

Você sabe o que é mapa sonoro?
Já ouviu falar em planejamento sonoro urbano?
Inscreva-se no seminário para saber mais!

Evento gratuito.
Inscrições pelo site: rebrand.ly/mapasonoro



I SEMINÁRIO FAU USP SOBRE MAPEAMENTO SONORO

24 de setembro de 2019 (terça-feira) das 09h às 18h
Local: Auditório da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo
Rua do Lago, 876, Cidade Universitária, Butantã, São Paulo - SP

1

Universidade de São Paulo
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Departamento de Tecnologia da Arquitetura



AUT0286 - Conforto Ambiental 3: Termoacústica



Acústica de ambientes fechados

2

- Quais os requisitos acústicos dos ambientes fechados necessários para um bom desempenho acústico?

3

- Quais os principais problemas acústicos de ambientes fechados?

4

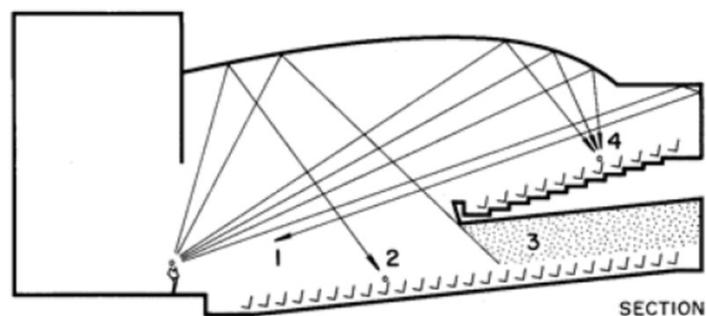
- Requisitos acústicos dos ambientes fechados necessários para um bom desempenho acústico

- uma boa inteligibilidade do som;
- distribuição uniforme do som;
- tempo de reverberação adequado;
- ausência de interferência de ruídos externos sobre o som de interesse.

5

- **Problemas acústicos de ambientes fechados:**

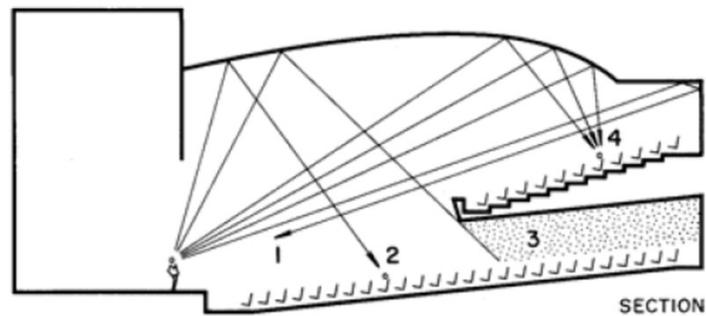
- () - Ecos
- () - Reflexões tardias
- () - Zonas não atingidas pelo som
- () - Zonas de concentração de som



6

• **Problemas acústicos de ambientes fechados:**

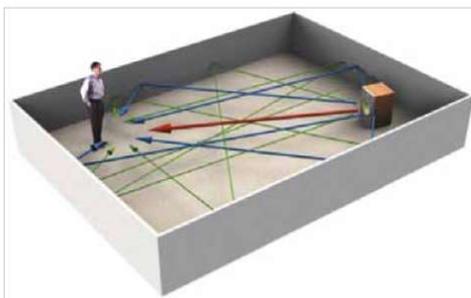
- 1 - Ecos
- 2 - Reflexões tardias
- 3 - Zonas não atingidas pelo som
- 4 - Zonas de concentração de som



7

Campo sonoro em espaços fechados

- Depende essencialmente de:
 - Características de absorção sonora dos materiais de revestimento
 - Volume do recinto
 - Geometria do recinto
 - Frequência do som



8

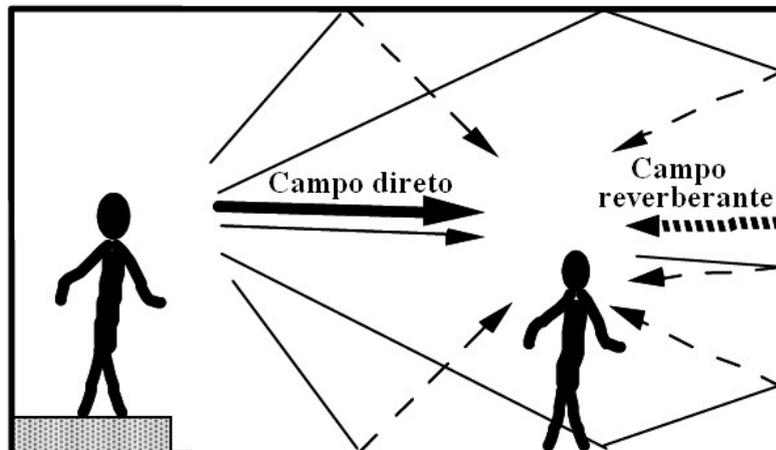
- Auditórios ou Salas podem ter diferentes funções:
 - Conferências, aulas ou peças teatrais → privilegiam a palavra:
propagação e decaimento sonoro.
 - Concertos, orquestras, óperas → privilegiam a música:
crescimento sonoro e sequência de reflexões sonoras.



9

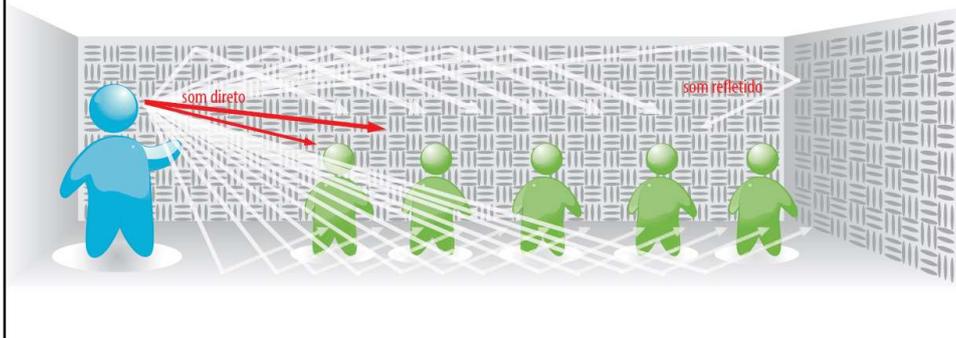
Som direto e som reverberante

- Em um ambiente fechado, o receptor ou ouvinte receberá o som através de duas formas:



10

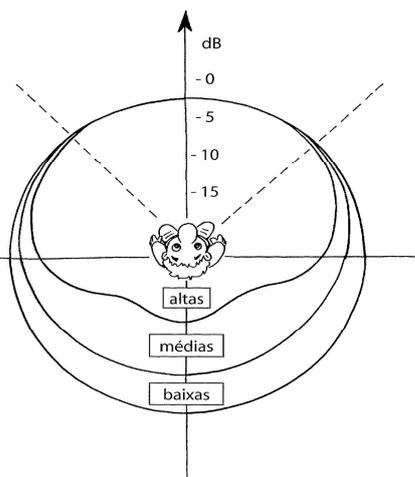
- Som direto:
 - Chega primeiro.
- Som indireto:
 - Atrasa em relação à onda direta.
 - Percurso mais longo e parte da potência é absorvida na reflexão.
 - Mais fraco do que a onda direta.



