

SPL em Recintos Fechados

Quando desejamos determinar o SPL produzido por uma fonte sonora, operando ao ar livre, utilizamos a conhecida expressão que retrata a lei dos inversos dos quadrados, ou seja, o SPL sofre um decréscimo de 6 dB cada vez que a distância entre o ouvinte e a fonte dobra.

Em um recinto fechado a situação é mais complicada, pois além da componente direta surge outra, criada pela reverberação no recinto, que se soma à componente direta.

Para melhor entendimento desse fenômeno utiliza-se o conceito da *distância crítica*, onde as componentes direta e reverberante possuem a mesma amplitude. Abaixo da *distância crítica* predomina o campo direto e cada vez menos o ouvinte é afetado pela reverberação do local; acima da *distância crítica* cada vez mais o ouvinte penetra no campo reverberante, região de SPL constante e independente da distância do ouvinte até a fonte sonora.

Na Fig. 1 temos a contribuição do campo reverberante, em função da distância da fonte, em metros (posição do ouvinte), para diversos valores da distância crítica do ambiente, também em metros.

Quando a distância crítica é infinita a contribuição do campo reverberante é nula (linha preta cheia sobre o eixo horizontal da Fig. 1), existindo apenas o campo direto. Esta situação corresponde ao ar livre, mas, teoricamente também poderia ser obtida em um recinto fechado que tivesse um tratamento acústico totalmente absorvente, ou seja, dotado de um coeficiente de absorção igual a 1.

Ainda na Fig. 1 vemos que quando a distância da fonte, e a distância crítica forem iguais, o campo reverberante contribuirá com 3 dB (linha horizontal, fina, em vermelho).

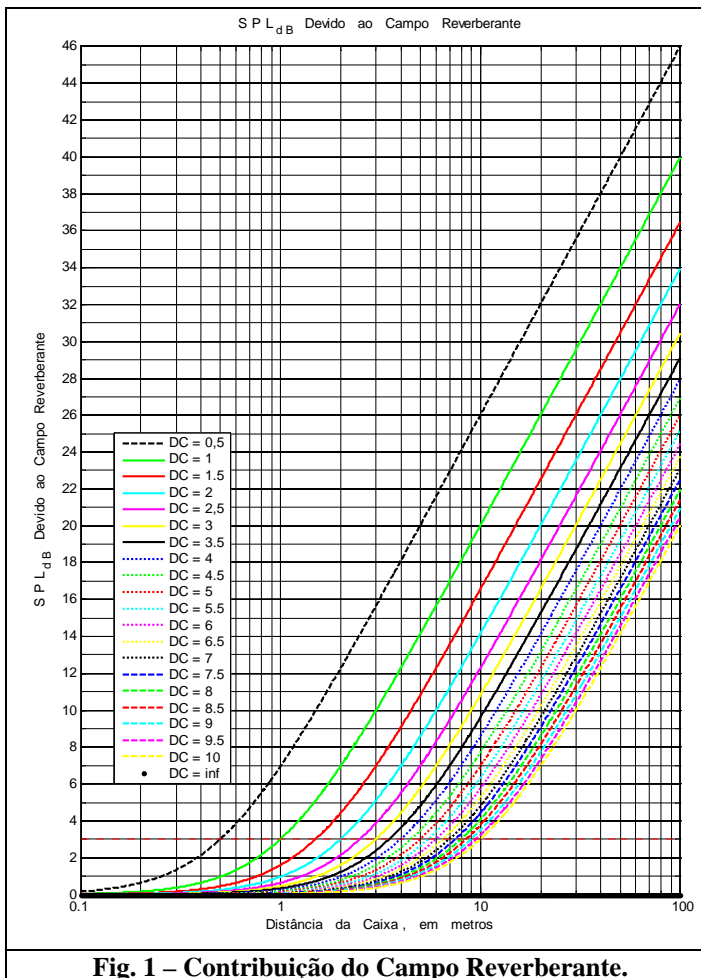


Fig. 1 - Contribuição do Campo Reverberante.

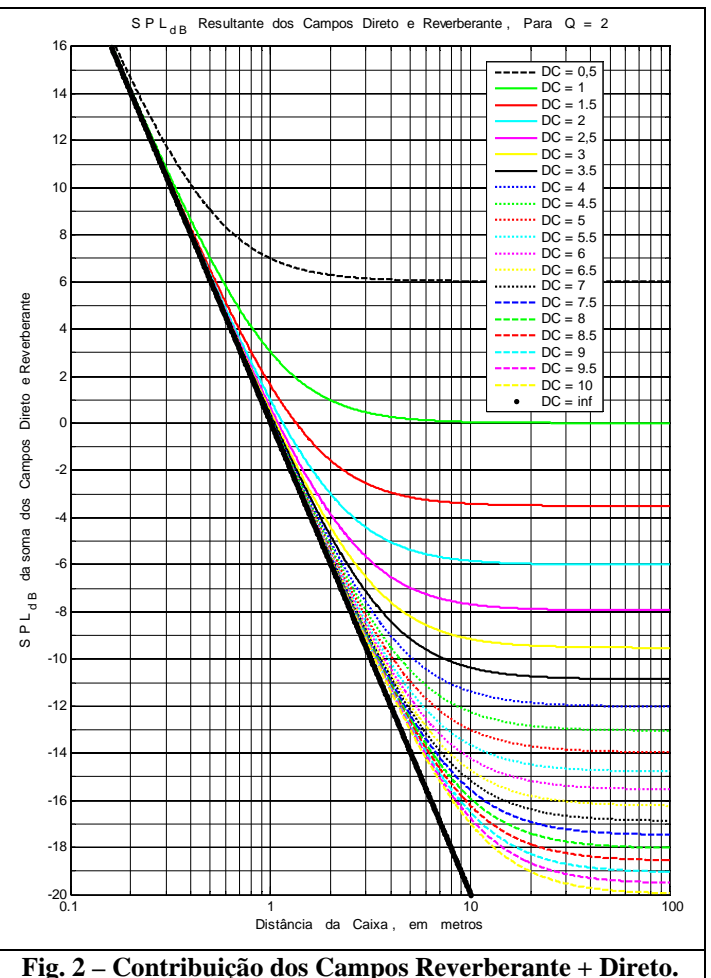

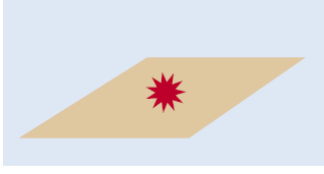
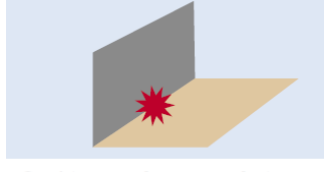
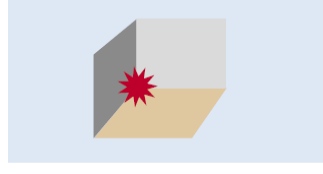


Fig. 2 - Contribuição dos Campos Reverberante + Direto.

Fig. 3.1 - Q = 1	Fig. 3.2 - Q = 2	Fig. 3.3 - Q = 4	Fig. 3.4 - Q = 8
			
Espaço Completo - Caixa longe de planos refletoras.	Meio Espaço - Caixa próxima de plano refletor.	1 / 4 Espaço - Caixa na interseção de dois planos.	1 / 8 Espaço - Caixa no canto de três planos.

A Fig. 2 mostra a soma das contribuições dos campos direto e reverberante, para uma fonte sonora omnidirecional, montada nas proximidades de um plano refletor, que pode ser uma parede, teto ou piso, situação que corresponde a um *fator de diretividade*, Q, igual a 2, conforme a Fig. 3.2 .

A contribuição do campo direto, que depende do valor de Q, pode ser vista na reta inclinada na cor preta cheia, que corresponde a uma distância crítica infinita, ou seja, todos os pontos do recinto ainda não atingiram o campo reverberante e estão, portanto, dentro do campo direto.

A contribuição do campo reverberante é considerada independente do *fator de diretividade*, Q, usado na montagem.

Para determinarmos o nível da pressão acústica resultante, em dB SPL, em um determinado ponto do recinto, devemos adicionar à contribuição dos **campos direto + reverberante**, acima discutido, o **SPL de referência** da caixa, especificado em 1 Watt / 1 metro, e o **nível da potência elétrica** aplicada na caixa, expressa em dB, ou seja, $SPL_{(1W@1m)} + 10 \cdot \text{Log}(W_E)$.

Exemplo:

Uma caixa modelo SKY 600 foi instalada na condição de meio espaço, em ambiente fechado.

Um ouvinte situa-se a 4 metros da fonte, local em que a distância crítica é igual a 2 metros.

A eficiência de referência da caixa vale 100 dB SPL (Tab. 1) e foram aplicados 200 Watts na caixa.

Determine, na posição do ouvinte:

1 - A contribuição do campo direto.

Na Fig. 2, trace uma reta vertical passando pela distância 4 metros (eixo horizontal) até encontrar a curva inferior (preta cheia, correspondente a uma distância crítica infinita, ou seja, ar livre). Neste ponto trace uma reta horizontal até encontrar, no eixo vertical, a contribuição do campo direto.

Contribuição do campo direto: - 12 dB .

2 - A contribuição do campo reverberante.

Na Fig. 1, trace uma reta vertical passando pela distância 4 metros (eixo horizontal) até encontrar a curva azul cheia, correspondente a uma distância crítica igual a 2 metros. Neste ponto trace uma reta horizontal até encontrar, no eixo vertical, a contribuição do campo reverberante.

Contribuição do campo reverberante: 7 dB .

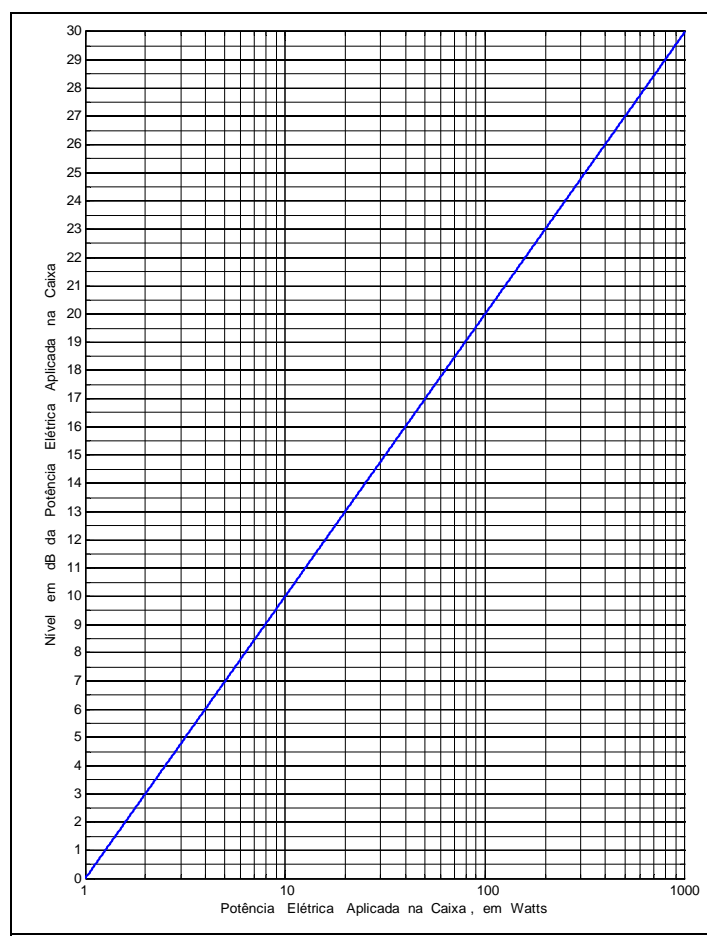


Fig. 4 - Níveis de Potência em dB e Potências em Watt.

