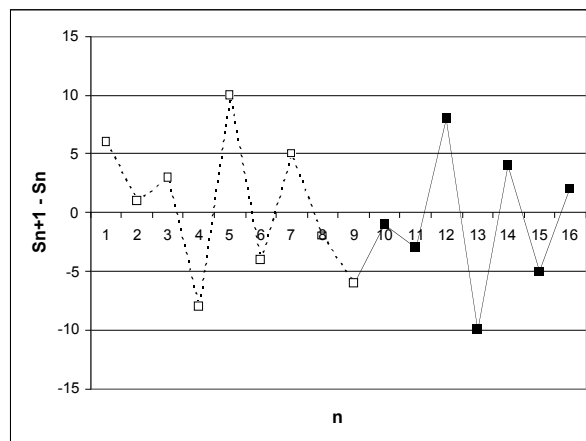
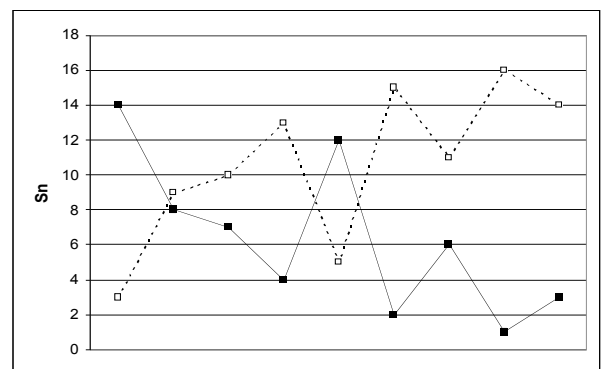
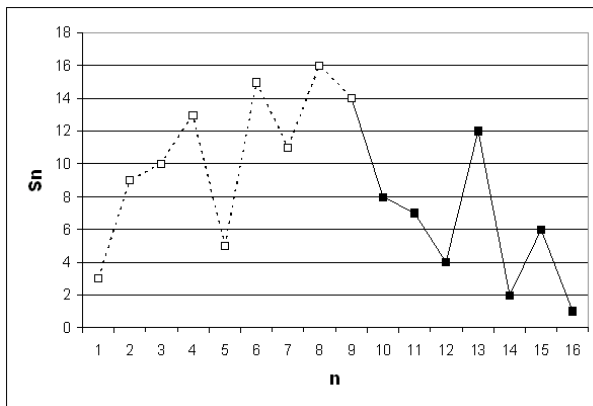


Figura 9: Sequências  $S_n$  e  $S_{n+1} - S_n$  num PR<sub>3</sub>D  $N=17$ .

A distribuição das profundidades no PR<sub>3</sub>D possui uma complexidade maior do que nos QRD e PR<sub>2</sub>D, onde a estrutura destes acaba sendo mais redundante. No PR<sub>3</sub>D temos uma série com 16 elementos, contra 9 no QRD e 8 no PR<sub>2</sub>D. A sequência de diferenças procura mostrar a variedade de articulações entre as cavidades. No PR<sub>3</sub>D e no QRD a sequência de diferenças contém uma série de 8 elementos, e no PR<sub>2</sub>D 4 elementos, ou seja, no PR<sub>3</sub>D e no QRD as cavidades se articulam de 8 maneiras diferentes, enquanto no PR<sub>2</sub>D de 4 maneiras diferentes. Ou seja, a variedade de relações internas entre as cavidades num PR<sub>3</sub>D é maior do que num QRD, que por sua vez é maior do que num PR<sub>2</sub>D. Vendo exclusivamente sob esta ótica, essa riqueza de relações internas poderia estar associada a um desempenho melhor, uma vez que o difusor estaria impondo à onda incidente situações mais variadas de diferença de fase. Acrescente-se a isso que os efeitos parciais de profundidades de cavidades múltiplas inteiras de 1/2 comprimento de onda, bem como o de absorção por ressonância por 1/4 de comprimento de onda, sejam mais marcantes nos PR<sub>2</sub>D e QRD e mais atenuados e distribuídos no PR<sub>3</sub>D.



### 3. PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE MÉTODOS DE *DESIGN* DE DIFUSORES A PARTIR DAS PROPRIEDADES ANALISADAS

#### 3.1. Implementações para o *design* de difusores de Schroeder

Como visto acima, uma seqüência  $S_n$  em módulo  $N$  pode ser considerada uma a série de números inteiros de  $a_1$  a  $a_{N-1}$  onde não há repetição de nenhum termo antes de esgotar a série inteira. Por exemplo, tomando a base 10, uma série de 9 termos seria uma seqüência de 9 inteiros composta de 1 a 9, como  $\{2,7,8,4,1,9,3,5,6\}$  ou  $\{9,3,8,4,5,6,2,7,1\}$  ou  $\{1,2,3,4,5,6,7,8,9\}$ . A diferença entre elas seria o número de relações internas que cada uma possui. A terceira é extremamente redundante, pois a diferença entre os termos é sempre a mesma e igual a 1. A segunda tem estrutura simétrica de inversão com pivô em 5 ( $9+1 = 3+7 = 8+2 = 4+6 = 5+5 = 10$ ). A primeira tem maior variedade de diferenças de profundidade entre as cavidades adjacentes  $S_{n+1} - S_n$   $\{5,1,4,3,8,6,2,1\}$ . Justamente a técnica de composição com 12 notas baseia-se numa série gerativa de toda uma obra. Esta série necessita então ser estruturada de tal forma que por um lado possua ou gere um máximo de relações possíveis e por outro que tenha propriedades que serão exploradas no decorrer da obra. Nesse sentido dificilmente uma série como  $\{1,2,3,4,5,6,7,8,9\}$  seria adotada, o que equivaleria à uma escala cromática, como na Figura 1. Há, portanto, tanto em arte como nas ciências uma certa exigência de elegância em análise, demonstração, síntese e implementações decorrentes.

Pode-se dizer que a estrutura de um PR<sub>3</sub>D para  $N=17$  seja uma série de inteiros não repetidos de 1 a 16 com a propriedade de possuir um eixo de simetria entre o 8º e o 9º termos, sendo seu segundo segmento a inversão do primeiro. Dessa forma, para os mesmos parâmetros de *design* de um difusor PR<sub>3</sub>D várias séries  $S_n$  poderiam ser encadeadas eliminando assim o efeito de periodicidade.

Aproveitando as propriedades da série do PR<sub>3</sub>D, para gerar uma série bastaria determinar os primeiros 8 elementos, sendo os demais obtidos pela inversão desses, ou seja,  $a_{i+8} = 17 - a_i$ . Por exemplo, dos primeiros oito termos  $\{3,9,10,13,5,15,11,16\}$  pode-se deduzir os restantes  $\{14,8,7,4,12,2,6,1\}$  obtendo a série total I  $\{3,9,10,13,5,15,11,16, 14,8,7,4,12,2,6,1\}$ . Esta é a mesma série que ilustra a Figura 9.

Para outros oito termos iniciais  $\{13,7,9,3,16,11,15,5\}$  temos outra série completa II  $\{13,7,9,3,16,11,15,5,4,10,8,14,1,6,2,12\}$  com as mesmas propriedades.