11

Direcionalidade da fonte sonora

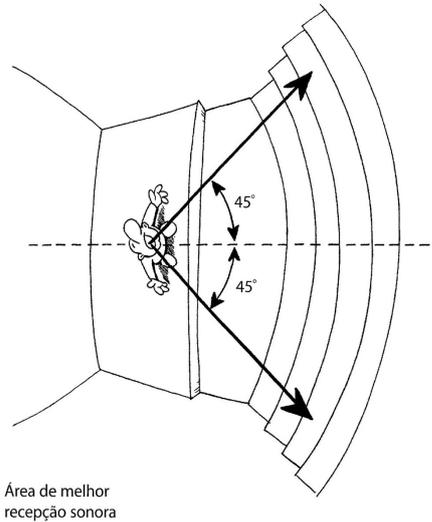
- A maioria das fontes sonoras apresenta direcionalidade: tendência de fontes sonoras irradiarem mais energia em determinada direção do que outras.
- Pode haver, dependendo da fonte, uma maior concentração de energia em determinado sentido – direcionamento.



13

Voz humana

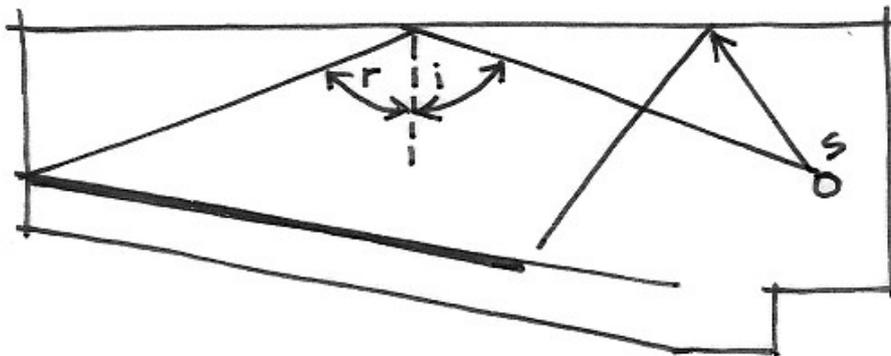
- Área de melhor recepção sonora:
Considera-se que, para a voz humana, o padrão sonoro não é alterado se mantido um ângulo de 90° em relação ao eixo longitudinal, 45° para cada lado da fonte.



14

Geometria da sala

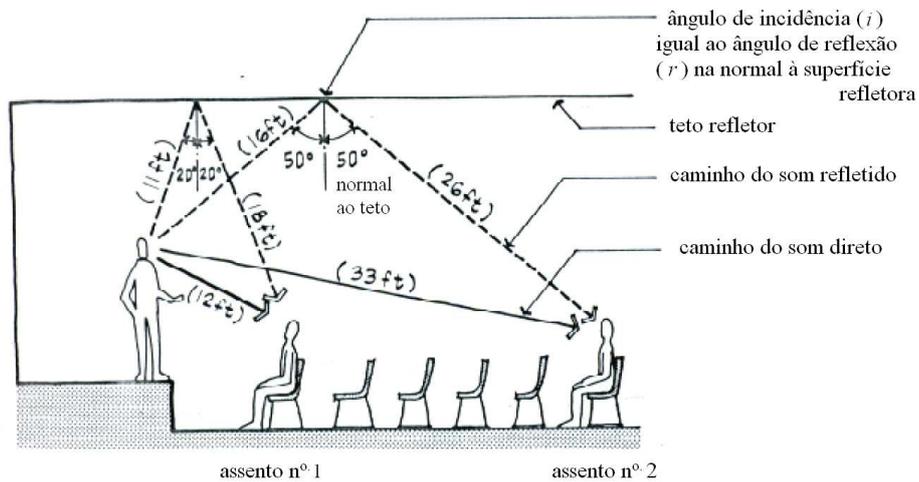
- Princípio físico da reflexão sonora:



15

Geometria da sala

- Princípio físico da reflexão sonora:

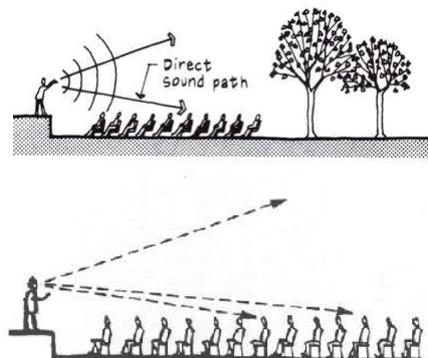


16

Geometria da sala

- Disposição da platéia:

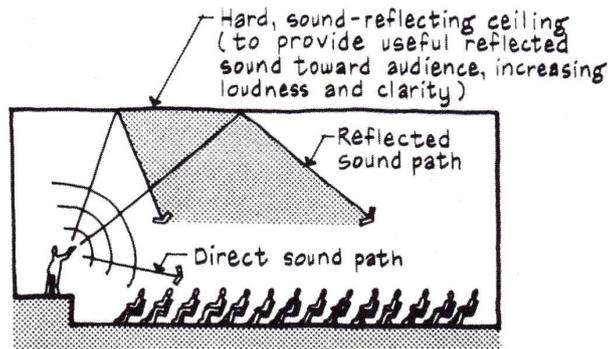
- Assentos no mesmo nível ao ar livre



17

Geometria da sala

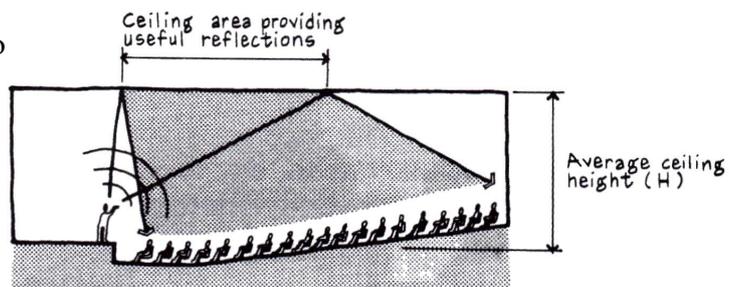
- Disposição da platéia:
- Assentos no mesmo nível em ambiente fechado