Modelo	Sensibilidade em dB @ 1 Watt / 1 metro	Número de Falantes	Pot. Máxima, W		SPL Máximo @ 1 m , em dB
			p/Falante	Total	
SKY 3000	96	2	250	500	126
SKY 2200	100	2	250	500	130
SKY 700	96	1	250	250	120
SKY 600	100	1	200	200	123
NASH 1244	97	1	250	250	121

Tab. 1 – Características de sensibilidade e potência máxima de diversos modelos de caixas STUDIO R.

3 - A contribuição total dos campos direto e reverberante.

Na Fig. 2, trace uma reta vertical passando pela distância 4 metros (eixo horizontal) até encontrar a curva azul cheia, correspondente a uma distância crítica igual a 2 metros. Neste ponto trace uma reta horizontal até encontrar, no eixo vertical, a contribuição total dos campos direto e reverberante.

Contribuição dos campos direto e reverberante: - 5 dB .

3.1 – Comprovação.

Somando os valores obtidos nos itens 1 e 2, ou seja, respectivamente as contribuições dos campos direto e reverberante, temos: $- 12 + 7 = - 5$ dB, o que confirma o valor obtido no item 3.

4 – O SPL no local do ouvinte.

Somando o valor do item 3, com a sensibilidade de referência da Tabela 1, mais o nível da potência aplicada, em dB, obtido na Fig. 4, temos:

$$SPL = - 5 + 100 + 23 = 118 \text{ dB}$$

Acústica em Ambientes Fechados

Em 1885 o então jovem professor *Wallace Clement Sabine*, (1868 - 1919), foi solicitado a “dar um jeito” nos graves problemas de acústica do recém construído Museu de Artes da Universidade de Harvard, onde lecionava física. Ao invés de seguir a prática, então em voga, de espalhar cortinas e tapetes, na tentativa de simplesmente conseguir uma solução, partiu para uma abordagem científica desenvolvendo um intenso trabalho de pesquisa objetiva e subjetiva em bons e maus auditórios.

Graças à sua metodologia científica e ao seu gênio como pesquisador, após mais de dois anos de trabalho não só resolveu o problema como, através da análise da enorme quantidade de dados e gráficos coletados pode desenvolver toda uma teoria, inteiramente nova, relacionando, em uma equação, o volume da sala e sua área interna com o tempo de reverberação e o coeficiente de absorção médio sala, apresentada em seu trabalho de 1898, mas só publicado em 1922.

A partir daí a Acústica Arquitetônica estava fundamentada sendo, então, possível prever o resultado acústico de uma sala antes da sua construção. Até hoje sua equação é utilizada e, embora tenha chegado a ela sem demonstração, foi a mesma posteriormente demonstrada, 77 anos depois, em 1975, por W. B. Joyce.

Nas justas e inspiradas palavras de *Don Davis* e *Carolyn Davis*, “*Wallace Clement Sabine merece nosso honroso respeito e reconhecimento*” [1].

A equação de Sabine

A equação de Sabine (pronuncia-se **Seibinn**) permite calcular o Tempo de Reverberação, RT_{60} , que corresponde ao intervalo de tempo em segundos em que o nível da pressão acústica leva para cair 60 dB, a partir do instante em que o sinal sonoro aplicado ao recinto é interrompido.

Como esse nível é dado por $20 \cdot \text{Log}(1000) = 20 \cdot 3 = 60 \text{ dB}$, significa que a pressão acústica ficou 1000 vezes menor.

Como o nível da intensidade sonora corresponde a $10 \cdot \text{Log}(1000000) = 10 \cdot 6 = 60 \text{ dB}$, concluímos que a intensidade sonora ficará um milhão de vezes menor, ao fim do RT_{60} .

O RT_{60} depende da quantidade som absorvida na sala, da geometria desta, da frequência do sinal, da temperatura ambiente e da umidade relativa do ar.

$$RT_{60} = \frac{k \cdot V}{A} \quad \text{onde } k = \frac{24 \cdot \text{Ln}(10)}{C_{(T)}} \quad ; \quad \text{para } T = 20^\circ \Rightarrow k = \frac{24 \cdot \text{Ln}(10)}{C_{20^\circ}} = \frac{55,2620}{343,8588} = 0,1607 \approx 0,161 \left[\frac{\text{s}}{\text{m}} \right]$$

$$RT_{60} = \frac{0,161 \cdot V}{A} = \frac{0,161 \cdot V}{\bar{\alpha} \cdot S} \quad [\text{s}]$$

V = Volume da sala em m^3 ; S = Superfície da sala em m^2

$A = \bar{\alpha} \cdot S$ = superfície equivalente de absorção, em m^2 , resultado do produto da área total S , da sala, pelo coeficiente médio de absorção da sala, $\bar{\alpha}$.

É o resultado do somatório dos produtos de cada pedaço da área total, pelo coeficiente de absorção do material nele utilizado:

$$A = \bar{\alpha} \cdot S = S_1 \cdot \alpha_1 + S_2 \cdot \alpha_2 + S_3 \cdot \alpha_3 + \dots + S_N \cdot \alpha_N$$

α = Coeficiente de absorção do material a uma dada frequência.

$$\alpha = 1 - \frac{W_R}{W_I} \quad \text{onde: } W_R = \text{Energia Refletida} \quad ; \quad W_I = \text{Energia incidente}$$

Os valores dos coeficientes de absorção são geralmente fornecidos em bandas de oitava, centradas em 125, 250, 500, 1000 Hz ... Os valores correspondentes a diversos materiais, podem ser obtidos nos links abaixo e, no caso de serem fornecidos em uma única frequência esta será 500 Hz:

<http://www.bobgolds.com/AbsorptionCoefficients.htm> e <http://www.bobgolds.com/Sabin.htm>

$\bar{\alpha}$ = Coeficiente médio de absorção da sala, a uma dada frequência.

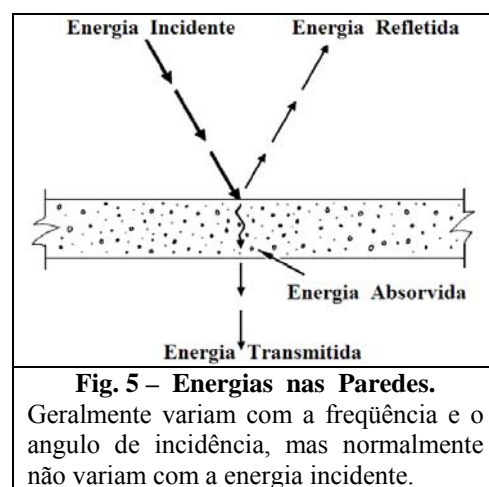
$$\bar{\alpha} = \frac{S_1 \cdot \alpha_1 + S_2 \cdot \alpha_2 + S_3 \cdot \alpha_3 + \dots + S_N \cdot \alpha_N}{S} = \frac{A}{S}$$

$$R = \frac{\bar{\alpha} \cdot S}{1 - \bar{\alpha}} = \frac{S}{\frac{1}{\bar{\alpha}} - 1} \quad [\text{m}^2] = \text{Constante da sala, que depende da}$$

superfície interna da mesma, S , e do seu coeficiente médio de absorção, $\bar{\alpha}$, a uma dada frequência.

Para $\bar{\alpha} = 1 \Rightarrow R = \infty$ o que seria uma situação equivalente ao ar livre.

$C_{20^\circ} = 343,8588$ Velocidade do som no ar a 20° Celsius.



Atenuação		Reflexão	
α	dB	$1 - \alpha$	dB
0.01	-20.00	0.99	- 0.04
0.02	-16.99	0.98	- 0.09
0.03	-15.23	0.97	- 0.13
0.04	-13.98	0.96	- 0.18
0.05	-13.01	0.95	- 0.22
0.06	-12.22	0.94	- 0.27
0.07	-11.55	0.93	- 0.32
0.08	-10.97	0.92	- 0.36
0.09	-10.46	0.91	- 0.41
0.10	-10.00	0.90	- 0.46
0.20	-6.99	0.80	- 0.97
0.30	-5.23	0.70	- 1.55
0.40	-3.98	0.60	- 2.22
0.50	-3.01	0.50	- 3.01
0.60	-2.22	0.40	- 3.98
0.70	-1.55	0.30	- 5.23
0.80	-0.97	0.20	- 6.99
0.90	-0.46	0.10	- 10.00
1.00	0	0	- ∞

Tab. 2 - Coeficientes de aten. e refl.

A equação de Norris e Eyring

Alguns autores^[3] indicam que a equação de Sabine deve ser utilizada somente no intervalo $0 > \bar{\alpha} \leq 0,2$. Para a faixa $0,2 < \bar{\alpha} \leq 1$ recomendam a equação de Norris e Eyring, onde:

$$RT_{60} = \frac{0,161 \cdot V}{-S \cdot \text{Log}_N(1 - \bar{\alpha})} \Rightarrow \bar{\alpha} = 1 - 10^{\frac{-0,161 \cdot V}{S \cdot RT_{60}}}$$

Reverberação Típica

Na Tabela 3 vemos os tempos de reverberação, RT_{60} , tipicamente encontrados em alguns ambientes e seus respectivos coeficientes de absorção médios.

Para igrejas $\bar{\alpha} = 0,1$, o que é um valor muito baixo, por isso provocando uma reverberação elevada, o que muito se acentua, no caso de ambientes maiores como nas catedrais.

Na Fig. 6 vemos os tempos de reverberação e os volumes associados à execução de determinados programas musicais.