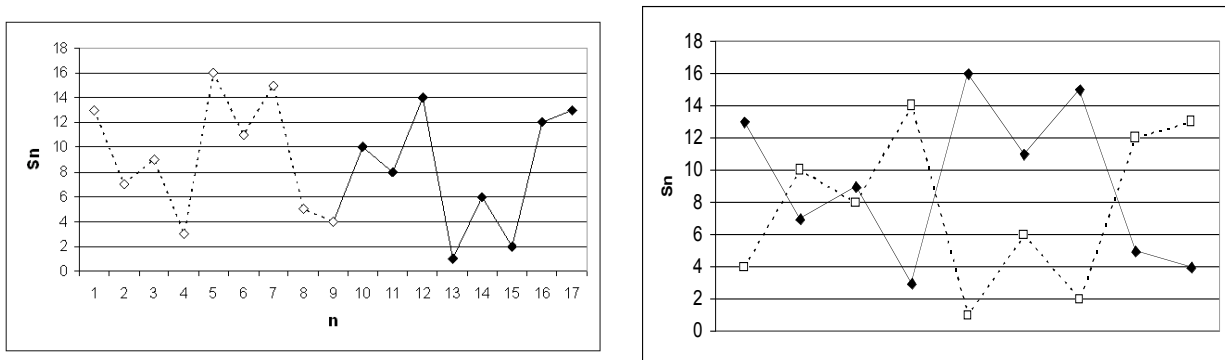


Figura 10: Série II

Permutando os termos ímpares na primeira série entre os primeiros oito termos e sua inversão, temos  $\{1,11,2,5,4,10,8,14,16,6,15,12,13,7,9,3\}$  e com pequenas alterações III  $\{1,11,2,10,4,5,9,14,16,6,15,7,13,12,8,3\}$  temos uma outra série com  $S_{n+1}-S_n$  todos diferentes.

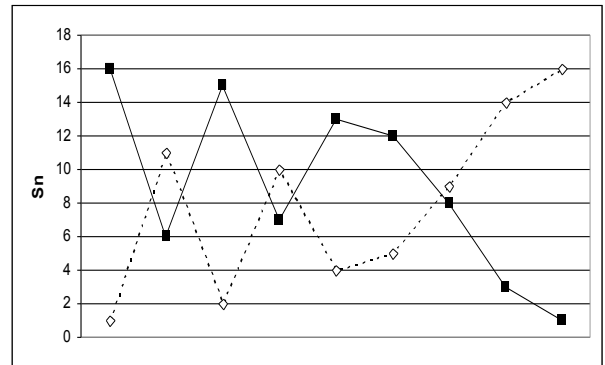
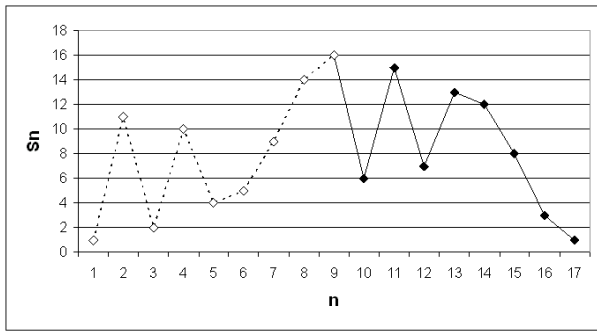


Figura 11: Série III

Obtemos assim três séries  $S_n$  que poderiam ser encadeadas atenuando o efeito de repetição

I-III

{3,9,10,13,5,15,11,16,14,8,7,4,12,2,6,1;13,7,9,3,16,11,15,5,4,10,8,14,1,6,2,12; 1,11,2,10,4,5,9,14,16,6,15,7,13,12,8,3}.

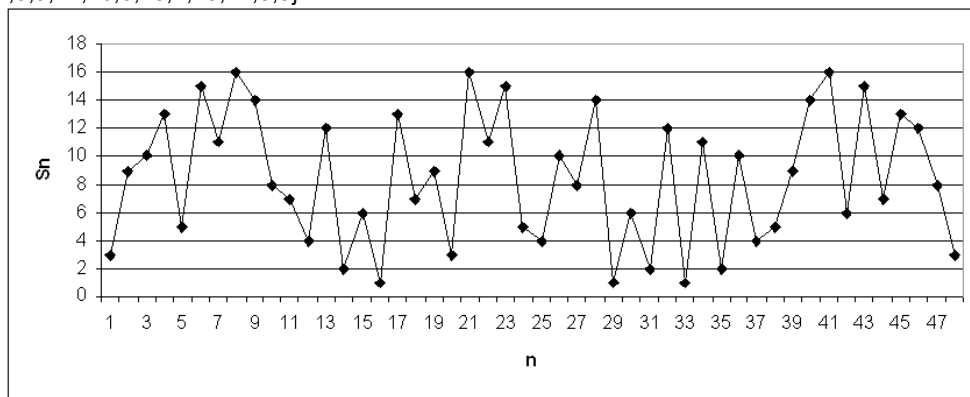


Figura 12: Séries I-III

Essa macro-série, por sua vez, poderia ser invertida<sup>4</sup>

(I-III)inv

{14,8,7,4,12,2,6,1,3,9,10,13,3,15,11,16;4,10,8,14,1,6,2,12,13,7,9,3,16,11,15,5;16,6,15,7,13,12,8,3,1,11,2,10,4,5, 9,14}

e encadeada com a original:

I-III; (I-III)inv

{3,9,10,13,5,15,11,16,14,8,7,4,12,2,6,1;13,7,9,3,16,11,15,5,4,10,8,14,1,6,2,12;1,11,2,5,4,10,9,14,16,6,15,12,13,7 ,8,3,14,8,7,4,12,2,6,1,3,9,10,13,3,15,11,16;4,10,8,14,1,6,2,12,13,7,9,3,16,11,15,5;16,6,15,7,13,12,8,3,1,11,2,10,4 ,5,9,14}.

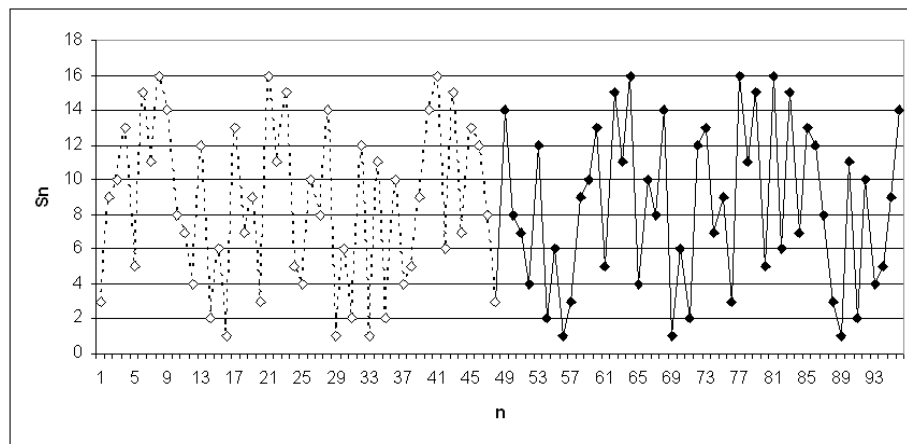


Figura 13: Série I-III; (I-III)inv

4 ANGUS, James A. S. Large area diffusers using modulated phase reflection gratings. In: CONVENTION AUDIO ENGINEERING SOCIETY, 98, 1995, Paris. Preprint 3954. [p.6]

à segunda metade poderia ser adicionado<sup>5</sup> 10 (mod 17) eliminando os fragmentos retrogradados “ao pé da letra” gerados pelas duplas inversões. Na técnica de composição com doze sons, essa adição equivaleria a uma transposição da série original.