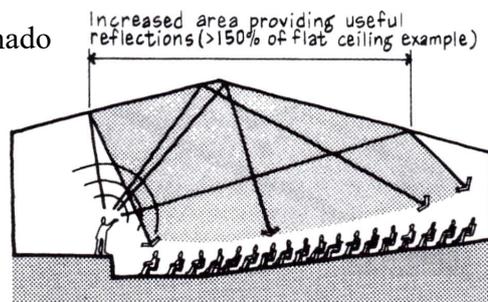
18

Geometria da sala

- Teto plano



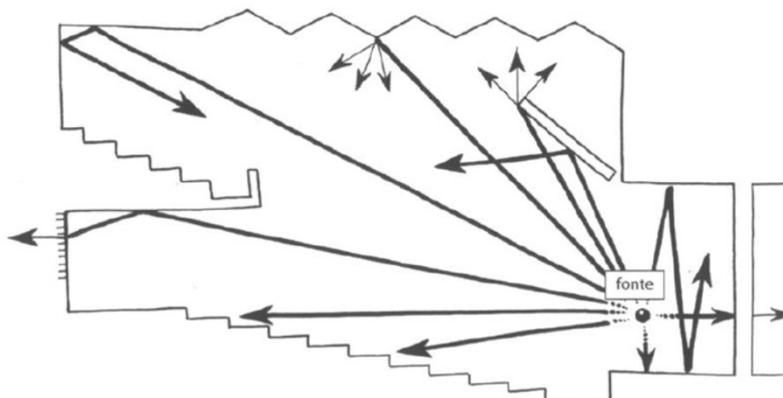
- Teto inclinado



19

Geometria da sala

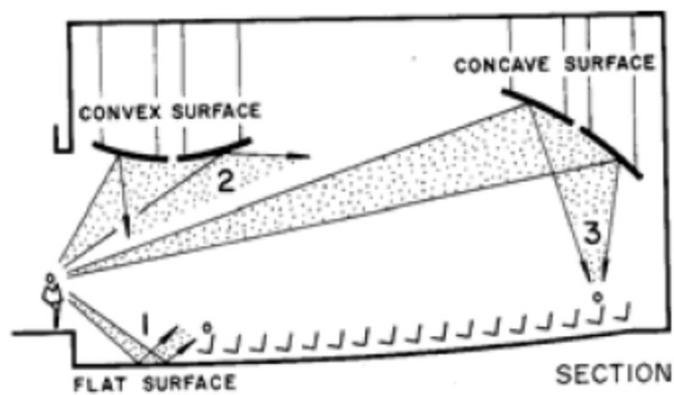
- Refletores acústicos:



20

Geometria da sala

- As superfícies refletoras convexas tendem a dispersar o som e as superfícies côncavas tendem a concentrá-lo.



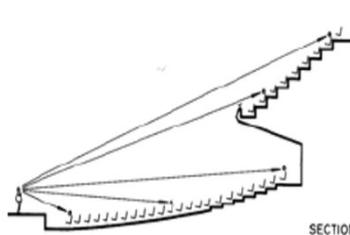
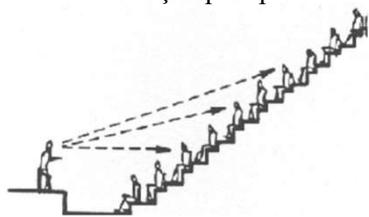
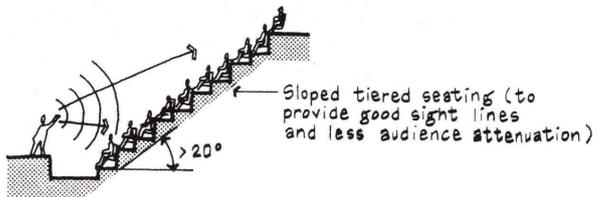
21

Geometria da sala

- Disposição da platéia:

- Assentos inclinados:

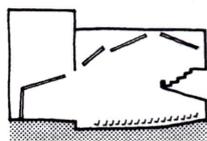
- melhor visibilidade
- menor atenuação pela plateia.



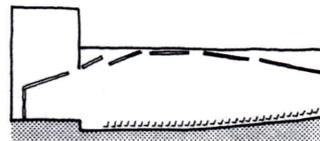
22

Geometria da sala

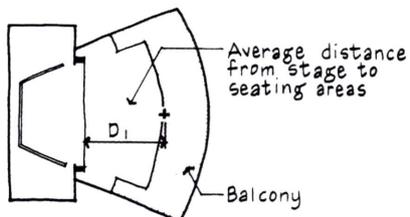
- Disposição da platéia:



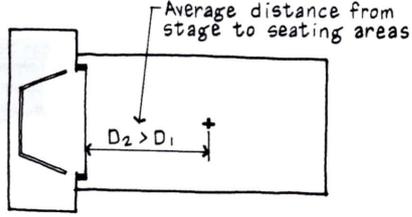
Section



Section



Plan

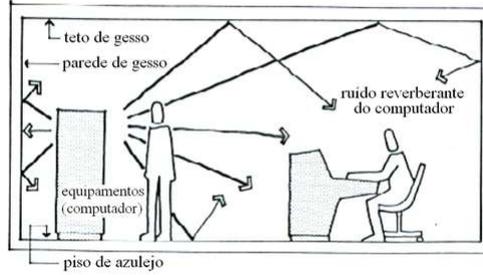


Plan

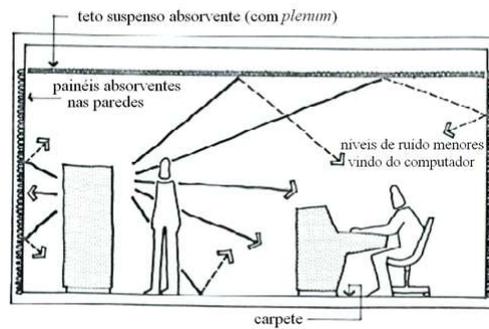
23

Tratamento acústico

Sala sem tratamento



Sala com tratamento de absorção sonora



24

The Acoustics of open plan offices

MACH Acoustics



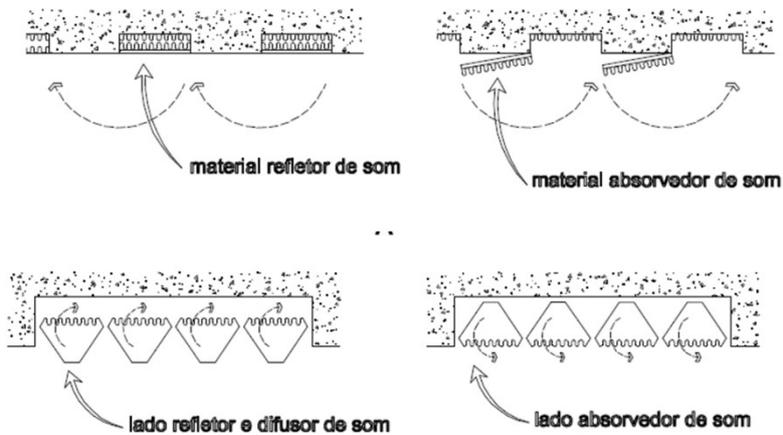
25

Uma boa opção de lugar para instalar revestimentos absorventes na parede é atrás de prateleiras: painel de madeira perfurado.