Parâmetro	Classificação do Local				
	Muito Seco	Seco	Normal	Reverberante	Muito Reverberante
RT_{60}	$0,2 \leq RT_{60} \leq 0,25$	$0,4 \leq RT_{60} \leq 0,5$	$0,9 \leq RT_{60} \leq 1,1$	$1,8 \leq RT_{60} \leq 2,2$	$2,5 \leq RT_{60} \leq 4,5$
Local Típico	Estúdio de Gravação	Restaurante Teatro Sala de Aula	Escritório Biblioteca Quitinete	Hospital Igreja	Fábrica Catedral
$\bar{\alpha}$	0,40	0,25	0,15	0,10	0,05

Tabela 3 - Tempos de reverberação encontrados em certos locais e seus coeficientes de absorção médios, em 500 Hz. ^[2]

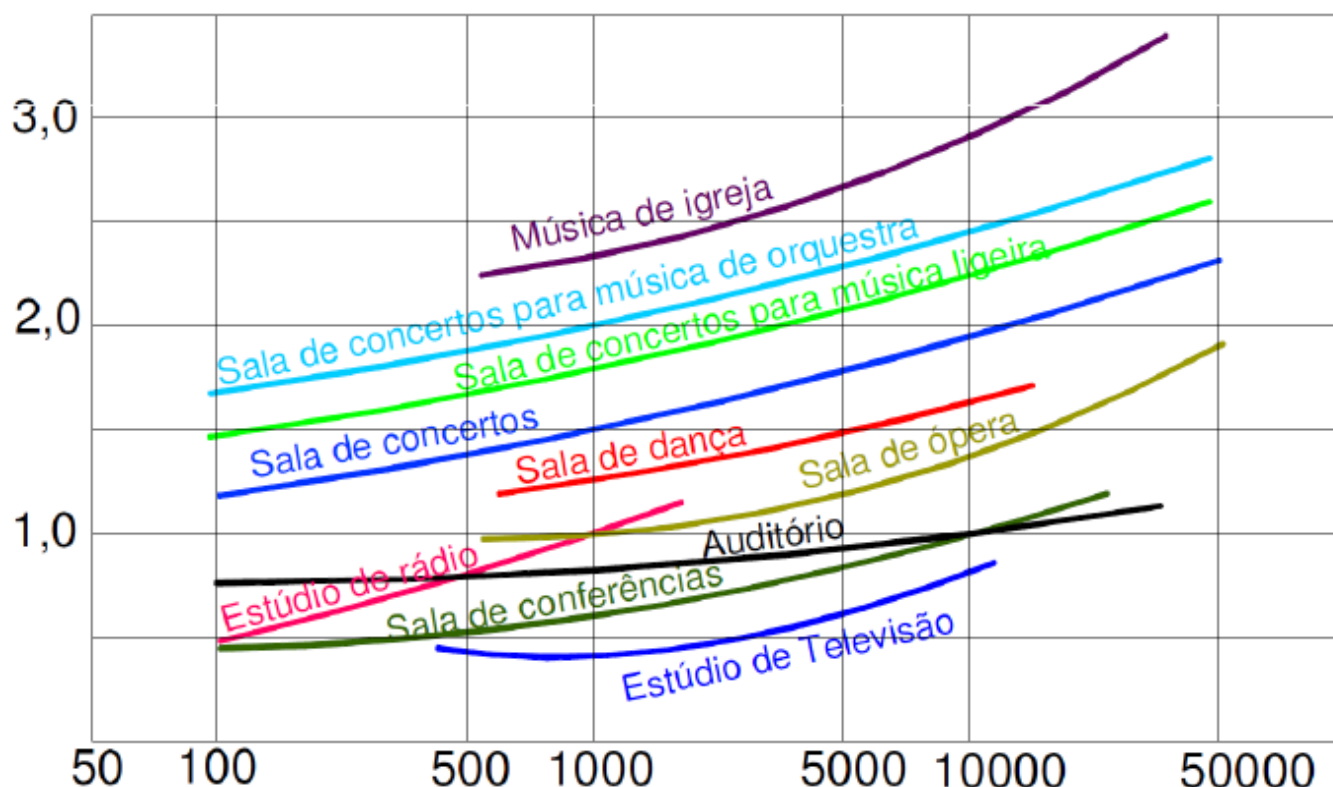


Fig. 6 - Tempos de Reverberação RT_{60} , em segundos, a 500 Hz, em função do volume da sala V , em m^3 . ^[2]

Solução Gráfica

Após esta breve apresentação dos conceitos fundamentais relativos à acústica ambiental vamos aplicar essas informações na solução gráfica de um exemplo típico, através de diversas curvas que serão fornecidas abaixo.

Roteiro Sugerido:

1 – Entrar com as dimensões do recinto Largura, Altura e profundidade, em metros:

$$L, A, P : L = 8 ; A = 10 ; P = 20$$

2 – Calcular o Volume do recinto em metros cúbicos:

$$V = L \cdot A \cdot P : V = 8 \times 10 \times 20 = 1600$$

3 – Calcular a área da superfície interna do recinto, S, em metros quadrados:

$$S = 2 \cdot (A \cdot L + A \cdot P + L \cdot P)$$

$$S = 2 \times (10 \times 8 + 10 \times 20 + 8 \times 20) = 2 \times (80 + 200 + 160) = 2 \times 440 = 880$$

4 – Entrar com o coeficiente de absorção médio $\bar{\alpha}$ da sala (adimensional) ou RT_{60} :

Para $0,001 \leq \bar{\alpha} \leq 0,02$ usar o gráfico da Fig. 7, para $0,02 \leq \bar{\alpha} \leq 0,2$ usar o gráfico da Fig. 8 e

Para $0,2 \leq \bar{\alpha} \leq 1$ usar o gráfico da Fig. 9

4.1 – Entrar com o valor de $\bar{\alpha}$ nos gráficos das Figs. 7, 8 ou 9, para obter o RT_{60} ou ir para (4.2):

Entrando com $\alpha = 0,1$ na Fig. 8 obteremos 1,61.

Multiplicando 1,61 por $1600 / 880$ obteremos $RT_{60} = 2,93$ segundos.

4.2 - Entrar com o valor de RT_{60} , em segundos, para obter $\bar{\alpha}$, nos gráficos das Figs. 7, 8 ou 9.

5 – Obtenção da constante da sala R, em metros quadrados, nos gráficos das Figs. 10, 11 ou 12:

Para $0 \leq \bar{\alpha} \leq 0,2$ usar o gráfico da Fig. 10 ; Para $0,2 < \bar{\alpha} \leq 0,75$ usar o gráfico da Fig. 11 ; e

Para $0,75 < \bar{\alpha} \leq 0,95$ usar o gráfico da Fig. 12 . Entrando com $\alpha = 0,1$ na Fig. 10 obteremos 0,111.

Multiplicando 0,111 por 880 obteremos $R = 97,8$ metros quadrados.

6 – Obter a Frequência de Schroeder, em Hz, no gráfico da Fig. 13:

(Abaixo dessa frequência dominam as ondas estacionárias no ambiente e, acima dela, o RT_{60} .)

Entrando com $RT_{60} = 2,93$ na Fig. 13, obteremos 86 Hz.

8 – Especificar o Fator de Diretividade Q (adimensional) da montagem, conforme as Figs. 3.1 a 3.4:

$Q = 2$ (meio espaço)

9 – Obter a Distância Crítica D_c , em metros no gráfico da Fig. 14:

Entrando com $R = 98$ na Fig. 14, obteremos uma distância crítica igual a 2 m .

10 - Entrar com a distância da caixa r, em metros : $r = 10$ m .

11 - Verificar se a distância r está no Campo direto ou no Campo Reverberante:

Se $r \leq D_c \Rightarrow$ Campo Direto ; Se $r \geq D_c \Rightarrow$ Campo Reverberante

Como $10 > 2$, está no campo reverberante.

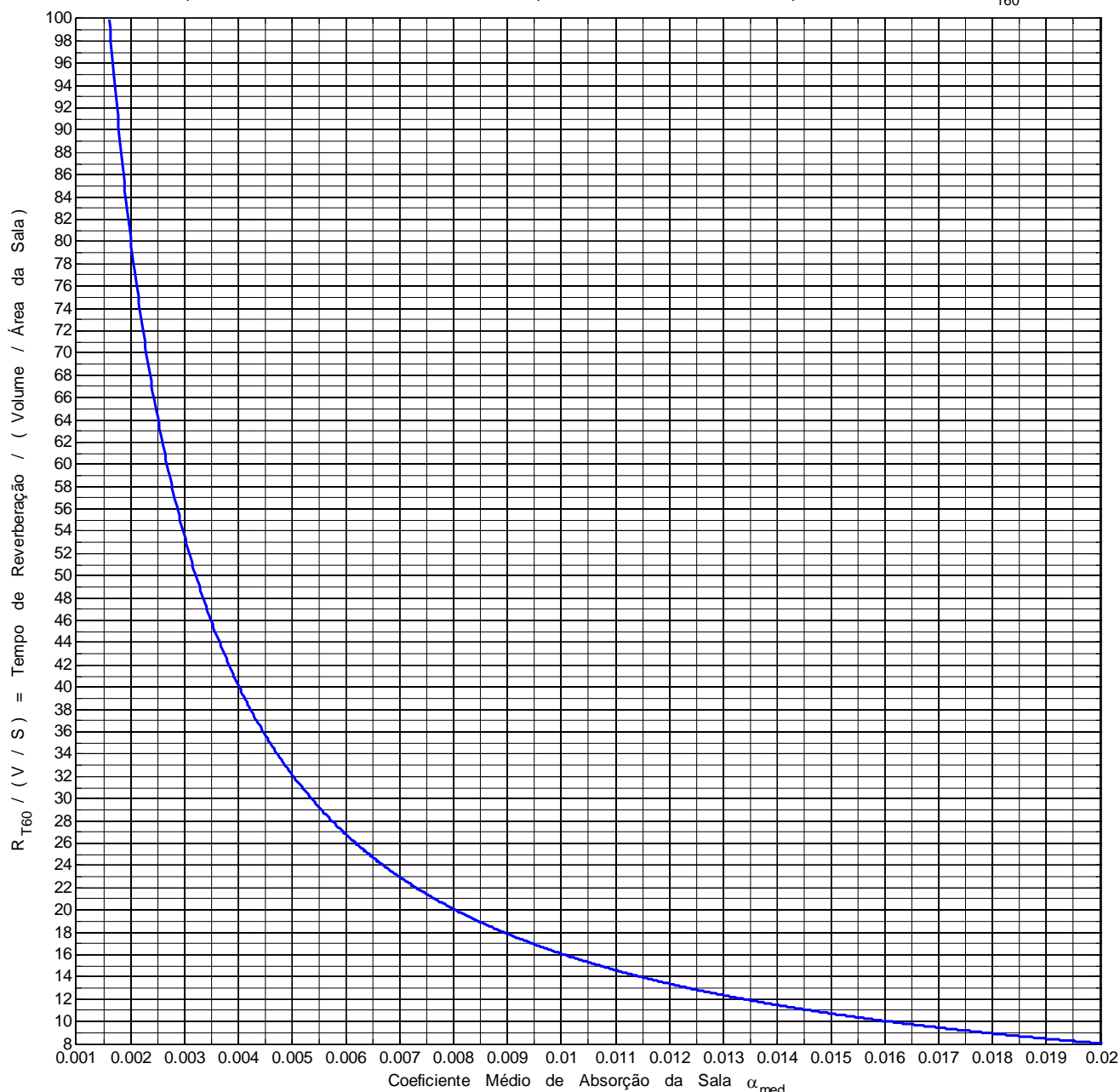
13 – Escolher o modelo da caixa, operando a Meio Espaço: SKY 600

14 – Calcular o SPL máximo, em dB, utilizando os gráficos das Figs. 15 a 19.

Entrando com 10 m no gráfico da Fig. 18, obteremos um SPL igual a 117,3 dB.