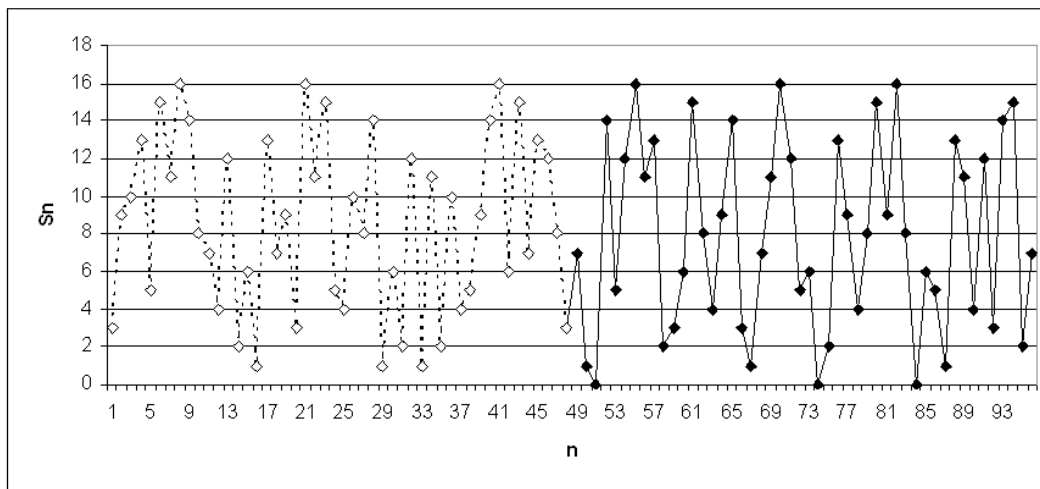


Figura 14 - Série I-III; 10+(I-III)inv (mod 17)

e, em seguida, o todo encadeado com seu retrógrado também adicionado de 10 (mod 17).

**I-III; 10+(I-III)inv (mod 17); 10+(I-III; 10+(I-III)inv (mod 17))ret (mod 17)**

São inúmeras as possibilidades e sempre as propriedades e a coerência das séries originais  $S_{n+1}-S_n = k$  ou  $S_{n+1}-S_n = 17-k$  (diferença invertida) foram respeitadas e mantidas.

Com base numa macro-série como acima mais uma outra seqüência de profundidades de um difusor com características diferentes ( $f_0$ ,  $N$ , tipo QR / PR<sub>2</sub> / PR<sub>3</sub>), uma modulação entre os dois difusores poderia ser realizada conforme esquemas propostos por ANGUS<sup>6 7 8</sup>.

Se também adotarmos um  $f_{max}$  diferente para o novo difusor, teremos igualmente uma variação da largura da cavidade  $W$ , ou então  $W$  poderia ser modulado, dada uma diferença de âmbito  $f_{max2} - f_{max1}$  e aplicando-se a  $W$  uma seqüência  $S_n$  tal que :

$$W_n = \frac{c}{2 \left( f_{max1} + \frac{S_n}{N} (f_{max2} - f_{max1}) \right)}$$

ou seja, para cada cavidade teremos um  $S_n$  que definirá uma porcentagem da diferença de âmbito  $f_{max2} - f_{max1}$  afetando proporcionalmente o estreitamento da largura  $W$ . Este recurso seria mais facilmente aplicado a difusores unidimensionais, visto que nos bidimensionais uma mesma cavidade necessita ter a mesma largura na seqüência de sua linha como na seqüência de sua coluna.

**3.2. Qualidades exigidas de um difusor**

Um difusor acústico ideal deve ter as seguintes propriedades<sup>9</sup>:

- Produzir através da reflexão o espalhamento da onda incidente com distribuição direcional de intensidade uniforme;
- A energia acústica incidente deve ser refletida sem nenhuma perda de energia;

Os difusores de Schroeder cumprem bem a primeira propriedade, porém, absorvem energia:

- por causa do grande aumento de velocidade das partículas no interior e justo acima do difusor<sup>10</sup>;

5 COX, Trevor, D'ANTONIO, Peter. Schroeder diffusers: a review. **Building Acoustics**, vol.10, nº1, 2003. p.1-32 [p.9]  
 6 ANGUS, J. A. S. Using modulated phase reflection gratings to achieve specific diffusion characteristics. In: CONVENTION AUDIO ENGINEERING SOCIETY, 99, 1995, New York. **Preprint** 4117.  
 7 ANGUS, J. A. S. Wideband two dimensional diffusers using orthogonal modulated sequences. In: CONVENTION AUDIO ENGINEERING SOCIETY, 103, 1997, New York. **Preprint** 4640.  
 8 ANGUS, J. A. S. Using grating modulation to achieve wideband large area diffusers. **Applied Acoustics**, vol.60, nº2, June 2000. p.143-165.  
 9 TAKAHASHI, D. A design method for optimum acoustic diffusers. In: ANDO, Yoichi, NOSON, Dennis (Ed.) **Music and concert hall acoustics**. p.183-190 [p.184]

- devido ao fluxo de partículas com velocidade incrementada entre uma cavidade e outra para igualar a pressão na entrada do difusor<sup>11</sup>;
- devido ao alto fluxo de energia na entrada das cavidades, entre aquelas que estão em ressonância e as que não estão em ressonância; e à absorção por ressonância de 1/2 de onda, sobretudo se as cavidades são estritas<sup>121314</sup>;

Numa pequena sala, onde as reflexões ocorrem muito rapidamente devido às pequenas dimensões do local, uma absorção de 5dB<sup>15</sup> a 10dB<sup>16</sup> produz um caimento demasiadamente acentuado ao som, interferindo assim num parâmetro fundamental para a performance musical, o preenchimento do som<sup>17 18 19</sup>.

Portanto, devemos investigar outros tipos de difusores nos quais não ocorra absorção de energia e que possam produzir um espalhamento de energia satisfatório.

### 3.3. Exemplo de difusor com melhor desempenho que os de Schroeder

Comparando um difusor unidimensional QRD,  $N=13$ ,  $N.W=1m$ ,  $d_{max}=30cm$ <sup>20</sup>, ou seja,  $f_0 \sim 527Hz$  e  $f_{max} \sim 2228Hz$ ,  $W=7,7cm$  com um difusor composto por arcos cilíndricos com período de 1m e profundidade máxima de 20cm (Figura 15), FUJIWARA<sup>21</sup> obteve resultados indicando que o difusor com arcos cilíndricos distribui a energia de maneira mais uniforme que o QRD em todas as frequências e, particularmente em 1KHz e 4KHz, a distribuição do difusor com arcos é muito melhor que no QRD.