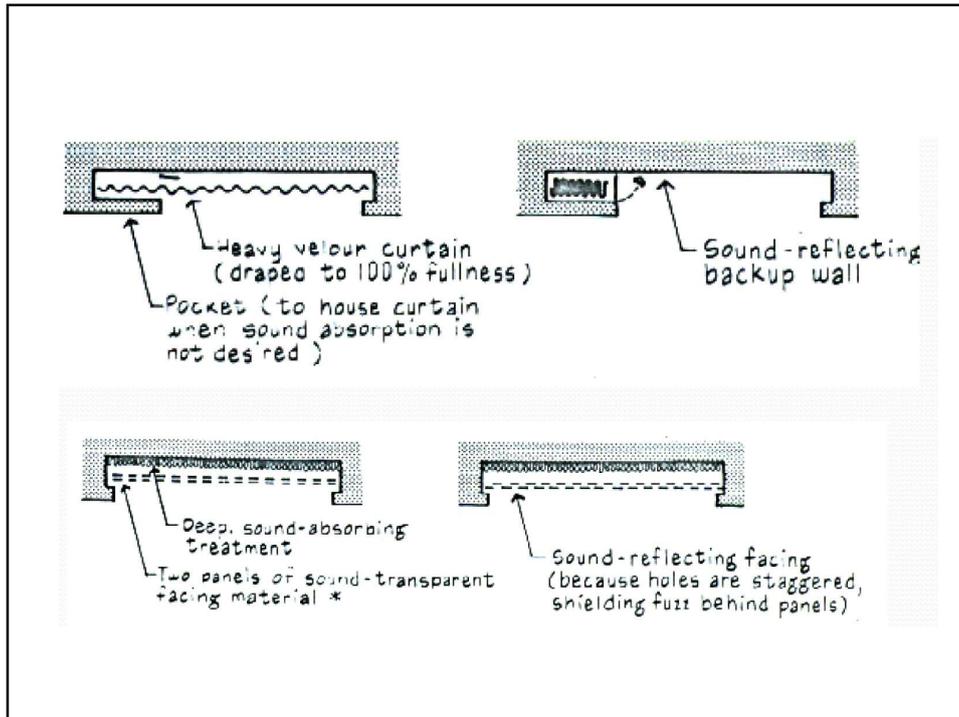


28

- Geometria da sala:
- Soluções de acústica móveis:



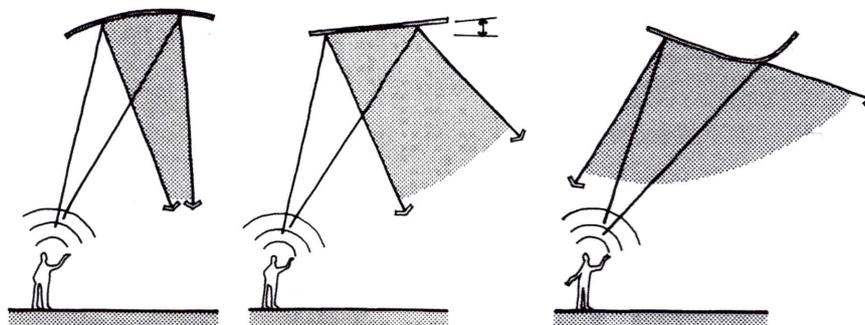
29



30

• **Problemas acústicos de ambientes fechados:**

- Qual das três alternativas abaixo para a geometria do teto fornece o melhor desempenho acústico em um ambiente destinado a fala?



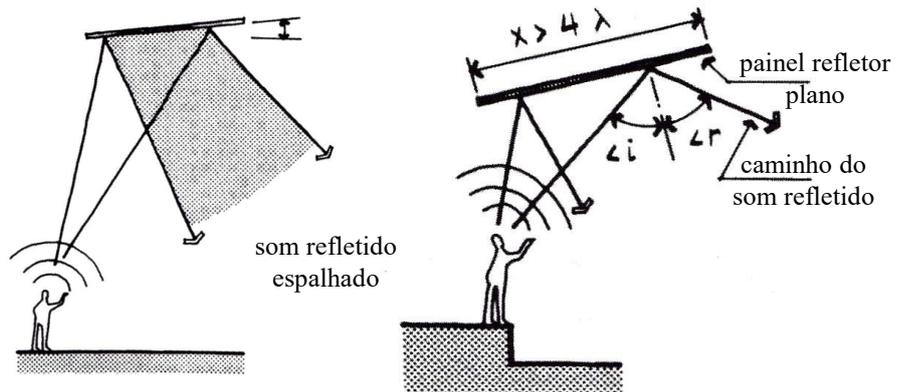
32

- Geometria da sala:



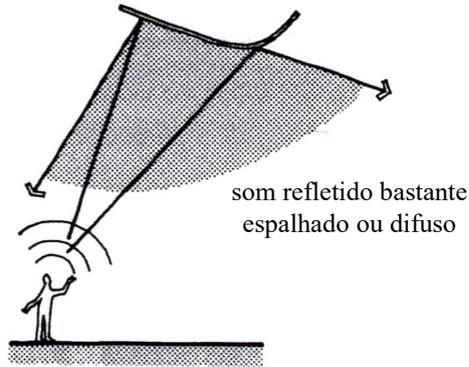
33

- Geometria da sala:



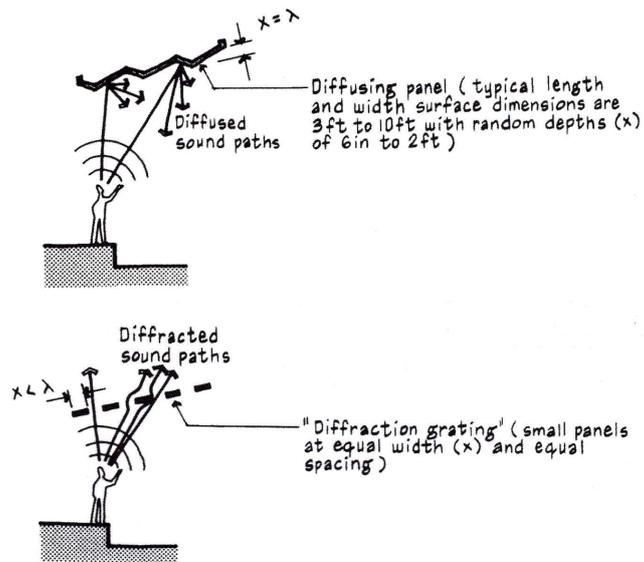
34

- Geometria da sala:



35

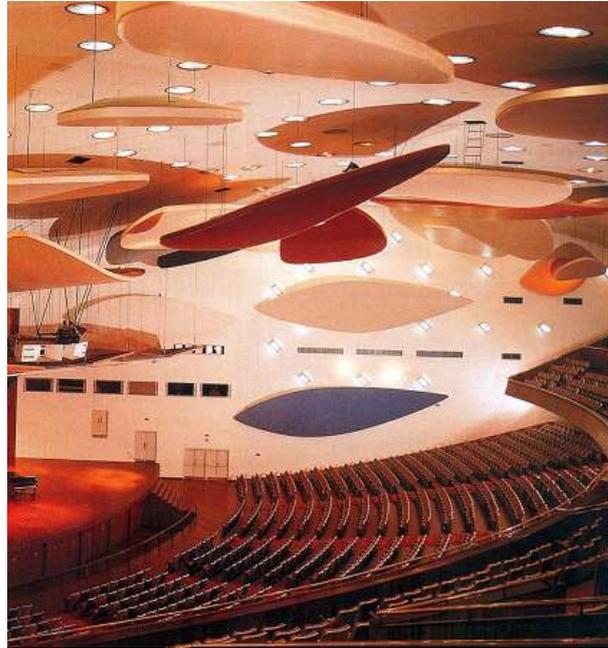
- Geometria da sala:



36

- Geometria da sala:

- Difusão sonora



37

- Geometria da sala:

- Uma superfície suspensa pode ser um refletor nas altas frequências, um difusor nas médias e acusticamente invisível nas baixas frequências.