(Este valor foi conseguido na curvas $R = 100$, pois $R = 98$)

Multiplicar o Valor Encontrado no Eixo Vertical pelo Volume / Área da Sala para Obter o Valor de R_{T60}

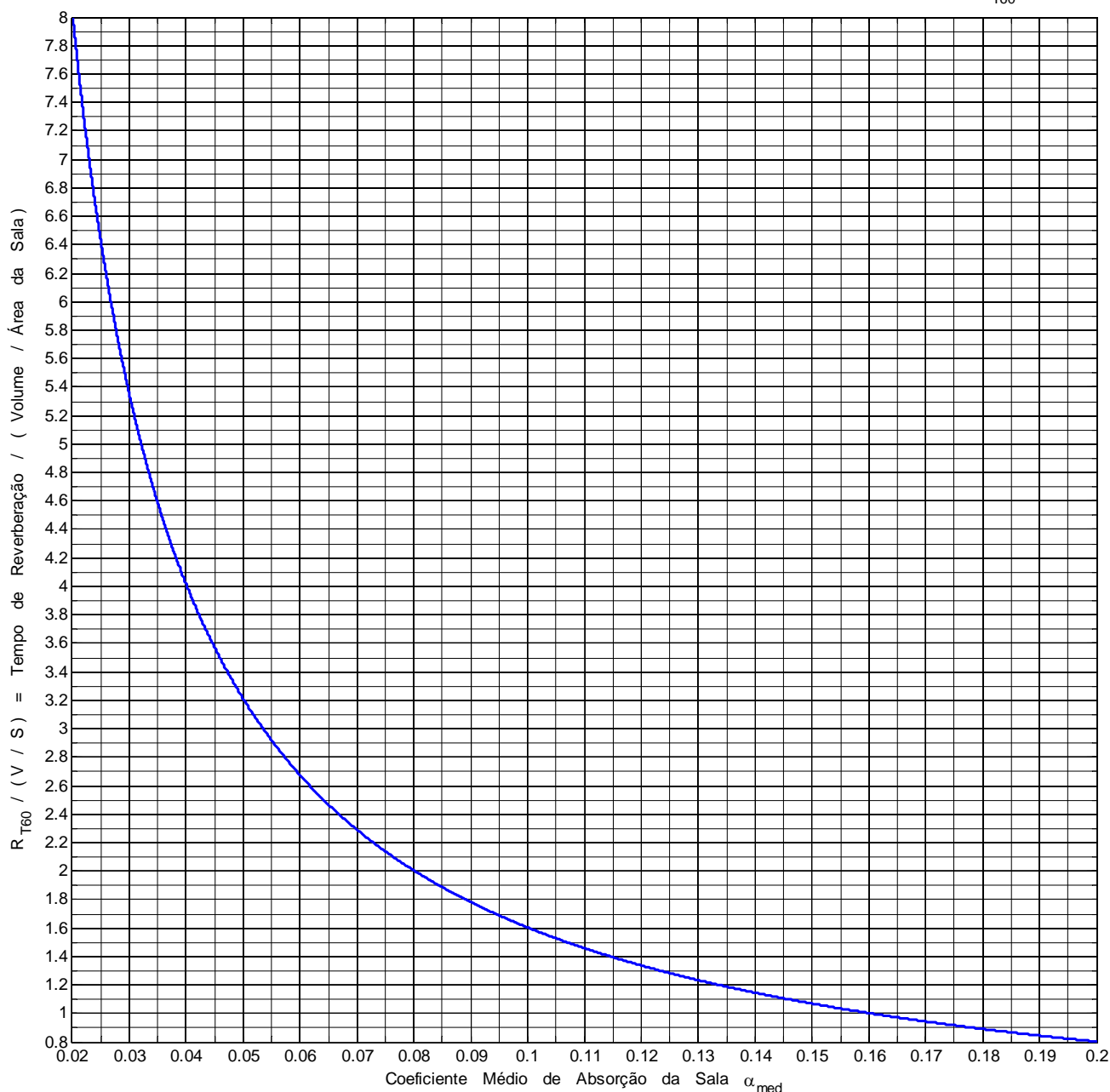


- 1 - Obter RT_{60} conhecendo o Volume da Sala, V , sua área interna S e o coeficiente de absorção $\bar{\alpha} = \alpha_{med}$.
 - 1.1 – Entre com o valor de $\bar{\alpha} = \alpha_{med}$, no eixo horizontal, e levante uma reta vertical até encontrar a curva.
 - 1.2 – Pelo ponto de interseção passe uma reta horizontal e obtenha, no eixo vertical, o valor de $\frac{RT_{60}}{(V / S)}$.
 - 1.3 – Calcule o cociente (V / S) entre o volume da sala V e sua área interna S .
 - 1.4 – Multiplique o valor de (V / S) pelo valor obtido no item 1, para conseguir o valor do RT_{60} .

- 2 - Obter o coeficiente de absorção $\bar{\alpha} = \alpha_{med}$, conhecendo o Volume da Sala, V , sua área interna S e RT_{60} .
 - 2.1 – Calcule o cociente (V / S) entre o volume V , da sala, e sua área interna S .
 - 2.2 – Multiplique o valor de (V / S) , obtido no item 2.1, pelo valor do RT_{60} .
 - 2.3 – Entre com o valor obtido em 2.2 no eixo vertical e trace uma reta horizontal até encontrar a curva.
 - 2.4 – Trace uma reta vertical pelo ponto de interseção até encontrar o valor de $\bar{\alpha} = \alpha_{med}$, no eixo horizontal.

Fig. 7 – Relação entre o RT_{60} e o coeficiente $\bar{\alpha} = \alpha_{med}$ através do cociente (V / S) , entre o volume da sala V e sua área S .

Multiplicar o Valor Encontrado no Eixo Vertical pelo Volume / Área da Sala para Obter o Valor de R_{T60}

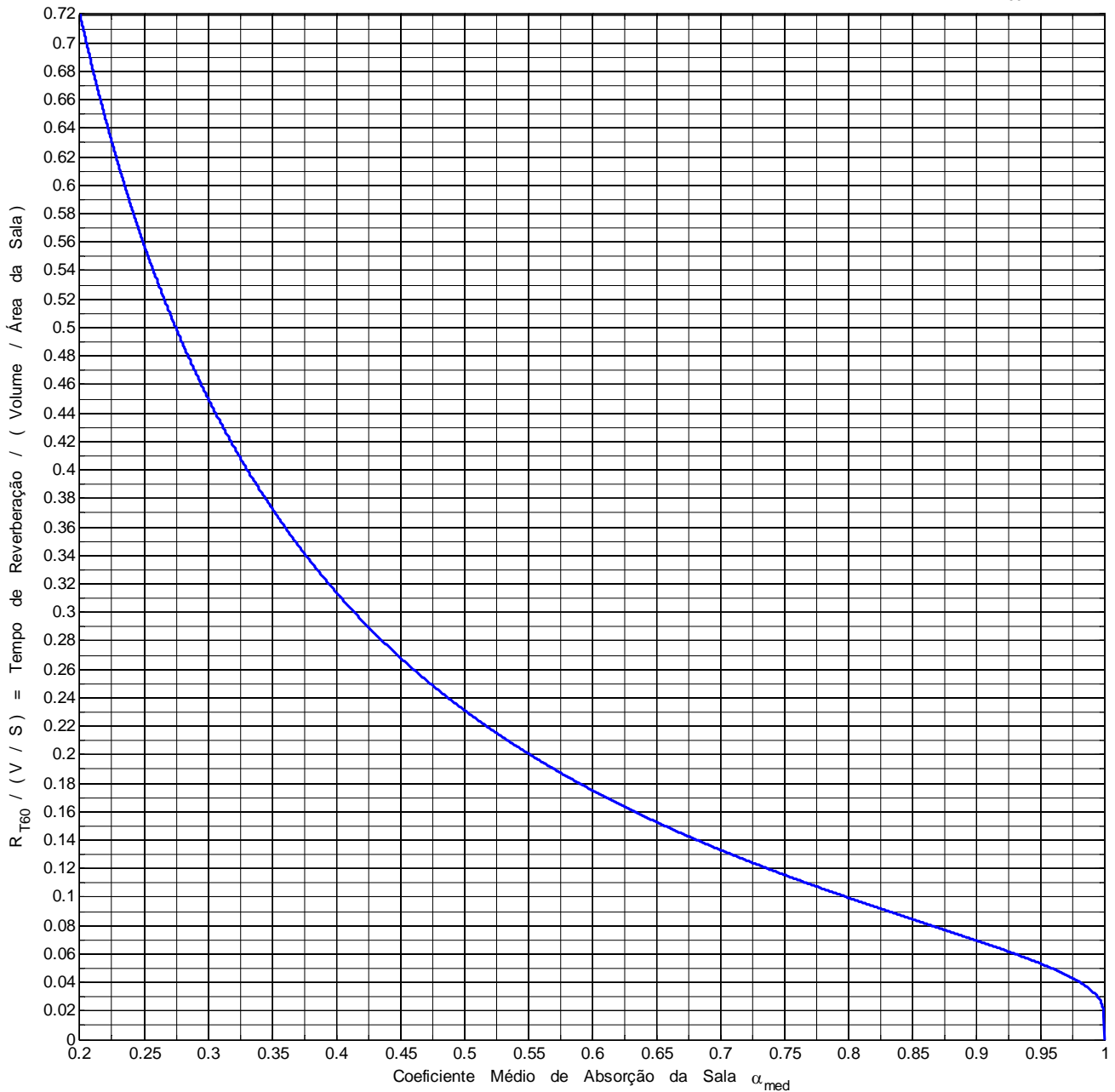


- 1 - Obter R_{T60} conhecendo o Volume da Sala, V , sua área interna S e o coeficiente de absorção $\bar{\alpha} = \alpha_{med}$.
- 1.1 – Entre com o valor de $\bar{\alpha} = \alpha_{med}$, no eixo horizontal, e levante uma reta vertical até encontrar a curva.
- 1.2 – Pelo ponto de interseção passe uma reta horizontal e obtenha, no eixo vertical, o valor de $\frac{R_{T60}}{(V/S)}$.
- 1.3 – Calcule o cociente (V/S) entre o volume da sala V e sua área interna S .
- 1.4 – Multiplique o valor de (V/S) pelo valor obtido no item 1, para conseguir o valor do R_{T60} .

- 2 - Obter o coeficiente de absorção $\bar{\alpha} = \alpha_{med}$, conhecendo o Volume da Sala, V , sua área interna S e R_{T60} .
- 2.1 – Calcule o cociente (V/S) entre o volume V , da sala, e sua área interna S .
- 2.2 – Multiplique o valor de (V/S) , obtido no item 2.1, pelo valor do R_{T60} .
- 2.3 – Entre com o valor obtido em 2.2 no eixo vertical e trace uma reta horizontal até encontrar a curva.
- 2.4 – Trace uma reta vertical pelo ponto de interseção até encontrar o valor de $\bar{\alpha} = \alpha_{med}$, no eixo horizontal.

Fig. 8 – Relação entre o R_{T60} e o coeficiente $\bar{\alpha} = \alpha_{med}$ através do cociente (V/S) , entre o volume da sala V e sua área S .