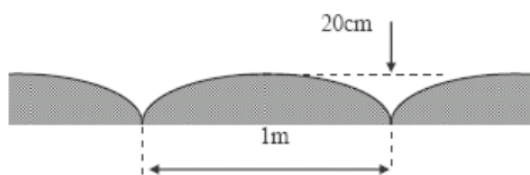


Figura 15 – Difusor de arcos cilíndricos.

MASUDA e FUJIWARA<sup>22</sup> comparando duas superfícies periódicas, ambas com período de 1m e altura máxima de 20cm, uma porém com perfil cilíndrico e outra triangular, obtém melhores resultados com o perfil cilíndrico do que com o triangular, considerando ambas tanto finitas quanto infinitas, notadamente nos lóbulos de difusão no mesmo quadrante da onda incidente, onde o difusor triangular apresenta atenuação na distribuição de energia.

Conforme os resultados obtidos nos estudos acima, conclui-se que os difusores com perfil cilíndrico permitem de fato uma melhor qualidade de difusão.

<sup>10</sup> FUJIWARA, Kyoji. Sound reflection and absorption of a QR-type Schroeder diffuser. In: ANDO, Yoichi, NOSON, Dennis (Ed.) **Music and concert hall acoustics**. London: Academic Press, 1997. Cap.21 p.211-217.

<sup>11</sup> EVEREST, F. Alton. **Sound studio construction on a budget**. New York (EUA): McGraw-Hill, 1997. 298p. [p.154-156].

<sup>12</sup> FUJIWARA, K., MIYAJIMA, T. A study of the sound absorption of a quadratic-residue type diffuser. **Acustica**, vol.81, 1995. p.370-378.

<sup>13</sup> WU, T., COX, T. J., and LAM, Y. W. A profiled structure with improved low frequency absorption. **J. Acoust. Soc. Am.**, vol.110, n°\_, 2001. p.3064-3070.

<sup>14</sup> WU, T., COX, T. J., and LAM, Y. W. From a profiled diffuser to an optimised absorber. **J. Acoust. Soc. Am.**, vol.108, n°2, 2000. p.643-650.

<sup>15</sup> FUJIWARA, K., MORIYASU, N., A study on the absorption coefficient of a practically constructed Schroeder diffuser at normal incidence. **Proceedings Inter-noise 93**. Vol.III, p.1703 (1993).

<sup>16</sup> EVEREST, F. Alton. **Sound studio construction on a budget**. New York (EUA): McGraw-Hill, 1997. 298p. [p.154-156].

<sup>17</sup> BERANEK, Leo L. **Music, acoustics & architecture**. New York: John Wiley & Sons, 1962. 585p.

<sup>18</sup> MALAFAIA, Soraia F., TENENBAUM, Roberto A. Estudo psicoacústico dos parâmetros utilizados para caracterizar a qualidade acústica de salas de concerto. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 19, 2000, Belo Horizonte. **Anais...** p.318-323.

<sup>19</sup> MANNIS, José A. Intérprete do som: Bases interdisciplinares da performance eletroacústica : Tomada e projeção do som. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE ÁUDIO, 1, 2002, Belo Horizonte. **Anais...** p.10 ISBN:85-89029-01-8 (acompanha CD-ROM com texto completo)

<sup>20</sup> Para esses dados seria necessário  $N=17$  ( $N=2.m_{max}.f_{max}/f_0$ , sendo  $m_{max}=2$ )

<sup>21</sup> FUJIWARA, Kyoji. Sound reflection and absorption of a QR-type Schroeder diffuser. In: ANDO, Yoichi, NOSON, Dennis (Ed.) **Music and concert hall acoustics**. London: Academic Press, 1997. Cap.21 p.211-217 [p.212-213]

<sup>22</sup> MASUDA, K. Sound reflection from periodical uneven surfaces. In: ANDO, Yoichi, NOSON, Dennis (Ed.) **Music and concert hall acoustics**. p.191-201

### 3.4. Proposta de *design* de difusor a partir da organização serial e perfis arredondados

Considerando as qualidades exigidas de um difusor, conforme visto no item 0, a melhor performance de difusores com perfis arredondados (item 0) e as propriedades estruturais positivas das seqüências de números inteiros juntamente à organização serial pode-se imaginar uma superfície difusora irregular e arredondada com o objetivo de produzir difusão num largo âmbito de freqüências, inclusive evitando os modos normais de uma pequena sala.

Para isso, vamos generalizar a aplicação da organização serial, estendendo-a além de profundidades, para diversos parâmetros de irregularidades controladas de objetos como: dimensões, rotação horizontal (rotação sobre o eixo vertical; esquerda-direita), rotação vertical (rotação sobre o eixo horizontal; para cima - para baixo).

- **Rotação horizontal**  
e = painel virado para a ESQUERDA  
d = painel virado para a DIREITA  
Série: {e, d}  
Seqüência: {e,d,e,d,e,d,e,d...}
- **Rotação vertical**  
**F = painel inclinado para FRENTE**  
**T = painel inclinado para TRÁS**  
Série: {F,T}  
Seqüência: {F,F,T,F, T,T,F,T, F,T,F,F, T,F,T,T, T,F,T,F, F,T,F,T, F,T,T,F, T,F,F...}
- **Largura dos painéis**  
G = painel GRANDE G1 (83 cm) G2 (71 cm)  
M = painel MÉDIO M1 (61 cm) M2 (51 cm)  
P = painel PEQUENO P1 (43 cm) P2 (37 cm)  
Série: {G,M,P}  
Seqüência: {G, M, P, G, G, G, M, P, P, M, G, P, M, M, P, G, G, G, M, P, M, P, P, M, G, G, P, M, G, G, M...}  
Série: {2,1}  
Seqüência: {2,1,1,2,1,1,2,2,2,2,1,1,2,1,1,2,1,1,1,2,2,1,2,1,2,2,1,2,1,2,1...}  
Série composta : {G<sub>2</sub>, M<sub>1</sub>, P<sub>1</sub>, G<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>}  
Seqüência composta: {G<sub>2</sub>, M<sub>1</sub>, P<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, G<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>, M<sub>2</sub>, G<sub>1</sub>, P<sub>1</sub>...}

Reunindo todas as seqüências temos então a série geral composta:

$$F_e^{G_2} F_d^{M_1} T_e^{P_1} F_d^{G_2} T_e^{G_1} T_d^{G_1} F_e^{M_2} T_d^{P_2} F_e^{P_2} T_d^{M_2} F_e^{G_1} F_d^{P_1} T_e^{M_2} F_d^{M_1}$$

$$T_e^{P_1} T_d^{G_2} T_e^{G_1} F_d^{G_1} T_e^{M_1} F_d^{P_2} F_e^{M_2} T_d^{P_1} F_e^{P_2} T_d^{M_1} F_e^{G_2} T^{563} 61_d^{G_2} T_e^{P_1} F_d^{M_2}$$

$$T_e^{G_1} F_d^{G_2} F_e^{M_1}$$

### 3.5. Implementação da série geral

Na figura a seguir, vista superior da série de inclinações de placas.

- Na primeira seqüência a série simples acima com inclinações laterais de 10°.
- Na segunda seqüência a série simples acima com inclinações laterais de 20°.
- Na última seqüência da figura abaixo, foram inclinados blocos inteiros de placas (já inclinadas), um em relação a outro, obtendo-se assim efeito de difusão para comprimentos de onda maiores.