Refletor:
 $L > 2\lambda$

Difusor:
 $L = \lambda$

“Invisível”:
 $L < \lambda/2$

38

- Geometria da sala:

Difusor:

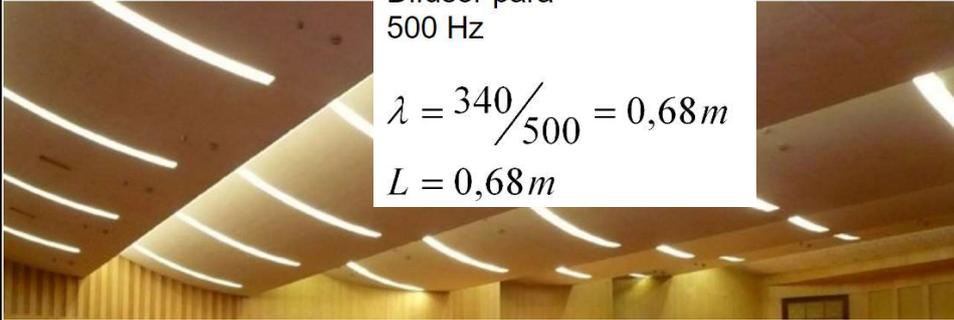
$$L = \lambda$$

Ex:

Difusor para
500 Hz

$$\lambda = 340 / 500 = 0,68 m$$

$$L = 0,68 m$$

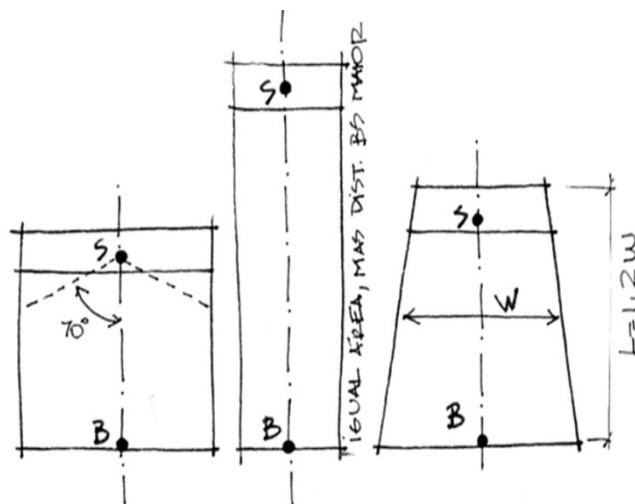


- Dica: para garantir boa inteligibilidade, dimensionar refletores para $f > 500$ Hz.

39

- Geometria da sala:

- Evitar paralelismo – favorece a formação de ecos e de ondas estacionárias.



42

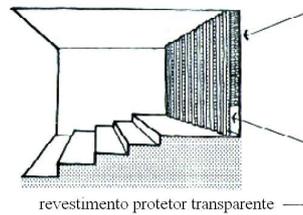
- **Ecos:**

- Como prevenir ecos e reflexões tardias?

Parede do fundo gerando eco
(eco no ângulo reentrante teto-parede)

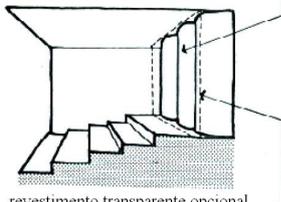


Tratamento com material altamente absorvente (como lã de vidro)



Modulações na superfície
(cilindros com diferentes raios para ótima difusão)

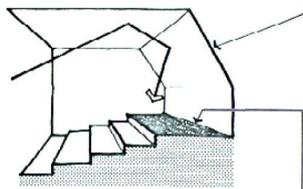
grandes irregularidades ou modulações no diâmetro do cilindro $> 1/2 \lambda$ (para gerar difusão)



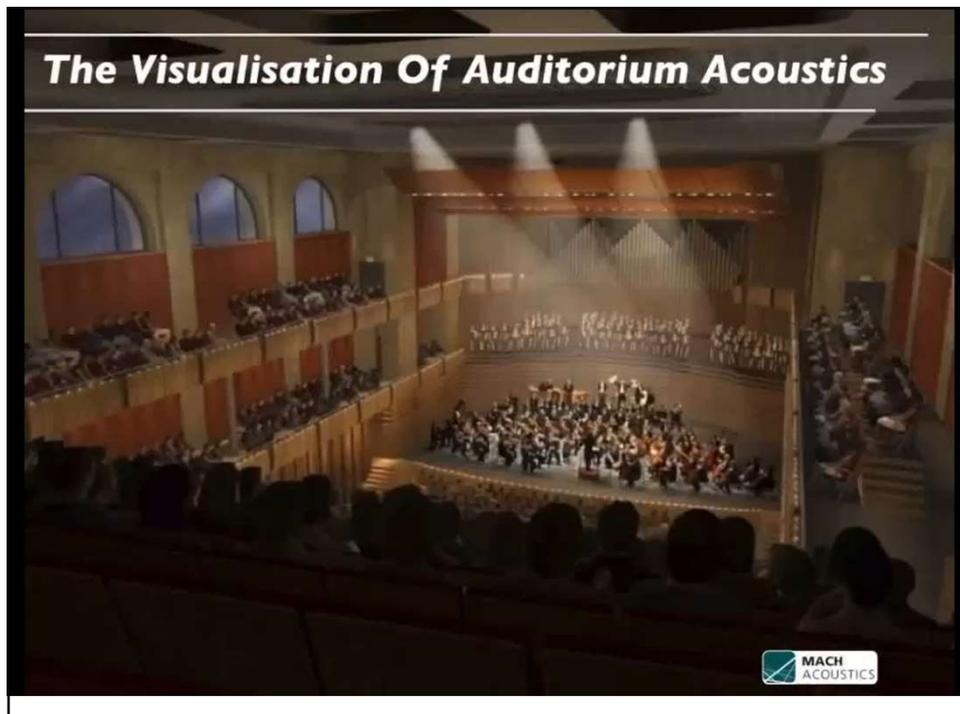
revestimento transparente opcional (para fornecer uma barreira visual)