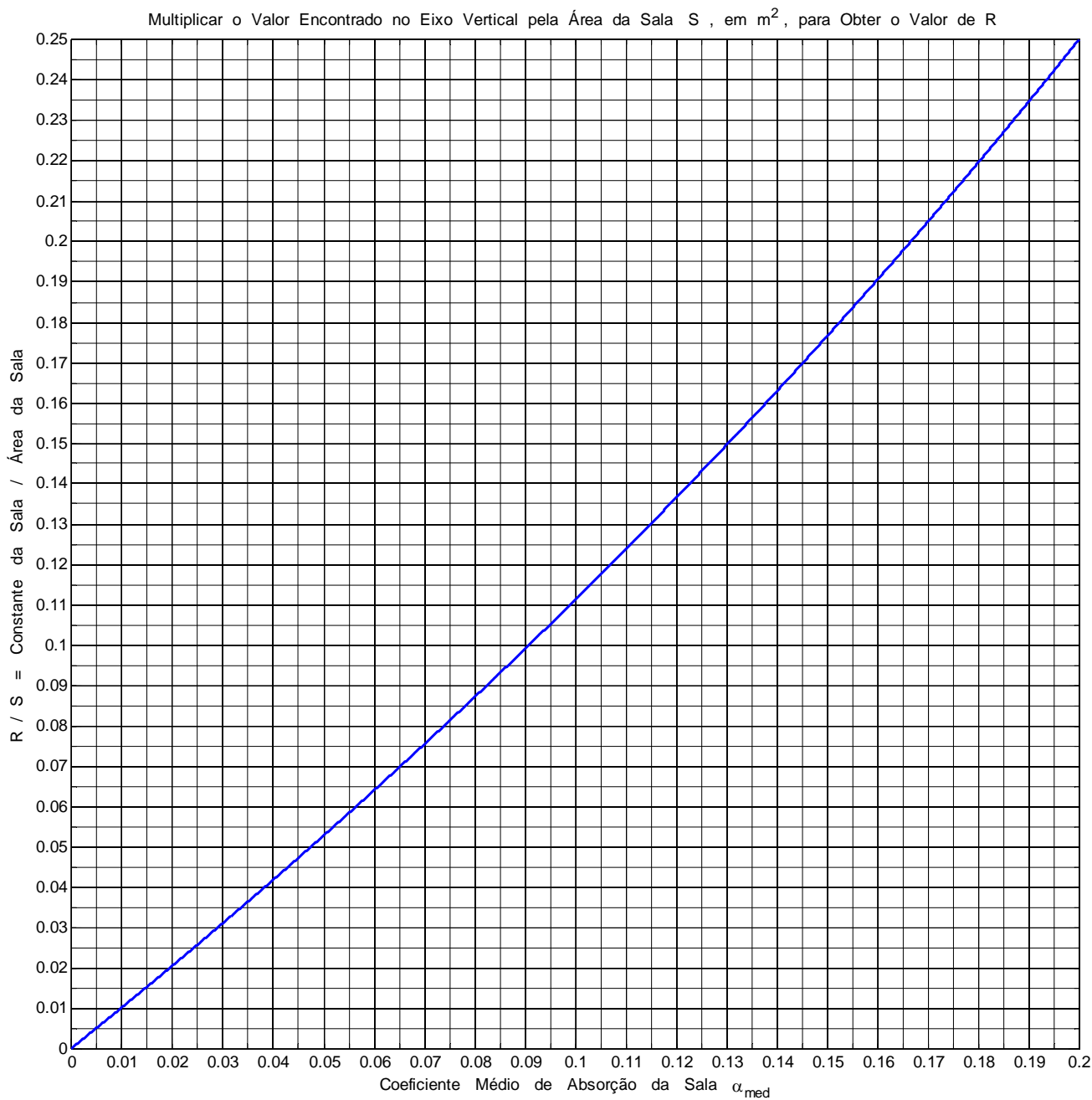
Multiplicar o Valor Encontrado no Eixo Vertical pelo Volume / Área da Sala para Obter o Valor de R_{T60}



- 1 - Obter R_{T60} conhecendo o Volume da Sala, V , sua área interna S e o coeficiente de absorção $\bar{\alpha} = \alpha_{med}$.
 - 1.1 – Entre com o valor de $\bar{\alpha} = \alpha_{med}$, no eixo horizontal, e levante uma reta vertical até encontrar a curva.
 - 1.2 – Pelo ponto de interseção passe uma reta horizontal e obtenha, no eixo vertical, o valor de $\frac{R_{T60}}{(V/S)}$.
 - 1.3 – Calcule o cociente (V/S) entre o volume da sala V e sua área interna S .
 - 1.4 – Multiplique o valor de (V/S) pelo valor obtido no item 1, para conseguir o valor do R_{T60} .

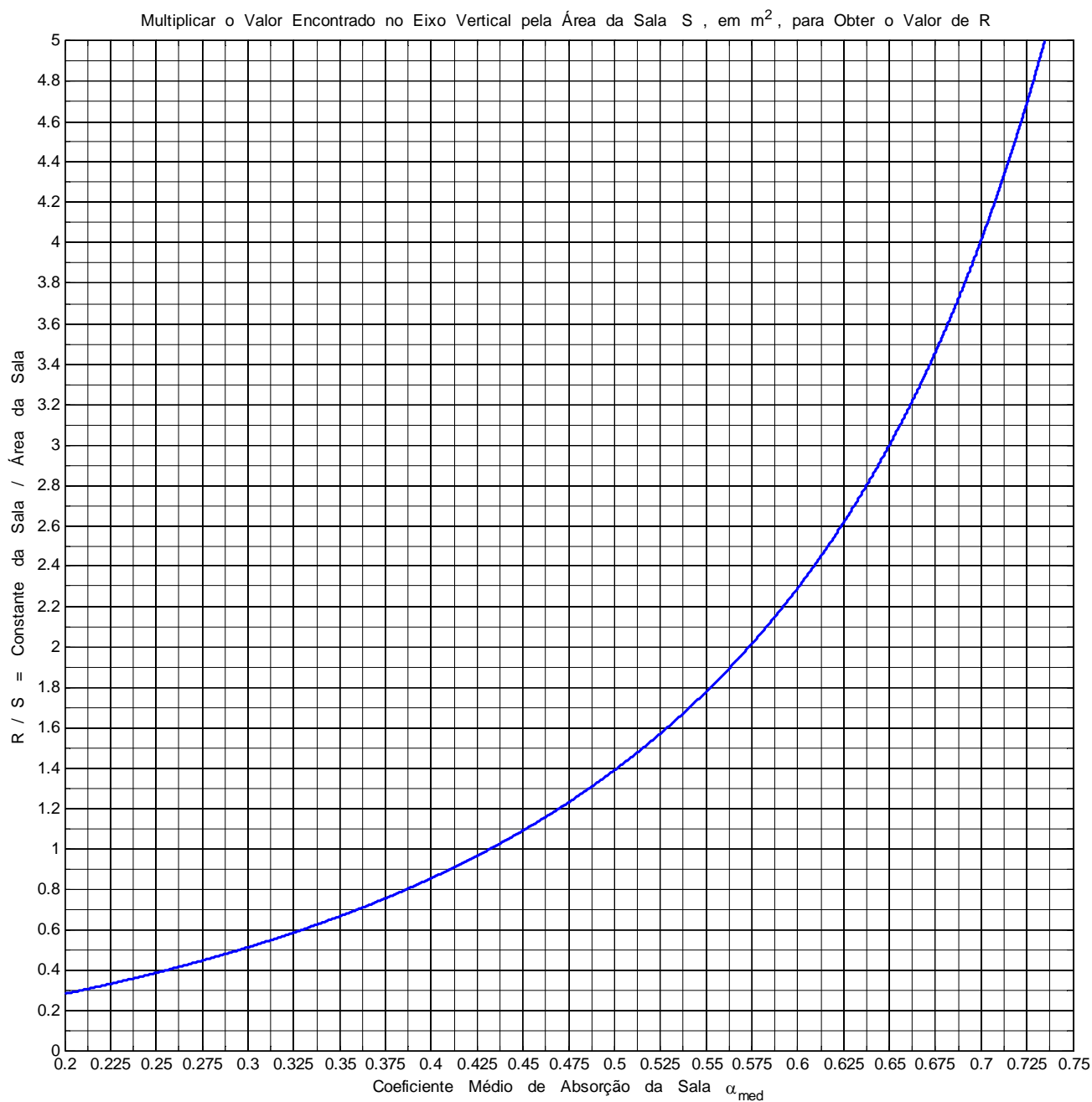
- 2 - Obter o coeficiente de absorção $\bar{\alpha} = \alpha_{med}$, conhecendo o Volume da Sala, V , sua área interna S e R_{T60} .
 - 2.1 – Calcule o cociente (V/S) entre o volume V , da sala, e sua área interna S .
 - 2.2 – Multiplique o valor de (V/S) , obtido no item 2.1, pelo valor do R_{T60} .
 - 2.3 – Entre com o valor obtido em 2.2 no eixo vertical e trace uma reta horizontal até encontrar a curva.
 - 2.4 – Trace uma reta vertical pelo ponto de interseção até encontrar o valor de $\bar{\alpha} = \alpha_{med}$, no eixo horizontal.

Fig. 9 – Relação entre o R_{T60} e o coeficiente $\bar{\alpha} = \alpha_{med}$ através do cociente (V/S) , entre o volume da sala V e sua área S .



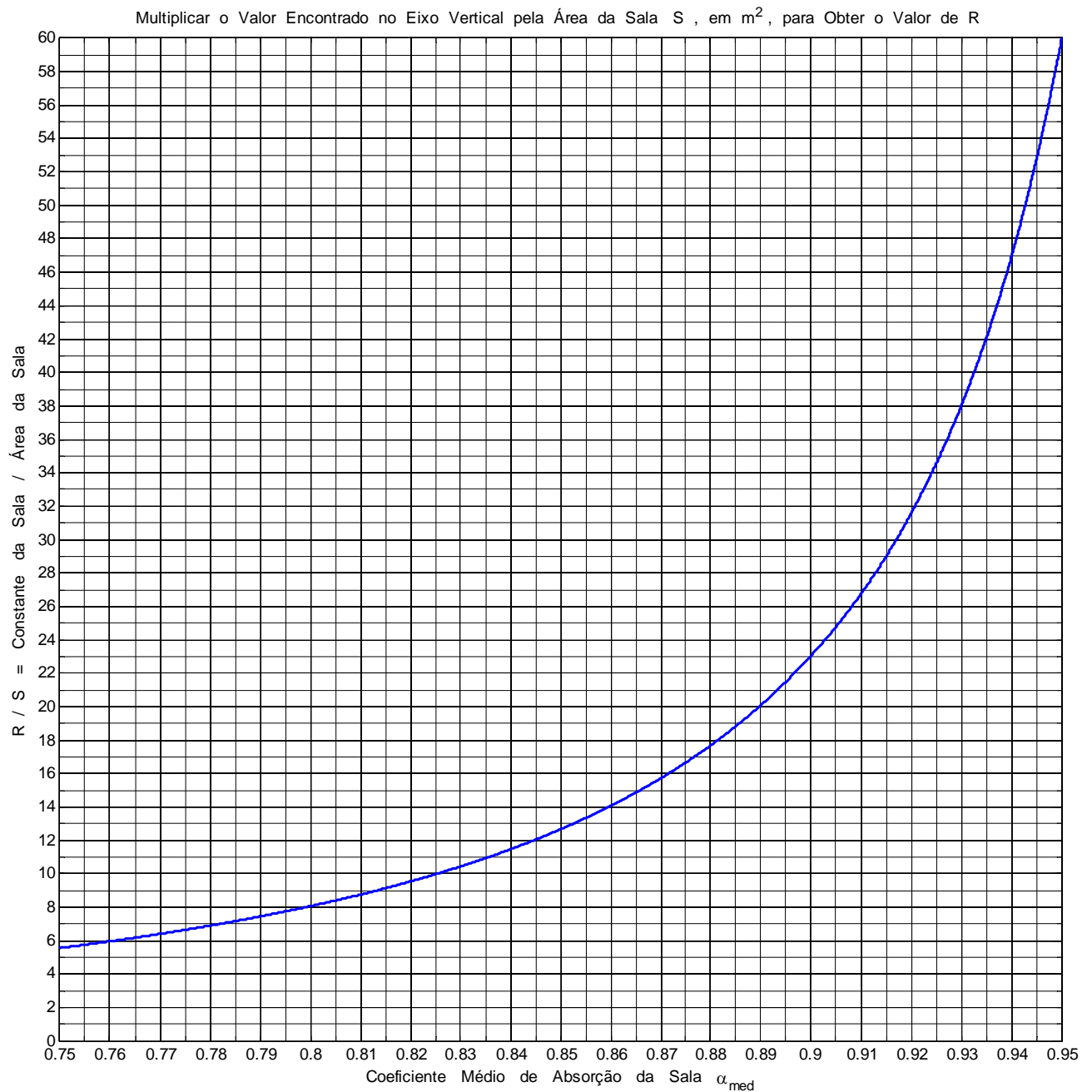
- 1 – Entre com o valor de $\bar{\alpha} = \alpha_{med}$, no eixo horizontal, e levante uma reta vertical até encontrar a curva.
- 2 – Pelo ponto de interseção passe uma reta horizontal e obtenha, no eixo vertical, o valor de R / S .
- 3 – Multiplique o valor de (R / S) pelo valor obtido no item 2, para conseguir o valor de R .