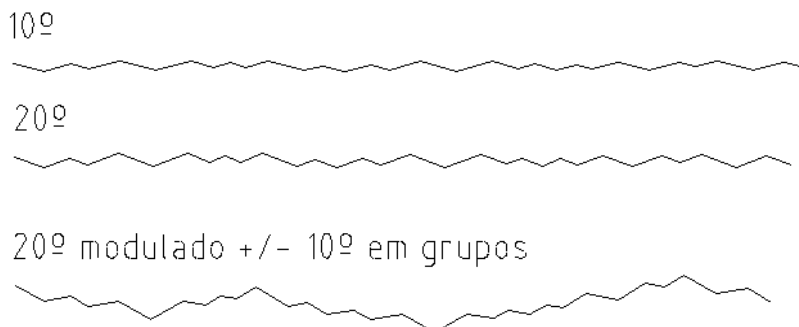


Figura 16: Vista superior das inclinações esq-dir das placas da parede de gesso duplo acartonado.

### 3.6. Inclinações frente-trás

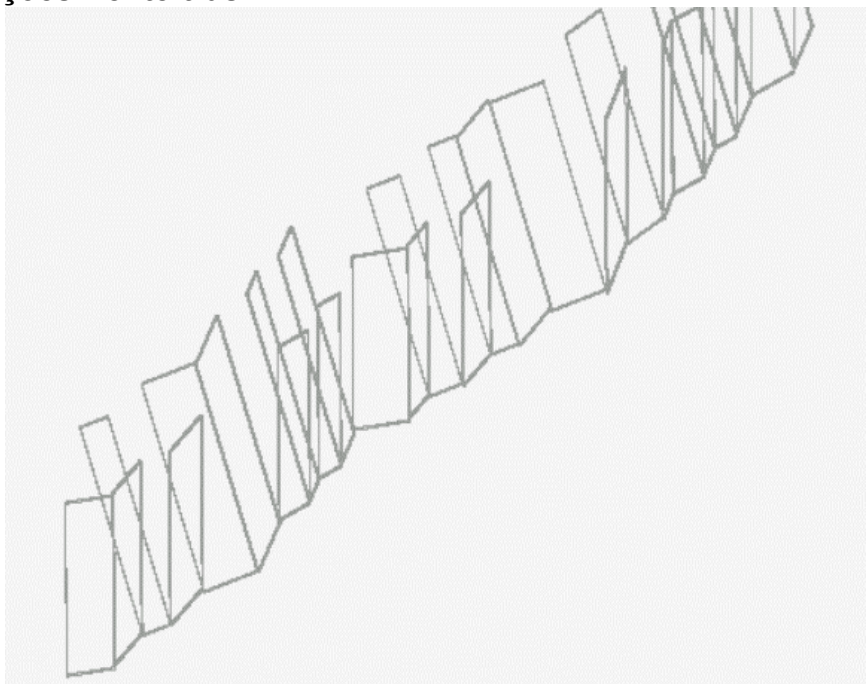


Figura 17: Na fileira de trás, placas somente com inclinação lateral. Na fileira adiante, as mesmas placas porém acrescentando inclinação frente-trás.

Ao produzir a inclinação frente-trás, abre-se um vão triangular entre as placas sucessivas. Posteriormente esse vão deve ser devidamente fechado com placas triangulares, sendo o vértice sempre apontado para baixo.

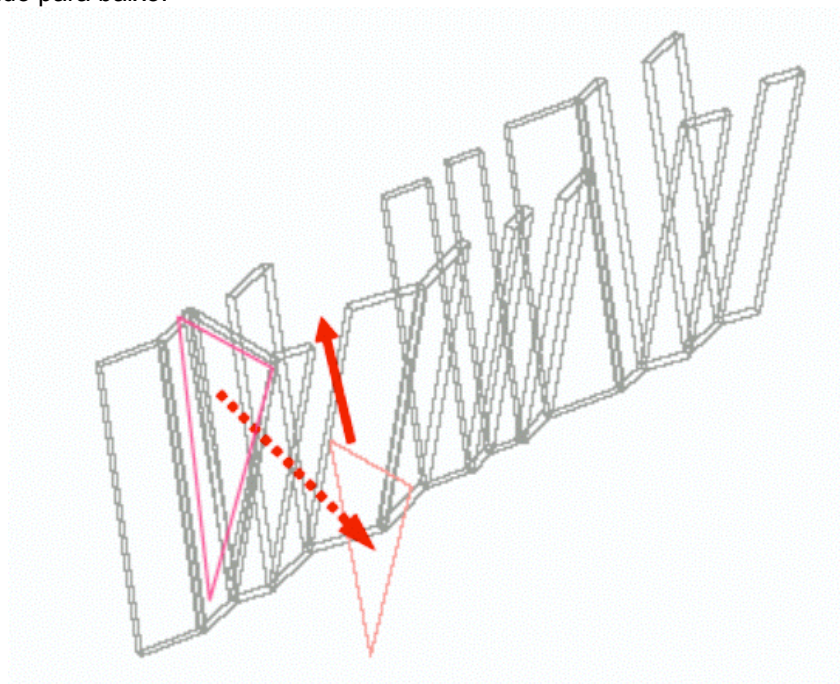


Figura 18 - Placa triangular para fechamento dos vãos.

Na figura a seguir pode-se observar algumas seqüências de placas triangulares sucessivamente. Essa alteração ocorreu para evitar alguns paralelismos entre placas triangulares fechando vãos resultantes das inclinações frente-trás.

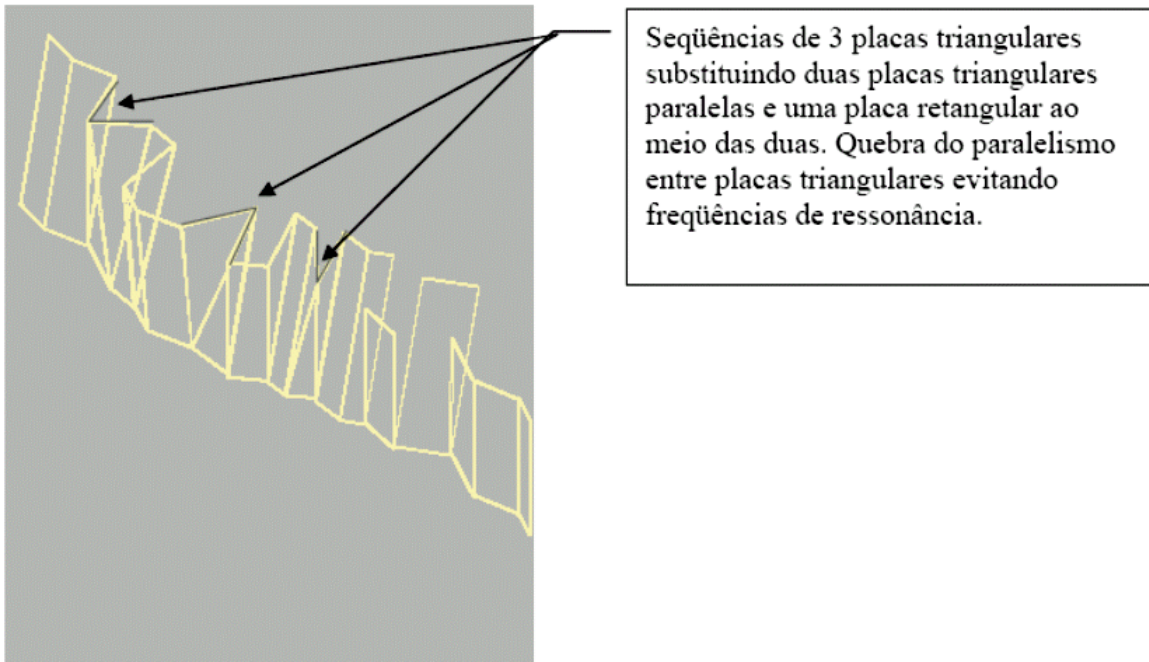


Figura 19 - Parede de gesso. À esquerda placas com espaços já preenchidos por placas triangulares. À direita ainda permanecem os vãos produzidos pela inclinação frente-trás.