Parede inclinada
(para produzir reflexões curtas)

Superfície inclinada (para direcionar o som para baixo)



44



45

Auditório

- *Onde está o erro?*



48

Auditório

- *Onde está o erro?*

Som se concentra nas bordas da sala



49

Dicas de projeto

- *Auditórios:*
- Evite:
 - paralelismo
 - salas quadradas
- Considere:
 - tratamento acústico interno
 - tempo de reverberação adequado
 - isolamento acústico do ambiente
- Tire proveito:
 - de elementos que favoreçam a acústica (painéis absorventes ou superfícies refletoras)
 - a mobília pode servir como um bom absorvente



50

Dicas de projeto

- *Home theaters, salas de TV e estúdios de ensaio e gravação:*

- Evite:
 - pé direito muito alto ou pé direito muito baixo
 - superfícies refletoras
- Considere:
 - isolamento acústico do ambiente (portas e janelas acústicas)
- Tire proveito:
 - de elementos que favoreçam a acústica
 - a mobília pode servir como um bom absorvente



<http://www.giner.com.br/>

51

Dicas de projeto

- *Quarto de hotel:*

- Considere:

- tratamento acústico interno
- isolamento acústico do ambiente a ruídos externos (portas e janelas acústicas)



52

Dicas de projeto

- *Igrejas:*

- Considere:

- tratamento acústico interno
- isolamento acústico do ambiente a ruídos externos (porta e janela acústica)



53

Dicas de projeto

- Igrejas:



54

Filarmônica de Berlim

Berlim
Arquiteto: Hans Scharoun
Consultor acústico: Lothar Cremer
1962



55

Filarmônica de Berlim

Berlim

Arquiteto: Hans Scharoun

Consultor acústico: Lothar Cremer

1962



fonte: www.berliner-philharmoniker.de/

56

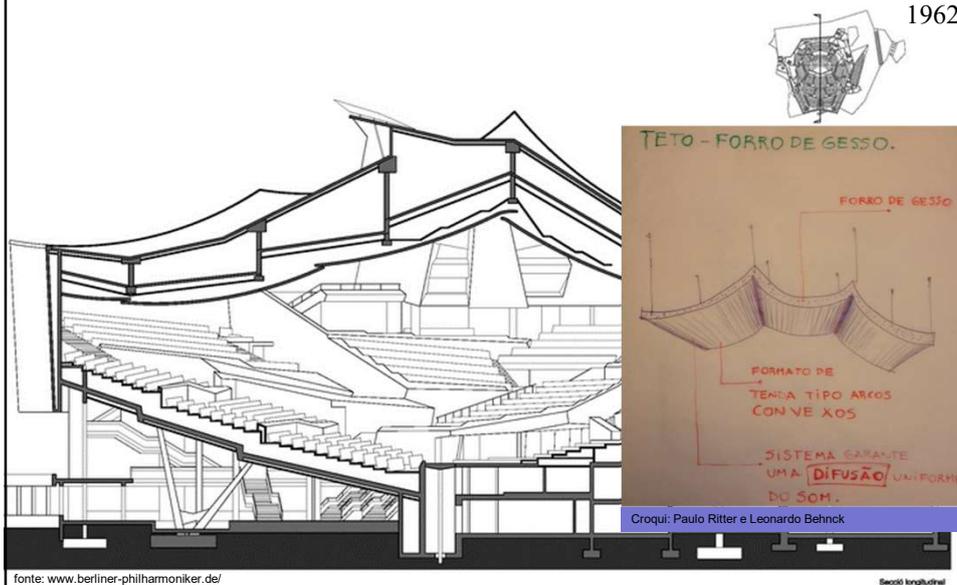
Filarmônica de Berlim

Berlim

Arquiteto: Hans Scharoun

Consultor acústico: Lothar Cremer

1962



fonte: www.berliner-philharmoniker.de/

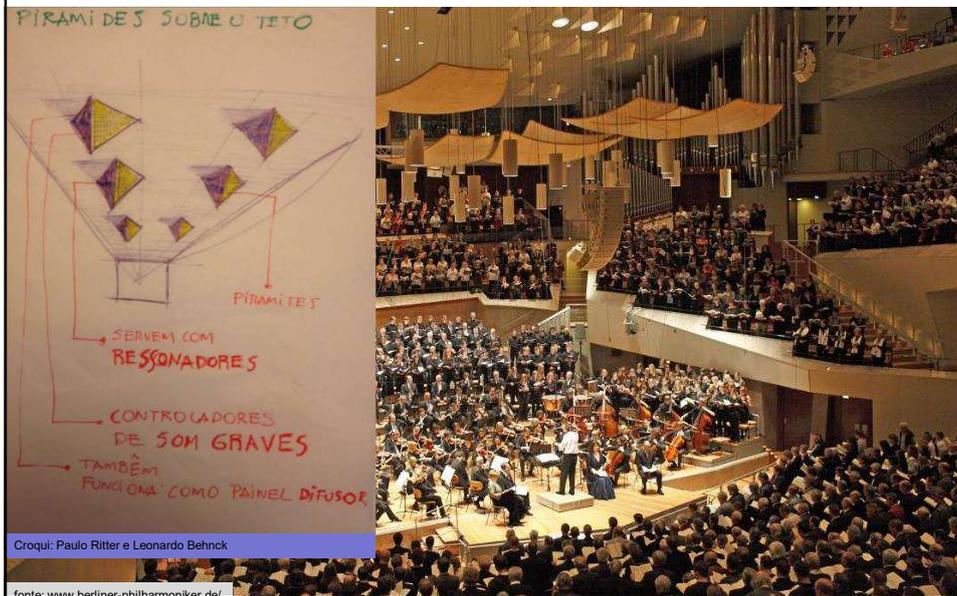
57

Filarmônica de Berlim

Berlim

Arquiteto: Hans Scharoun

Consultor acústico: Lothar Cremer



58

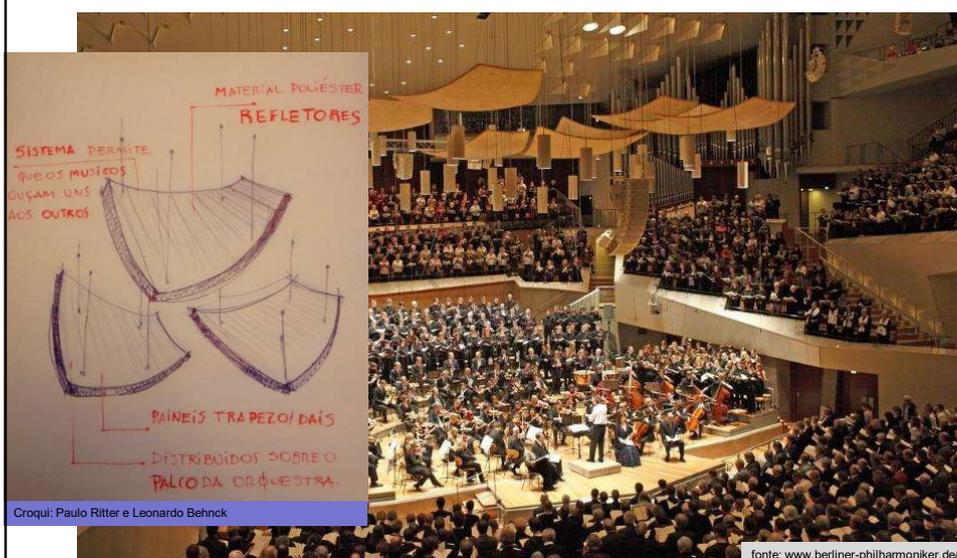
Filarmônica de Berlim

Berlim

Arquiteto: Hans Scharoun

Consultor acústico: Lothar Cremer

1962



59

Opéra Bastille

Paris
Arquiteto: Carlos Ott
1989



foto: Monica Dolce

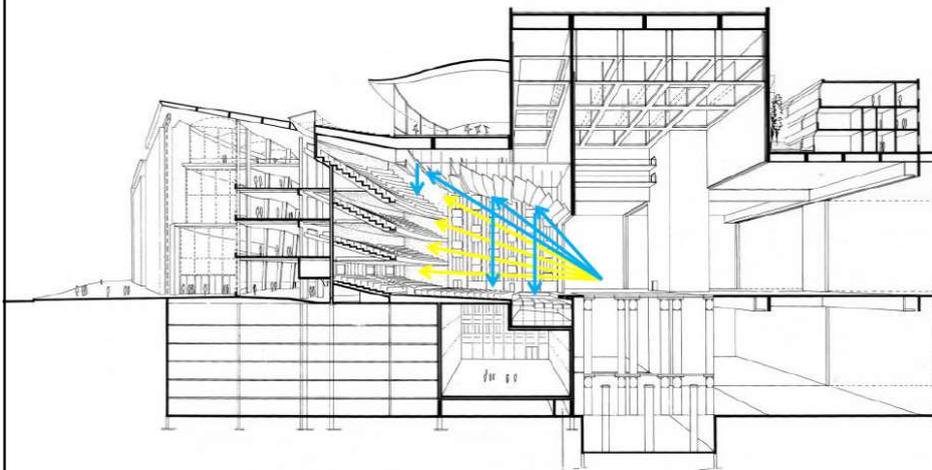


fonte: <https://www.operadeparis.fr/en/l-opera-de-paris/l-opera-bastille>

60

Opéra Bastille

Paris
Arquiteto: Carlos Ott
1989

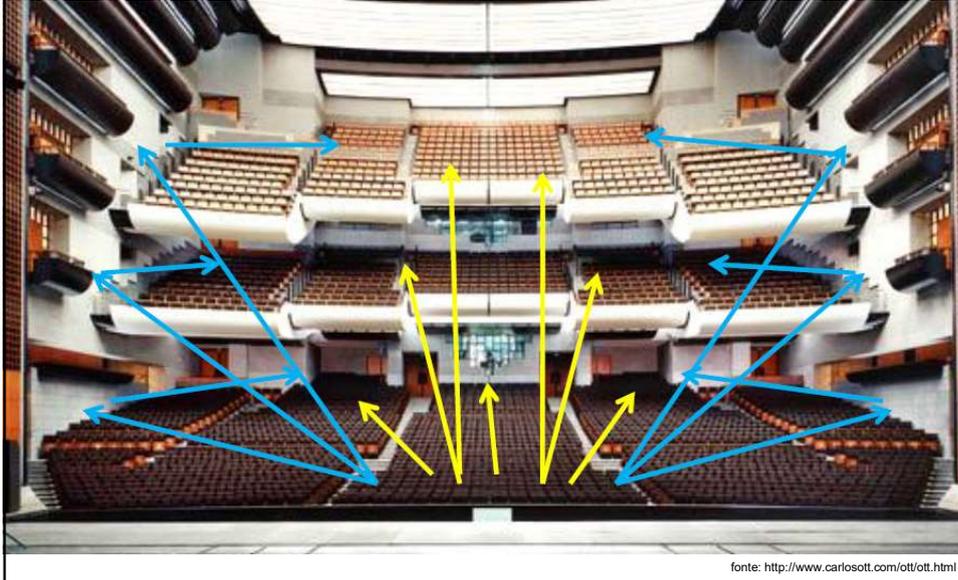


fonte: <http://www.carlosott.com/ott/ott.html>

61

Opéra Bastille

Paris
Arquiteto: Carlos Ott
1989



62

Sala Pleyel

LOCAL: Rue du Faubourg Saint-Honoré, 252, Paris, França.
DATA: Inauguração em 1927



75

Sala Pleyel

IDEALIZADOR E DIRETOR DA EMPRESA PLEYEL: Gustave Lyon, engenheiro

PROJETO ARQUITETÔNICO: Jacques Marcel Auburtin, mas, após sua morte, André Granet e Jean-Baptiste Mathon o substituíam.



76

Concepção original de parábola: Ouvintes escutavam todos os sons dos artistas e estes todas as conversas e ruídos dos ouvintes e funcionários da sala; Artistas não ouviam uns aos outros, por causa da distância e da falta de refletores entre eles.

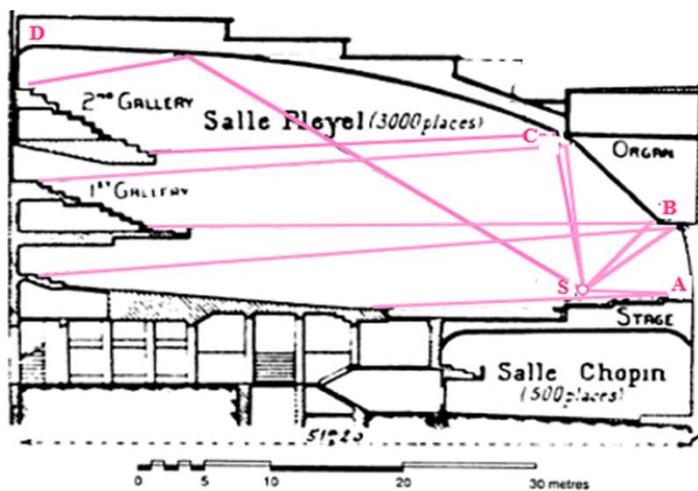


Figura. 8. Sala Pleyel, 1927. Forro refletor.

77

Foram realizadas correções na acústica da sala: **forro e volume**. O forro, com uma parte plana e horizontal, transmite a energia sonora de forma homogênea na sala.



Figura 10 – Sala Pleyel, 1981-2006.

78

Ampliou-se o **volume geral da sala**, pois o público foi diminuído de 3000 para 2400 pessoas.