Fig. 10 – Obtenção da Constante da sala, R , em função da área da sala, S e do coeficiente médio de absorção $\bar{\alpha} = \alpha_{med}$.



- 1 – Entre com o valor de $\bar{\alpha} = \alpha_{med}$, no eixo horizontal, e levante uma reta vertical até encontrar a curva.
- 2 – Pelo ponto de interseção passe uma reta horizontal e obtenha, no eixo vertical, o valor de R / S.
- 3 – Multiplique o valor de (R / S) pelo valor obtido no item 2, para conseguir o valor de R.

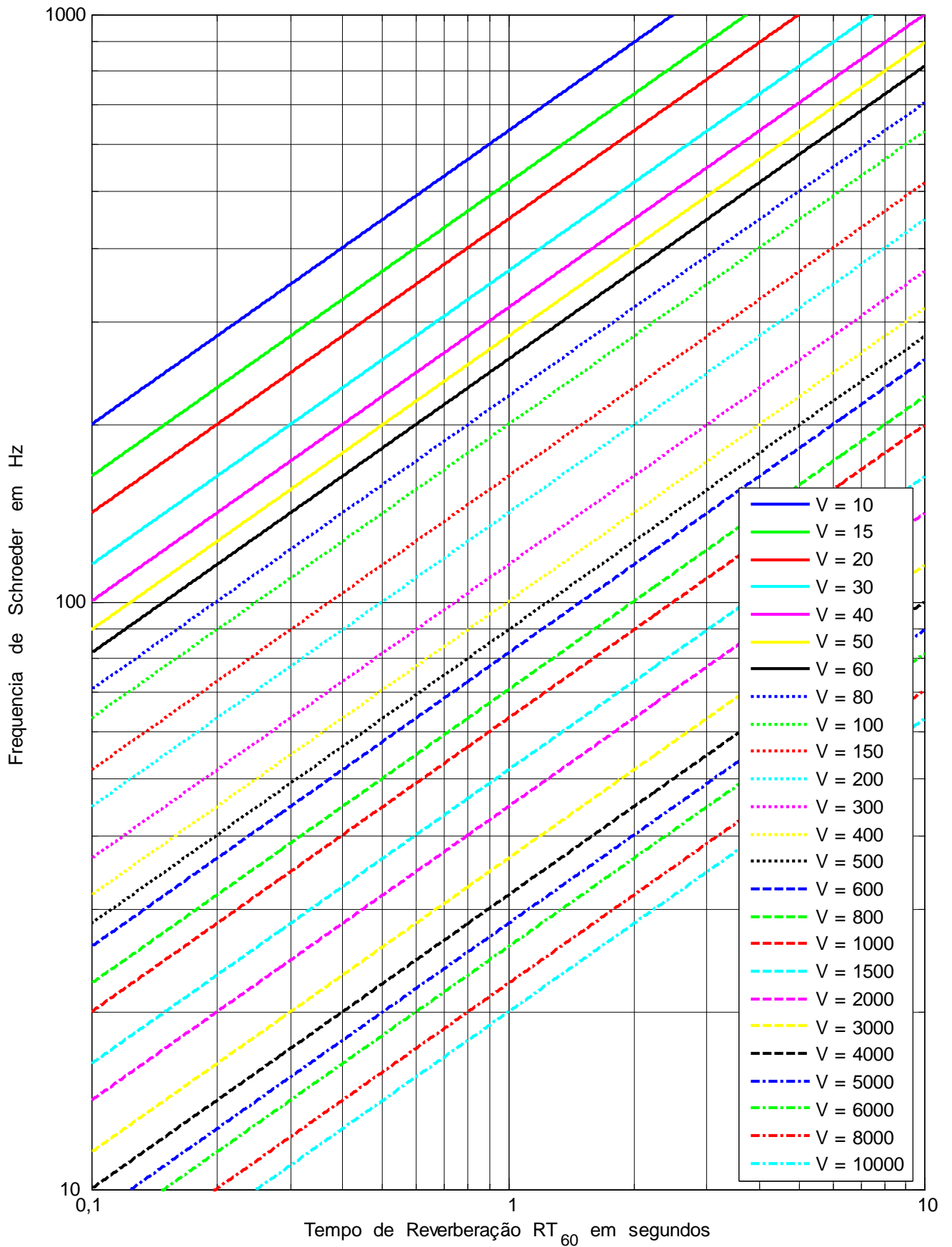
Fig. 11 – Obtenção da Constante da sala, R, em função da área da sala, S e do coeficiente médio de absorção $\bar{\alpha} = \alpha_{med}$.



- 1 – Entre com o valor de $\bar{\alpha} = \alpha_{med}$, no eixo horizontal, e levante uma reta vertical até encontrar a curva.
- 2 – Pelo ponto de interseção passe uma reta horizontal e obtenha, no eixo vertical, o valor de R/S .
- 3 – Multiplique o valor de (R/S) pelo valor obtido no item 2, para conseguir o valor de R .

Fig. 12 – Obtenção da Constante da sala, R , em função da área da sala, S e do coeficiente médio de absorção $\bar{\alpha} = \alpha_{med}$.

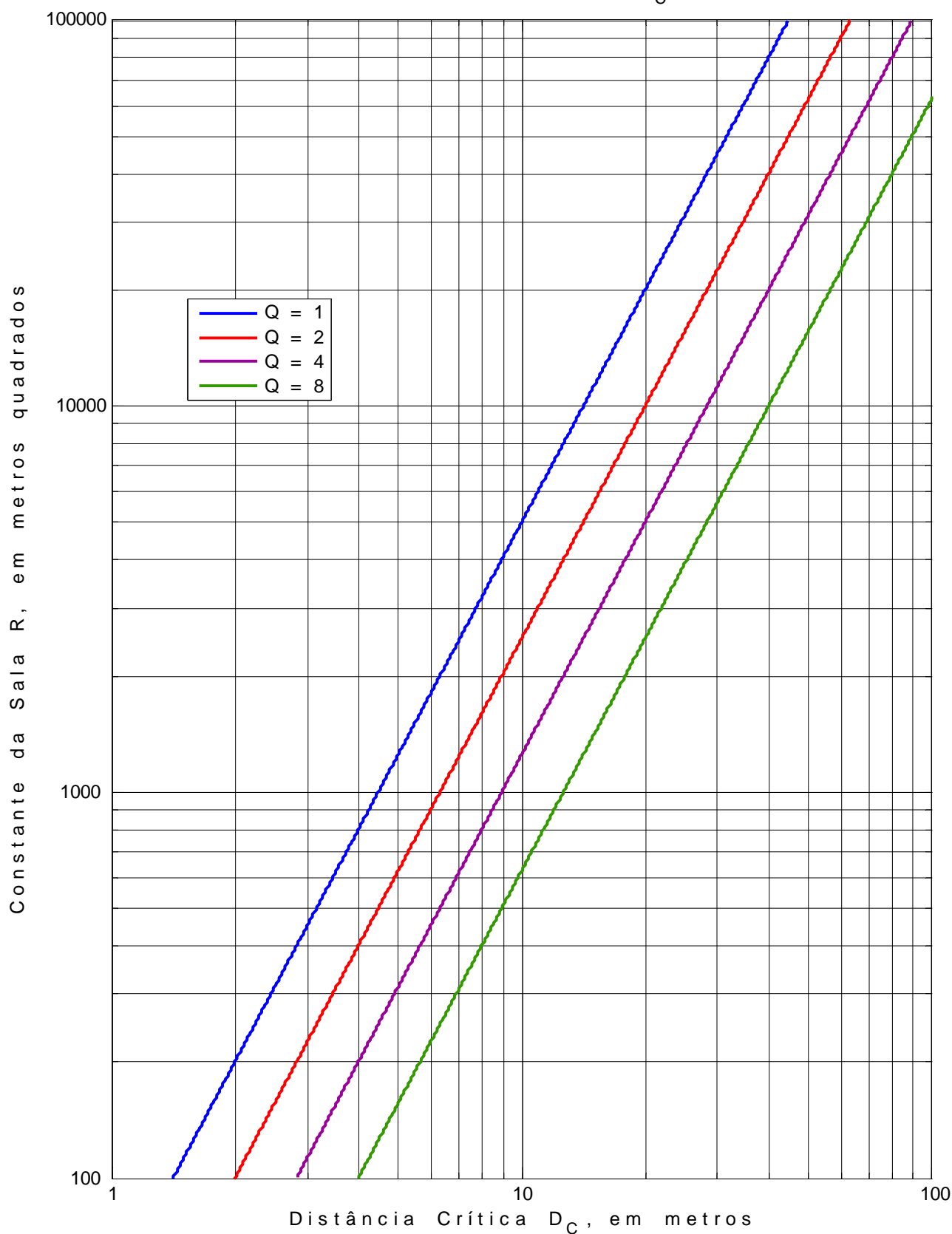
Frequencia de Schroeder em Hz em Função do Tempo de Reverberação RT_{60}



- 1 – Entre com o valor de RT_{60} , no eixo horizontal, e trace uma reta vertical até encontrar a reta inclinada correspondente ao volume da Sala, V , em metros cúbicos.
- 2 – Pelo ponto de interseção passe uma reta horizontal e obtenha, no eixo vertical, o valor de F_{sc} .

Fig. 13 – Obtenção da Frequência de Schroeder, F_{sc} .