Placas paralelas podem gerar modos normais derivados da distância  $L$  entre as placas e por isso devem ser evitadas.

$$f_1 = \frac{c}{2L} \quad f_2 = 2\frac{c}{2L} \quad \dots \quad f_n = n\frac{c}{2L}$$

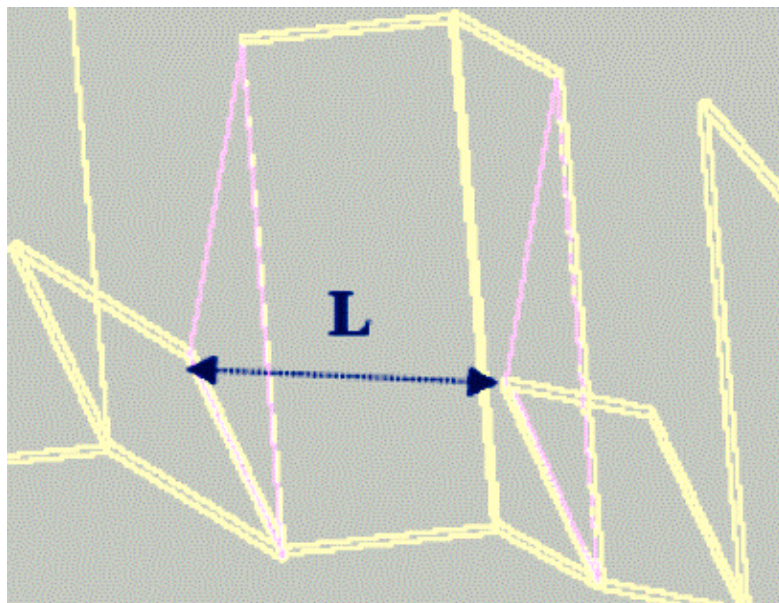


Figura 20: Placas de fechamento paralelas em roxo produzindo modos normais.

### 3.7 Procedimento para evitar paralelismo entre placas triangulares fechando vãos paralelos produzidos por inclinações frente-trás das placas principais

Ao invés da placa retangular  $P$  e suas respectivas placas de fechamento dos vãos  $F_e$  e  $F_d$  (em roxo), coloca-se um conjunto de três placas triangulares  $T_1$ ,  $T_2$  e  $T_3$  (em vermelho) eliminando o paralelismo sem quebrar a continuidade da alternância de inclinações.

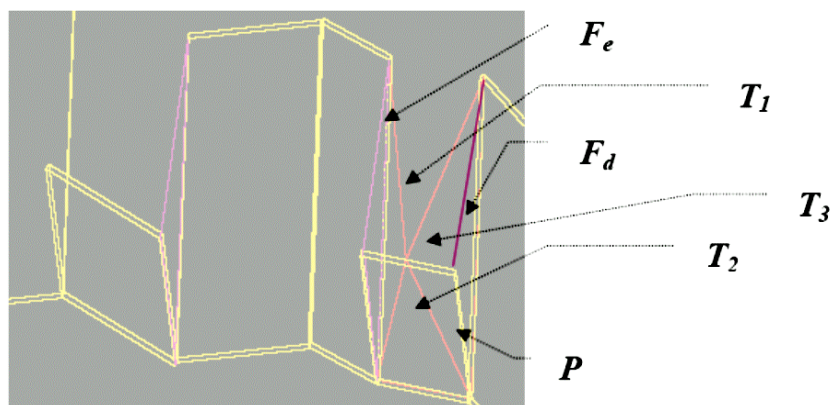


Figura 21: Conjunto de 3 placas triangulares (em vermelho) substituindo a placa retangular amarela e suas duas placas laterais de fechamento (roxas).

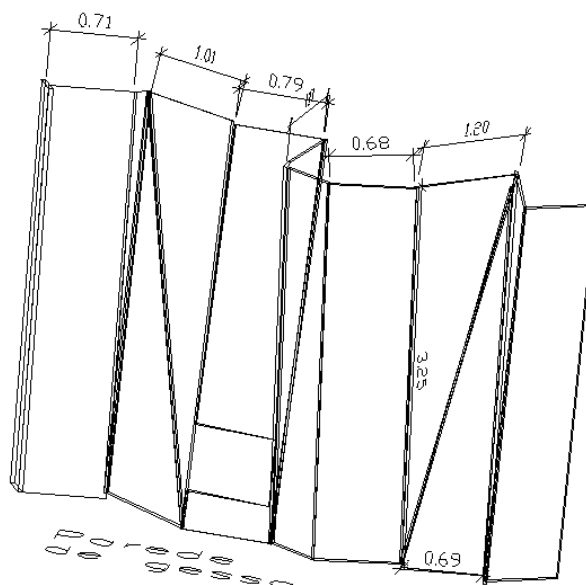


Figura 22: Parede de gesso: algumas dimensões.

Ao final, cada placa terá um perfil cilíndrico com profundidade  $h = 0,2L$ .

## 4. CONCLUSÕES

Superfícies como as duas últimas propostas não absorvem energia e portanto contribuem para a manutenção do preenchimento do som na performance musical. Suas inclinações gerais evitam o paralelismo com a partição oposta e, portanto, eliminam os modos normais de uma pequena sala. Seria necessário saber como elas reagiriam na difusão de médias e altas frequências para poder validar a proposta de paredes seriais em alternativa aos difusores de Schroeder e às superfícies periódicas.

## 5. REFERÊNCIAS

- ANDO, Y., KAGEYAMA, K. Subjective preference of sound with a single early reflection. **Acustica**, vol.37, nº2, März 1977. p.111-117.
- ANDO, Y., KATO, K. Calculations on the sound reflection from periodically uneven surfaces of arbitrary profile. **Acustica**, vol.35, nº5, August 1976. p.321-329.
- ANDO, Yoichi, NOSON, Dennis (Ed.) **Music and concert hall acoustics**. London: Academic Press, 1997. 433p.
- ANDO, Yoichi. **Architectural acoustics**: blending sound sources, sound fields, and listeners. New York: Springer-Verlag, 1998. 252p.
- ANGUS, J. A. S. Using grating modulation to achieve wideband large area diffusers. **Applied Acoustics**, vol.60, nº2, June 2000. p.143-165.
- ANGUS, James A. S. Large area diffusers using modulated phase reflection gratings. In: CONVENTION AUDIO ENGINEERING SOCIETY, 98, 1995, Paris. **Preprint** 3954.
- ANGUS, J. A. S. Using modulated phase reflection gratings to achieve specific diffusion characteristics. In: CONVENTION AUDIO ENGINEERING SOCIETY, 99, 1995, New York. **Preprint** 4117.