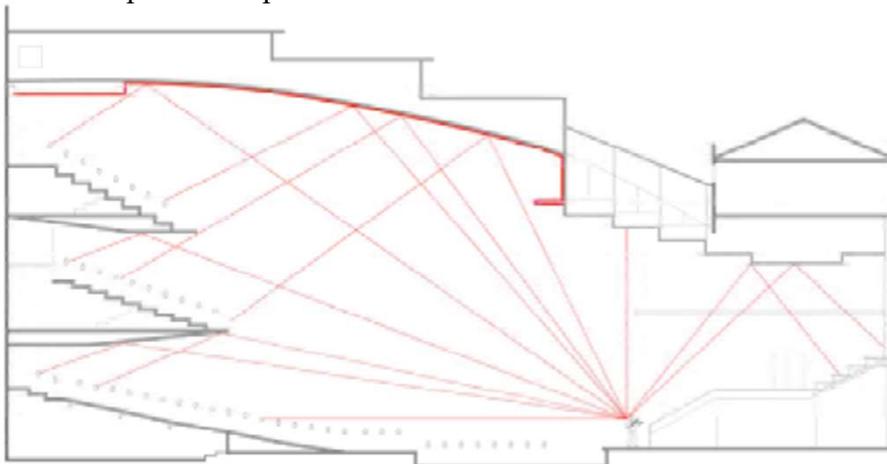
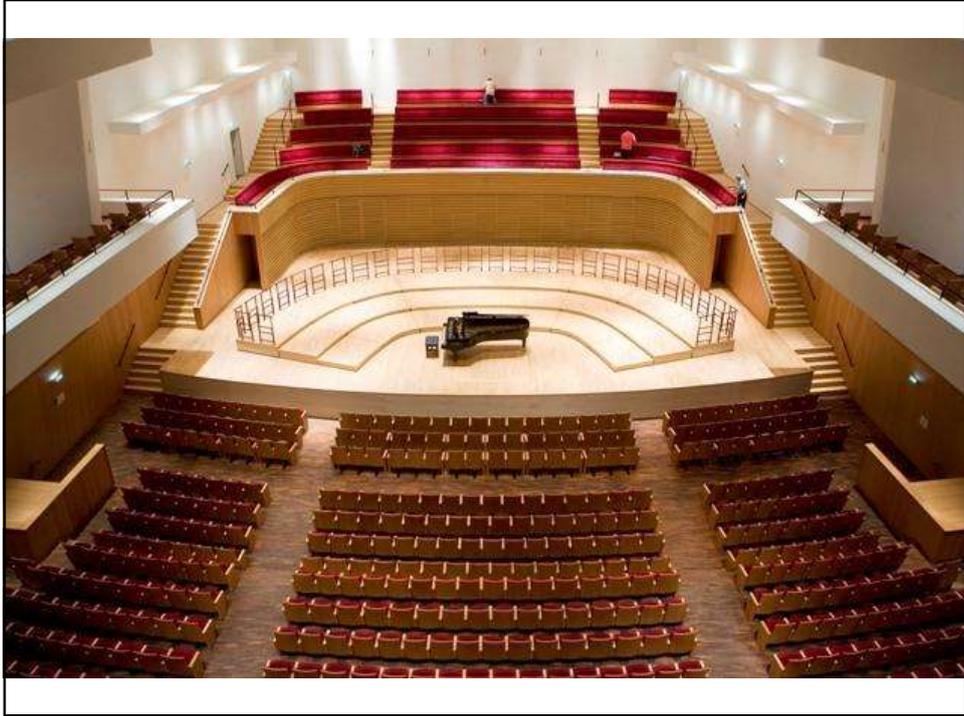
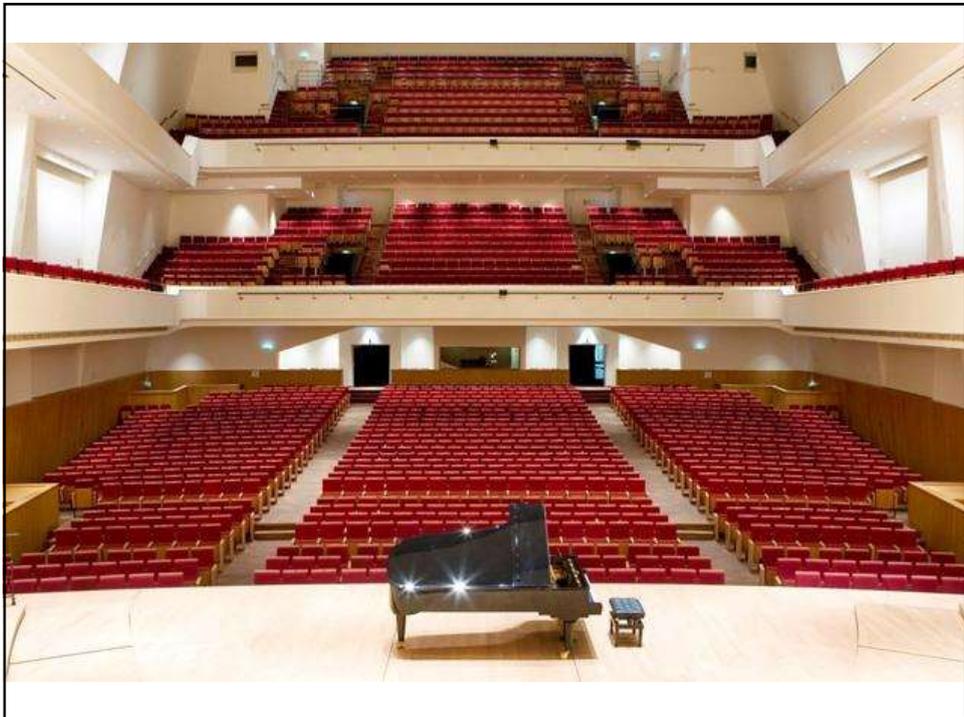


Figura 11 — Sala Pleyel, 2006. Forro refletor.

79



80



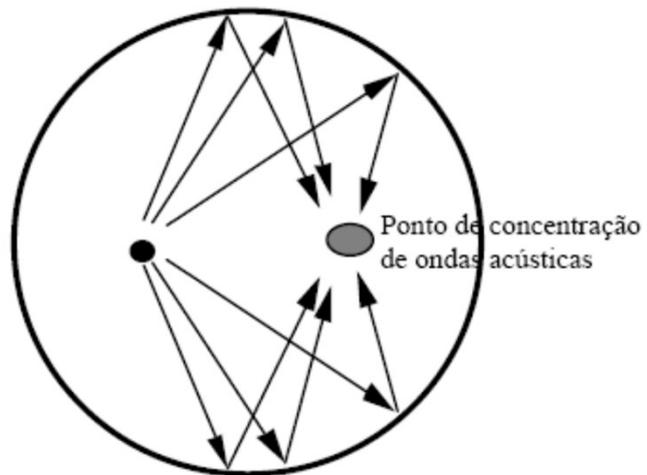
81



82

- Exercício 03

- Como resolver a focalização de ondas sonoras numa sala com seção circular, (vista em planta)?



86