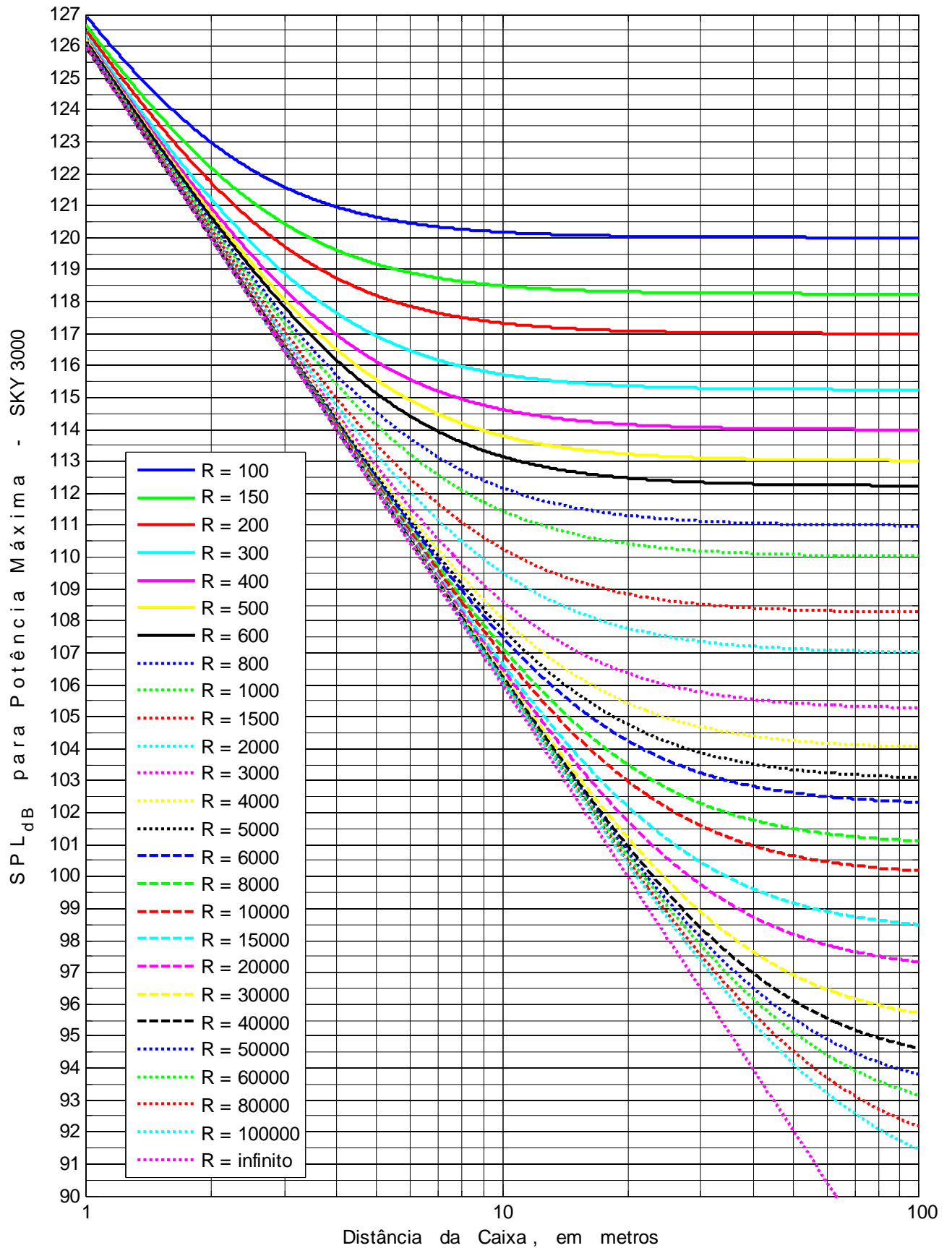
Obtenção da Distância Crítica D_C , em metros



- 1 – Entre com o valor de **R**, no eixo vertical, e trace uma reta horizontal até encontrar a curva do valor **Q**.
- 2 – Pelo ponto de interseção passe uma reta vertical e obtenha, no eixo horizontal, o valor de D_C .

Fig. 14 – Obtenção da Distância Crítica D_C .

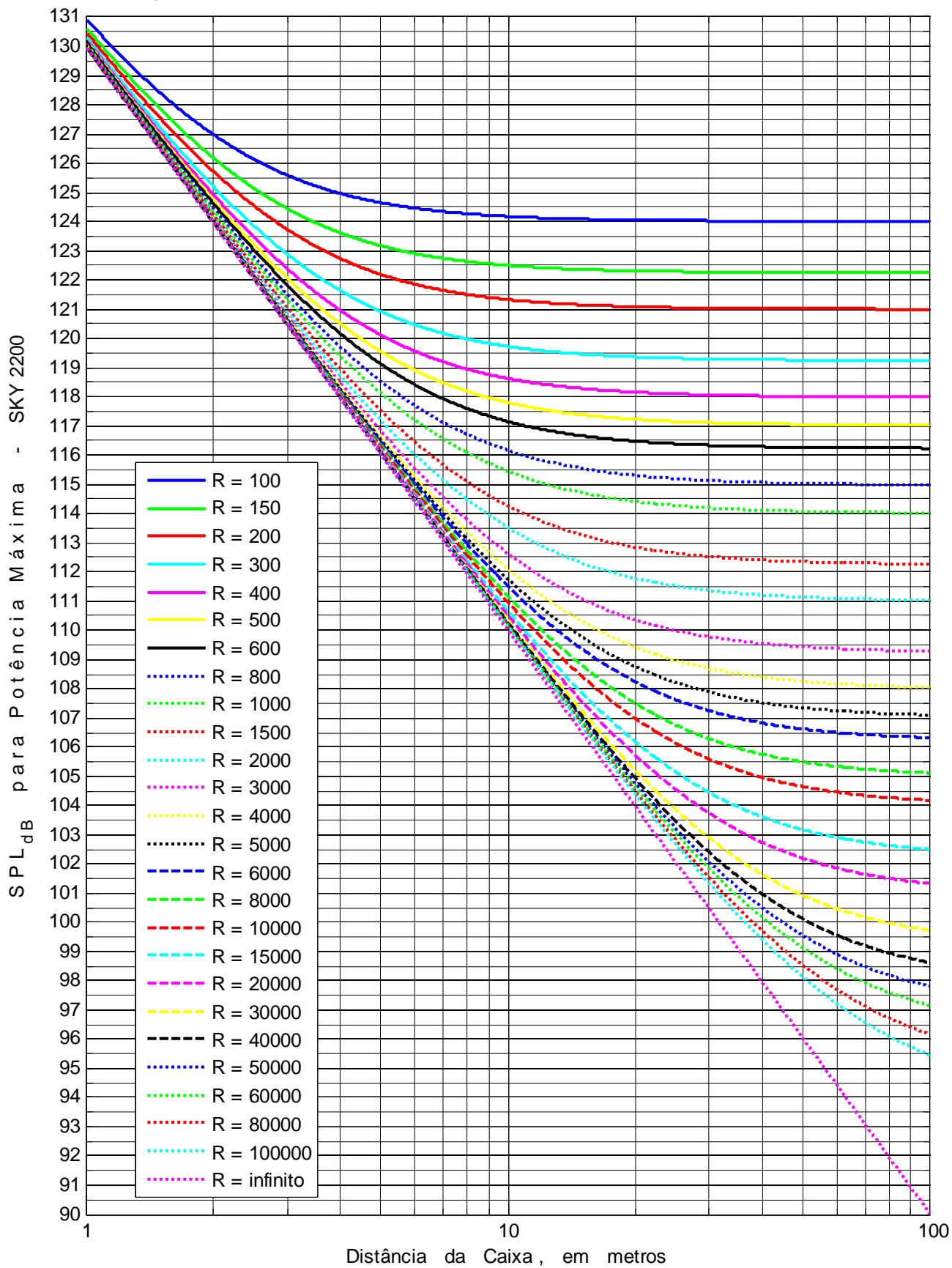
SPL_{dB} em Função da Distância, da Constante da Sala R, em m², e Q = 2



- 1 – Entre com a distância, no eixo horizontal, e trace uma reta vertical até encontrar a curva da área S.
- 2 – Pelo ponto de interseção passe uma reta horizontal e obtenha, no eixo vertical, o SPL máximo em dB.

Fig. 15 – Obtenção do SPL máximo, em função da distância e da área da sala.

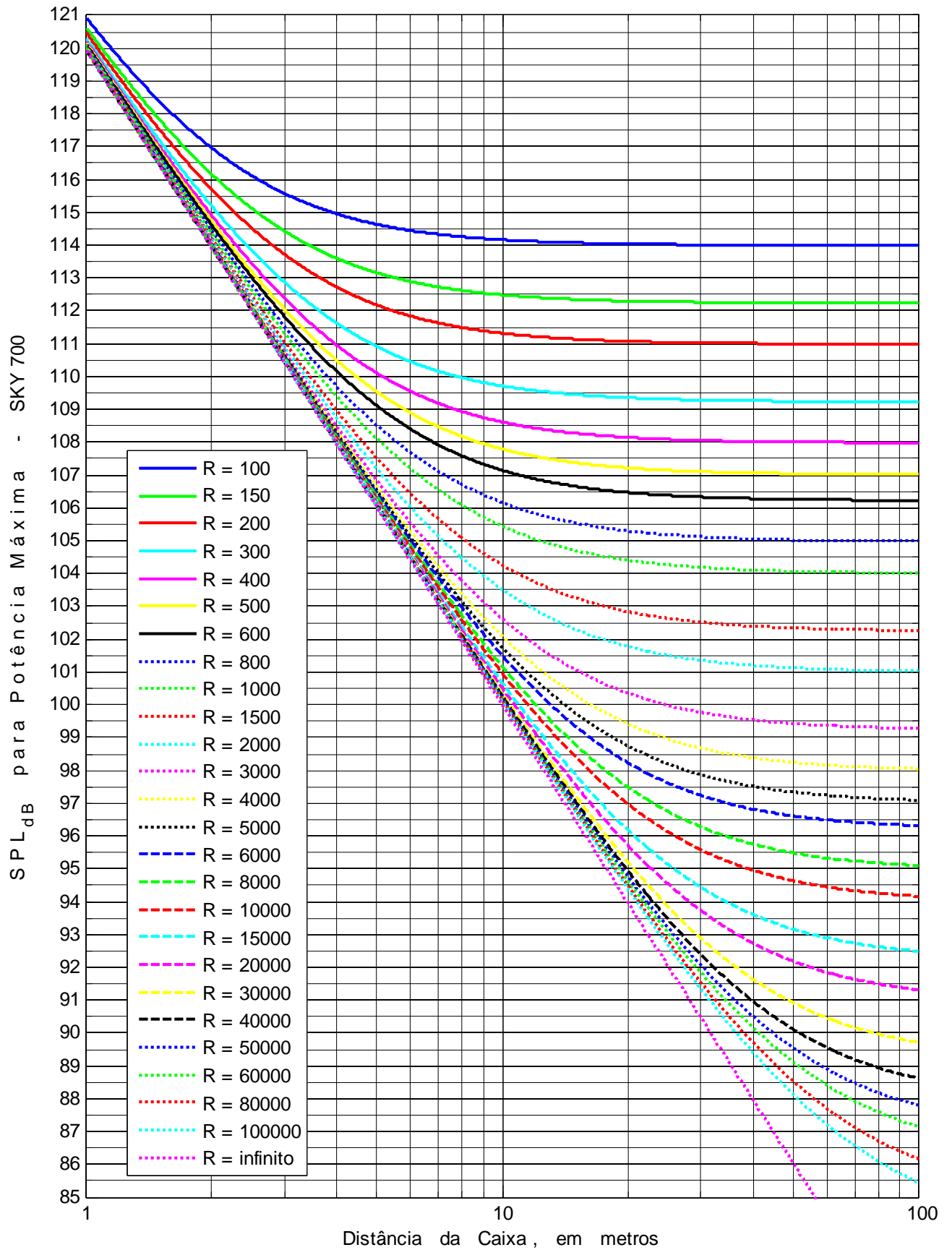
SPL_{dB} em Função da Distância, da Constante da Sala R, em m², e Q = 2



- 1 – Entre com a distância, no eixo horizontal, e trace uma reta vertical até encontrar a curva da área S.
- 2 – Pelo ponto de interseção passe uma reta horizontal e obtenha, no eixo vertical, o SPL máximo em dB.