- ANGUS, J. A. S. Wideband two dimensional diffusers using orthogonal modulated sequences. In: CONVENTION AUDIO ENGINEERING SOCIETY, 103, 1997, New York. **Preprint** 4640.
- ARRUDA, Fábio R., GUEDES, Renata, MÜLLER, Swen, BRANDÃO, Paulo C. R., NABUCO, Marco, ZINDELUK, Moisés, ROCHA, Renato O. A Influência da direcionalidade de fontes sonoras na avaliação experimental da qualidade acústica de salas. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 19, 2000, Belo Horizonte. **Anais...** p.312-317.
- BARRON, M. Growth and decay of sound intensity in rooms according to some formulae of geometric acoustics theory. **Journal of Sound and Vibration**, vol.27, nº2, 1973. p.183-196.
- BARRON, M., LEE, L-J. Energy relations in concert auditoriums. I **J. Acoust. Soc. Am.**, vol.84, nº2, August 1988. p.618-628.
- BERANEK, Leo L. **Acoustic measurements**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1949. 914p.
- BERANEK, Leo L. **Acoustics**. New York: Acoustical Society of America, 1993. 491p.
- BERANEK, Leo L. **Concert and opera halls: how they sound**. New York: Acoustical Society of America, 1996. 643p.
- BERANEK, Leo L. **Music, acoustics & architecture**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1962. 585p.
- CONDAMINES, Roland. **Stéréophonie** : cours de relief sonore théorique et appliqué. Paris : Masson, 1978. 301p.
- COOPER, Jeff. **Building a recording studio**. 5a. ed. Los Angeles (EUA): Synergy group inc., 1996. 209p.
- COX, T. J., AVIS, M. R., XIAO, L. The potential for room acoustic active diffusers. **Revista de Acústica**, vol.23, 2002. RBA-06-003-IP ISBN 84-87985-07-6 (<http://www.ia.csic.es/sea/forum/forum.htm>)
- COX, Trevor, D'ANTONIO, Peter. Schroeder diffusers: a review. **Building Acoustics**, vol.10, nº1, 2003. p.1-32
- D'ANTONIO, Peter & KONNERT, John H. The acoustical properties of sound diffusing surfaces: the time, frequency and directivity energy response. In: AES CONVENTION, 79., 1985 New York. **Proceedings...** 18p. [2295 (B-6)]
- D'ANTONIO, Peter & KONNERT, John H. The reflection phase grating diffusor: design theory and application. **J. Audio Eng. Soc.**, vol.32, nº4, April 1984. p.228-238.
- D'ANTONIO, Peter & KONNERT, John H. The RPG reflection phase grating acoustical diffusor: applications. In: AES CONVENTION, 76., New York, 1984. **Proceedings...** 8p. [2156 (H-7)]
- D'ANTONIO, Peter & KONNERT, John H. The Schroeder quadratic-residue diffusor: design theory and application. In: AES CONVENTION, 74., 1983, New York. **Proceedings...** 26p. [1999 (C-4)]
- D'ANTONIO, Peter, COX, Trevor J. Diffusor application in rooms. **Applied Acoustics**, vol.60, nº2, June 2000. p.113-142.
- DAVIS, Don & DAVIS, Carolyn. **Sound system engineering**. 2.ed. Indianapolis (EUA): Howard W. Sams & Co., 1987. 665p.
- DE MARCO, Conrado Silva. **Elementos de acústica arquitetônica**. São Paulo: Nobel, 1982. 129p.
- EVEREST, F. Alton & SHEA, Mike. How build a small budget recording studio. 2a. ed. New York (EUA): TAB Books (division of McGraw-Hill), 1988. 295p.
- EVEREST, F. Alton. Acoustics of small rooms. In: BALLOU, Glen (Ed.) **Handbook for sound engineers** : the new audio cyclopedia. Indianapolis (EUA): Howard W. Sams & Co., 1988. Cap.3 p.41-60
- EVEREST, F. Alton. Acoustical design of audio rooms. In: BALLOU, Glen (Ed.) **Handbook for sound engineers** : the new audio cyclopedia. Indianapolis (EUA): Howard W. Sams & Co., 1988. Cap.5 p.93-118
- EVEREST, F. Alton. Fundamentals of sound. In: BALLOU, Glen (Ed.) **Handbook for sound engineers** : the new audio cyclopedia. Indianapolis (EUA): Howard W. Sams & Co., 1988. Cap.1 p.3-22
- EVEREST, F. Alton. Recordings studios design. In: BALLOU, Glen (Ed.) **Handbook for sound engineers** : the new audio cyclopedia. Indianapolis (EUA): Howard W. Sams & Co., 1988. Cap.6 p.119-154
- EVEREST, F. Alton. Sound studio construction on a budget. New York (EUA): McGraw-Hill, 1997. 298p.
- FARINA, Angelo. A new method for measuring the scattering coefficient and the diffusion coefficient of panels. **Acustica**, vol.86, nº6, Novembro/Dezembro 2000. p.928-942.
- FISCHETTI, A., JOUHANEAU, J. The Influence of first reflection distribution on the quality of concert halls. **Applied Acoustics**, vol.35, nº3, 1992. p.233-245.
- FUJIWARA, K. Sound absorber for low frequency with the aid of random phase interference. **Proc. Autumn Meet. Acoust. Soc. Jpn**, pp. 707-708 (1989) (in Japanese)
- FUJIWARA, K., MIYAJIMA, T. A study of the sound absorption of a quadratic-residue type diffuser. **Acustica**, vol.81, 1995. p.370-378.
- FUJIWARA, K., MIYAJIMA, T. Absorption characteristics of a practically constructed Schroeder diffuser of quadratic-residue type. **Applied Acoustics**, vol.35, 1992. p.149-152.
- FUJIWARA, K., MORIYASU, N., A study on the absorption coefficient of a practically constructed Schroeder diffuser at normal incidence. **Proceedings Inter-noise 93**. Vol.III, p.1703 (1993)
- FUJIWARA, K., MORIYASU, N., The absorption coefficient of QRD in the low frequency range. **Proc. Autumn Meet. Acoust. Soc. Jpn**, pp. 821-822. (1993)(in Japanese)
- FUJIWARA, K., NAKAI, K., TORIHARA, H. Visualization of the sound field around a Schroeder diffuser. **Applied Acoustics**, vol.60, nº2, June 2000. p.225-235.
- FUJIWARA, K., NAKAI, K., TORIHARA, H. Visualisation of the sound field around a Schroeder diffuser. **Applied Acoustics**, vol.60, nº2, 2000. p.225-236.
- FUJIWARA, Kyoji. Sound reflection and absorption of a QR-type Schroeder diffuser. In: ANDO, Yoichi, NOSON, Dennis (Ed.) **Music and concert hall acoustics**. London: Academic Press, 1997. Cap.21 p.211-217
- GEN-HUA, Dai, ANDO, Y. Generalized analysis of sound scattering by diffusing walls. **Acustica**, vol.53, nº6, Oktober 1983. p.296-301.
- GERGES, Samir N. Y. **Ruído** : fundamentos e controle. Florianópolis: S. N. Y. Gerges, 1992. 600p.
- JONG, B. A. de, BERG, P. M. van den. Theoretical design of optimum planar sound diffusers. **J. Acoust. Soc. Am.**, vol.68, nº4, October 1980. p.1154-1159.
- KINSLER, Lawrence E. & FREY, Austin R. **Fundamentals of acoustics**. 3.ed. New York : John Wiley & Sons, 1982. 480p.

- KNUDSEN, Vern O.& HARRIS, Cyril M. **Acoustical design in architecture**. 2.ed. New York : Acoustical Society of America, 1978. 408p.
- KUTTRUFF, H. Sound absorption by pseudostochastic diffusers (Schroeder diffusers) **Applied Acoustics**, vol.42, 1994. p.215-231.
- KUTTRUFF, Heinrich. **Room acoustics**. 4.ed. London: Elsevier Science Publisher, 2000.
- HARGREAVES, T. J., COX, T. J., LAM, Y.W., D'ANTONIO, P. Surface diffusion coefficients for room acoustics : free field measures. **J. Acoust. Soc. Am.**, vol.108, nº4, 2000. p.1710-1720.
- LEWERS, T. H., ANDERSON, J. S. Some acoustical properties of St. Paul's Cathedral, London. **Journal of Sound and Vibration**, vol.92, nº2, 1984, p.285-297.
- MANNIS, José A. Intérprete do som: Bases interdisciplinares da performance eletroacústica: Tomada e projeção do som. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE ÁUDIO, 1, 2002, Belo Horizonte. **Anais...** p.10 ISBN:85-89029-01-8 (acompanha CD-ROM com texto completo)
- MASUDA, K. Sound reflection from periodical uneven surfaces. In: ANDO, Yoichi, NOSON, Dennis (Ed.) **Music and concert hall acoustics**. p.191-201
- MECHEL, F. P. The wide-angle diffuser – a wide angle absorber? **Acustica**, vol.81, nº\_\_, 1995, p.379-401.
- MILES, R. N. Sound field in a rectangular enclosure with diffusely reflecting boundaries. **Journal of Sound and Vibration**, vol.92, nº2, 1984, p.203-226.
- MOMMERTZ, Eckart. Determination of scattering coefficients from the reflection directivity of architectural surfaces. **Applied Acoustics**, vol.60, nº2, June 2000. p.201-203.
- ONITSUKA, H., and KAWAKAMI, F. Numerical study on the energy dissipation of diffusers. **Proc. Autumn Meet. Acoust. Soc. Jpn**, pp. 813-814 (1993) (in Japanese)
- ONITSUKA, H., and KAWAKAMI, F. Numerical study on the energy dissipation of diffusers. **Tec. Rep. Archit. Acoust. Soc. Jpn**, AA94-20 (1994) (in Japanese)
- ONITSUKA, Hirofumi, KAWAKAMI, Fukushi. Numerical study of energy dissipation in QR-diffusers. In: ANDO, Yoichi, NOSON, Dennis (Ed.) **Music and concert hall acoustics**. London: Academic Press, 1997. Cap.20 p.203-209
- SCHOENBERG, Arnold. **Stile e idea**. Tradução: Maria Giovanna Moretti e Luigi Pestalozza. Milano : Rusconi e Paolazzi, 1960. xvii, 237p.
- SCHOENBERG, Arnold. **Style and idea**. New York : Philosophical Library, 1950. vii, 224p.
- SCHROEDER, M. R. Binaural dissimilarity and optimum ceilings for concert halls : more lateral sound diffusion. **J. Acoust. Soc. Am.**, vol.65, nº4, April 1979. p.958-963.
- SCHROEDER, Manfred R. New method of Measuring Reverberation Time. **J. Audio Eng. Soc.**, vol.37, nº3, March 1965. p.409-412.
- SCHROEDER, Manfred R. **Number theory in science and communication**: with applications in cryptography, physics, digital information, computing, and self-similarity. 3.ed. New York: Springer-Verlag, 1997. (Spring series in Information Sciences, vol.7) 363p. (1.ed. em alemão, Berlin : Springer, 1984)
- SCHROEDER, Manfred R. Progress in architectural acoustics and artificial reverberation: concert hall acoustics and number theory. **J. Audio Eng. Soc.**, vol.32, nº4, April 1984. p.194-198.
- SEARS, Francis, ZEMANSKY, Mark W. & YOUNG, Hugh D. **Física: mecânica dos fluidos, calor, movimento ondulatório**. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1984. v.2.
- SEPMAYER, L. W. Computed Frequency and Angular Distribution of the Normal Modes of Vibration in Rectangular Rooms. **J. Audio Eng. Soc.**, vol.37, nº3, March 1965. p.413-423.
- SMITH, PETERS, R. J., OWEN, S. **Acoustics and Noise Control**
- STRUBE, Hans Werner. Diffraction by a planar, locally reacting, scattering surface. **J. Acoust. Soc. Am.**, vol.67, nº2, February 1980. p.460-469.
- STRUBE, Hans Werner. Scattering of a plane wave by a Schroeder diffusor : a mode-matching approach. **J. Acoust. Soc. Am.**, vol.67, nº2, February 1980. p.453-459.
- TAKAHASHI, D. A design method for optimum acoustic diffusers. In: ANDO, Yoichi, NOSON, Dennis (Ed.) **Music and concert hall acoustics**. p.183-190
- TAKAHASHI, D. **J. Acoust. Soc. Jpn (E)**. 16, 51 (1995).
- TAKAHASHI, D. **Proc. Sabine Symposium**, p. 149. ASA, Boston (1994).
- TAKAHASHI, D. Theoretical investigation for sound absorption of QRD. **Tec. Rep. Archit. Acoust. Soc. Jpn**, AA94-3 (1994) (in Japanese).
- VALADARES, Victor M. Avaliação simplificada de desempenho acústico de salas utilizadas para concertos em Belo Horizonte. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 19, 2000, Belo Horizonte. **Anais...** p.487-492.
- WALKER, R. & BAIRD, M.D.M. **Modular acoustic diffuser** : the development and performance of a modular acoustic diffuser. Research and Development Report, BBC RD 1995/1. BBC Research & Development Department : Surrey, 1995.
- WATTERHOUSE, Richard V., COOK, Richard K. Interference Patterns in Reverberant Sound Fields. II **J. Audio Eng. Soc.**, vol.37, nº3, March 1965. p.424-428.
- WEBERN, Anton. **Chemin vers la nouvelle musique**. Tradução do alemão : Anne Servant, Didier Alluard, Cyril Huvé. Paris : Jean-Claude Lattès, 1980. 170p. (Collection Musiques et musiciens, dir. Odile Cail)
- WU, T., COX, T. J., and LAM, Y. W. A profiled structure with improved low frequency absorption. **J. Acoust. Soc. Am.**, vol.110, nº\_\_, \_\_\_\_ 2001. p.3064-3070.
- WU, T., COX, T. J., and LAM, Y. W. From a profiled diffuser to an optimised absorber. **J. Acoust. Soc. Am.**, vol.108, nº2, 2000. p.643-650.