Fig. 16 – Obtenção do SPL máximo, em função da distância e da área da sala.

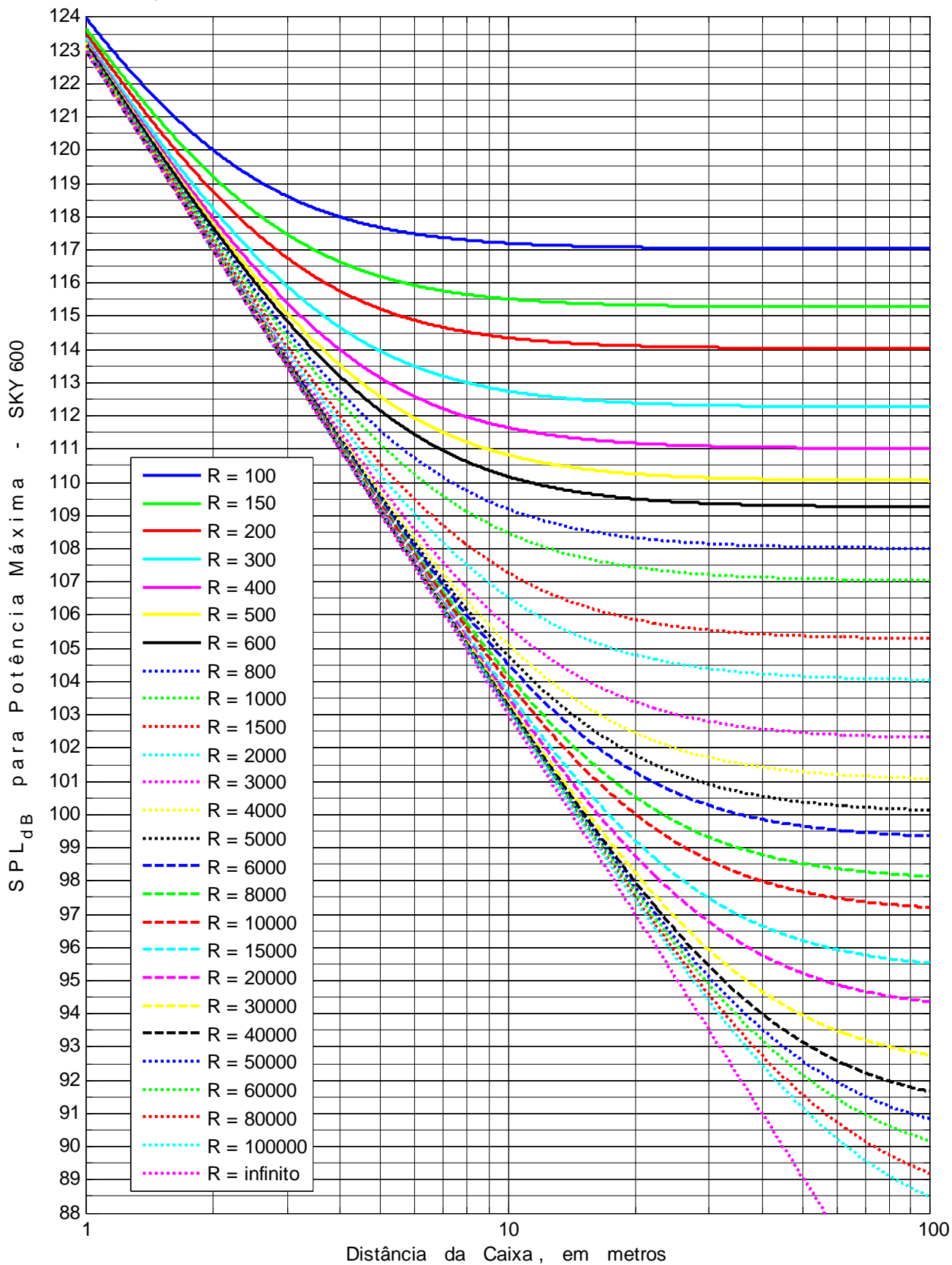
SPL_{dB} em Função da Distância, da Constante da Sala R, em m², e Q = 2



- 1 – Entre com a distância, no eixo horizontal, e trace uma reta vertical até encontrar a curva da área S.
- 2 – Pelo ponto de interseção passe uma reta horizontal e obtenha, no eixo vertical, o SPL máximo em dB.

Fig. 17 – Obtenção do SPL máximo, em função da distância e da área da sala.

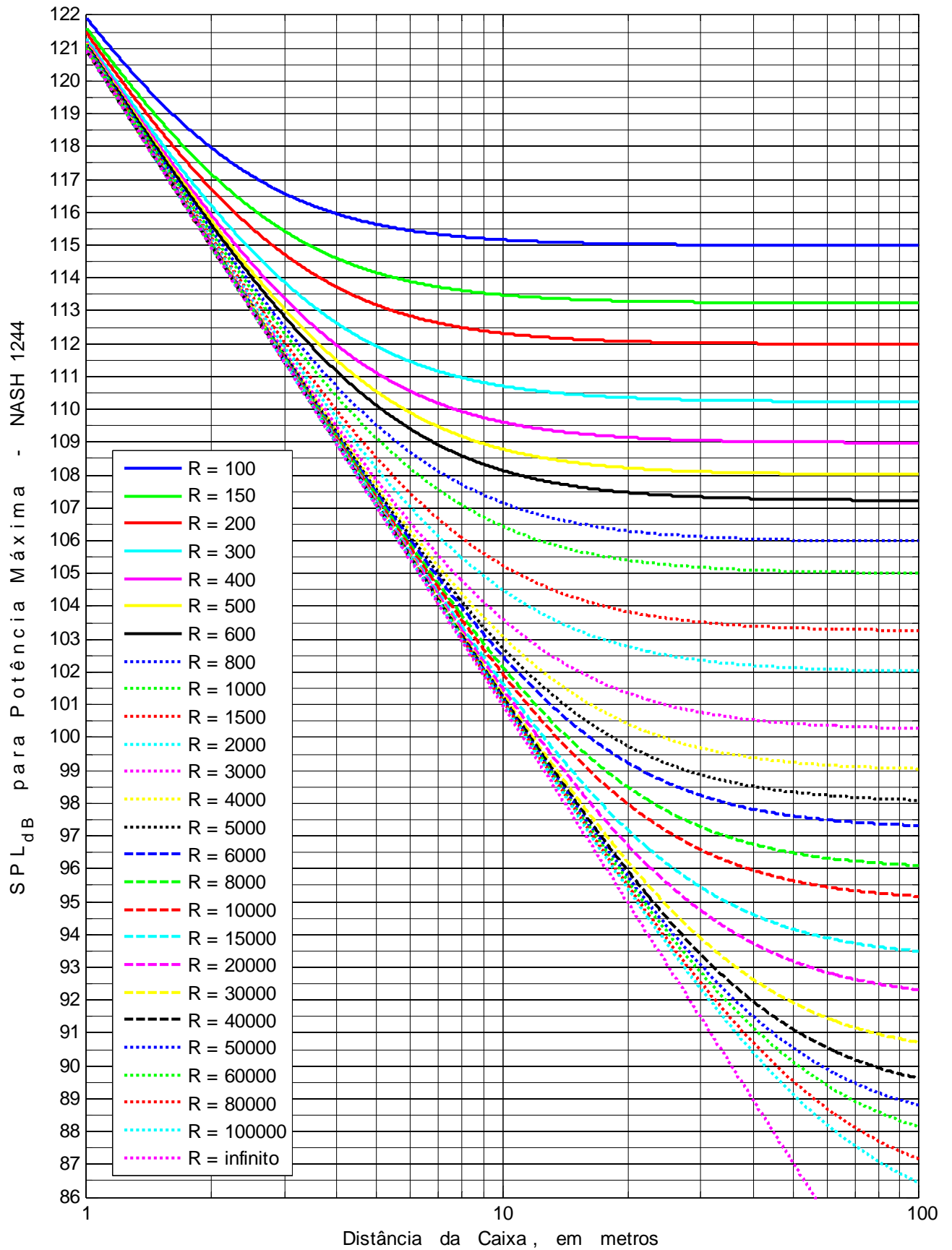
SPL_{dB} em Função da Distância, da Constante da Sala R, em m², e Q = 2



- 1 – Entre com a distância, no eixo horizontal, e trace uma reta vertical até encontrar a curva da área S.
- 2 – Pelo ponto de interseção passe uma reta horizontal e obtenha, no eixo vertical, o SPL máximo em dB.

Fig. 18 – Obtenção do SPL máximo, em função da distância e da área da sala.

SPL_{dB} em Função da Distância, da Constante da Sala R, em m², e Q = 2



- 1 – Entre com a distância, no eixo horizontal, e trace uma reta vertical até encontrar a curva da área S.
- 2 – Pelo ponto de interseção passe uma reta horizontal e obtenha, no eixo vertical, o SPL máximo em dB.

Fig. 19 – Obtenção do SPL máximo, em função da distância e da área da sala.

BIBLIOGRAFIA

- [1] - Sound System Engineering, segunda edição, 1994
Don Davis e Carolyn Davis
Howard W. Sams & Co.
- [2] - Acústica de Salas – Conceitos para Acústica Arquitetônica
Marcelo Portela, LVA / UFSC
Disponível em <http://www.labcon.ufsc.br/anexosg/391.pdf>
- [3] – Sound System Design Reference Manual
John Eargle - JBL Professional, 1999
Disponível em http://www.jblpro.com/pub/manuals/pssdm_1.pdf
- [4] – Calculation of the Reverberation Time
Sonteknik – Rechner , sengpielaudio
Disponível em <http://www.sengpielaudio.com/calculator-RT60.htm>
- [5] – Sound in Rooms
J. S. Bradley
Disponível em <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/ibp/irc/bsi/85-sound-rooms.html>
- [6] – Propagation of Sound Indoors
The Engineering Tool Box
Disponível em http://www.engineeringtoolbox.com/sound-propagation-indoor-d_72.html
- [7] – Sound Absorption
Lenard Áudio Institute
Disponível em http://lenardaudio.com/education/04_acoustics_3.html
- [8] – Room Acoustics
Disponível em <http://ceenve3.civeng.calpoly.edu/cota/ENVE309/Room%20Acoustics.htm>
- [9] – Room Acoustics Analysis
Cedarville University
Disponível em <http://people.cedarville.edu/employee/gollmers/phymath/roomanalysis/roomanalysis.htm>
- [10] – Air Absorption
Georgia State University – Hyper Physics
Disponível em <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/HBASE/Acoustic/revmod.html#c4>
- [11] – Atenuação do Som no Ar por Absorção
Homero Sette Silva, apresentado na X Convenção da AES Brasil, de 8 a 10 de maio de 2006
Disponível em www.studior.com.br e www.homerosette.com.br
- [12] – Acústica de Salas
Marcelo Portela
Disponível em <http://www.labcon.ufsc.br/anexosg/391.pdf>
- [13] - Acoustics and Psychoacoustics Applied - Part 4: Fundamentals of sound reinforcement
EE Times
Disponível em <http://www.eetimes.com/design/audio-design/4199403/Acoustics-and-Psychoacoustics-Applied--Part-4-Fundamentals-of-sound-reinforcement>