UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Curso de Graduação em

ENGENHARIA CIVIL

Conrado Vidotte Plaza

Projeto de melhoria do desempenho acústico e termo-energético do cinema Cine São Carlos

Orientador: Karin Maria S. Chvatal

São Carlos
2011

CONRADO VIDOTTE PLAZA

Projeto de melhoria do desempenho acústico e termo-energético do cinema Cine São Carlos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para finalização da graduação no Curso de Engenharia Civil

Orientadora: Profa. Karin Maria S. Chvatal

São Carlos

2011

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

P723p

Plaza, Conrado Vidotte
Projeto de melhoria do desempenho acústico e termo-energético do cinema Cine São Carlos / Conrado Vidotte Plaza ; orientador Karin Maria Soares Chvatal. -- São Carlos, 2011.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.

1. Acústica. 2. Desempenho acústico. 3. Conforto térmico. 4. Desempenho termo-energético. 5. Cinemas. I. Título.

AGRADECIMENTOS

A Prof^{a}. Karin Maria S. Chvatal, pela valiosa orientação, pelo apoio e incentivo ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

A Telma Olivieri e ao Maurício Zattoni, representantes da Coordenadoria de Artes e Cultura, devido às vastas informações fornecidas, disponibilização de dados e auxílios prestados.

Ao Gilberto Fuchs, por todo o conhecimento passado, além da confiança e disposição.

A Andressa Dionízio Pádua, companheira de turma, que esteve apta a sempre me auxiliar e ser meu braço direito em muitas situações.

Agradecimento especial ao Prof^{o}. Antônio Nélson Rodrigues da Silva, por todos os anos que me orientou ao longo da graduação e, sobretudo, pelo exemplo de dedicação, competência e comprometimento com seu trabalho.

Aos professores e funcionários do curso de Engenharia Civil, pelos ensinamentos e suporte oferecidos ao longo de toda a graduação.

Á minha família, em especial aos meus pais José Roberto e Marilei e às minhas irmãs Carenina e Roberta, pelo carinho, apoio, otimismo e, sobretudo, compreender minha ausência nos momentos difíceis.

À grande amizade que cultivo na vida, Gabriela Cabrini, aos que venho cultivando desde a graduação e que representam papel importante no meu dia-a-dia Fabio Vieira, Glauco Porto, Jõao Paulo Piva, Lucas Matsukura, Victor Crnkovic e, especialmente, ao Heber Pereira, amigo e companheiro de república por muitos anos.

RESUMO

PLAZA, C.V. **Projeto de melhoria do desempenho acústico e termo-energético do cinema Cine São Carlos**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

Este trabalho tem como objetivos identificar os conceitos que definem acústica e desempenho termo-energético de uma edificação de cinema e, neste contexto, realizar uma avaliação das condições atuais de uma edificação de cinema já existente. O foco maior do trabalho foi voltado às análises acústicas. O processo de estruturação dos conceitos de acústica e desempenho termo-energético, feito através da revisão bibliográfica, revelou questões-chave que devem ser consideradas para a implantação dos conceitos abordados no trabalho. Ao mesmo tempo, forneceu a base para o início da avaliação da edificação de cinema existente, o cinema municipal Cine São Carlos, localizado na cidade de São Carlos – SP. Inicialmente, foi levantada a opinião dos usuários através de um formulário online, com questões voltadas à sensação destes em relação à acústica e ao conforto térmico da sala. Visando avaliar a acústica da edificação, o trabalho considera o nível sonoro dos ambientes, o tempo de reverberação e a relação entre a forma da sala e a qualidade acústica do ambiente. A primeira análise consistiu em uma avaliação através de cálculos teóricos e, posteriormente, uma análise utilizando-se equipamentos específicos de medição acústica. Para a avaliação térmica, foi utilizado o programa Fachadas 2.1, desenvolvido pelo LABAUT, Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética do Departamento de Tecnologia da FAUUSP, e baseado em planilhas eletrônicas, capaz de estimar a temperatura do ar interior antes e após a instalação do sistema de condicionamento artificial e seu consumo de energia elétrica. A principal dificuldade do desenvolvimento deste trabalho foi a obtenção de dados relevantes sobre a edificação para que uma melhor realização do seu diagnóstico. Essa dificuldade se dá por não haver fontes disponíveis - uma vez que a estrutura é antiga - ou por dificuldade de acesso às mesmas. Quando conveniente, foram efetuadas medições no local para a coleta de dados e, conforme a situação, algumas características do edifício estimadas, sendo adequadamente justificadas. Vale ressaltar que o trabalho deu maior foco às análises acústicas. O resultado nos mostrou que ainda há pontos a serem melhorados no que diz respeito à acústica do cinema Cine São Carlos. Estas ações contam, sobretudo, com modificações desde o sistema de áudio ao acabamento e complemento da estrutura da edificação.

Palavras-chave: acústica, desempenho acústico, conforto térmico, desempenho termo-energético, cinemas.

Sumário

1. Introdução 1
2. Objetivos 3
3. Revisão Bibliográfica 4
   3.1. Conceitos básicos de Acústica 4
      3.1.1. Ondas sonoras e elementos que as caracterizam 4
      3.1.2. Intensidade Sonora 5
      3.1.3. Ruídos 7
      3.1.4. Medição de nível de pressão ou intensidade sonora 8
   3.2. Comportamento do som em ambientes fechados 8
      3.2.1. Reflexão do som 9
      3.2.2. Difração do som 10
      3.2.3. Eco 10
      3.2.4. Absorção do som 11
      3.2.5. Reverberação 14
      3.2.6. Isolamento acústico 16
      3.2.7. Problemas acústicos 17
      3.2.8. Correções acústicas 17
   3.3. Conceitos básicos de conforto térmico e de eficiência energética 17
      3.3.1. Variáveis de conforto térmico 18
      3.3.2. Fechamentos Opacos 19
      3.3.3. Sistemas de condicionamento de ar 20
4. Metodologia 22
   4.1. Planejamentos do projeto acústico 22
   4.2. Planejamento do projeto Termo-energético 23
5. Resultados e discussões 24
   5.1. Avaliação dos Usuários 24
   5.2. Avaliação Acústica 30
      5.2.1. Método teórico - Cálculo de Sabine 31
      5.2.2. Método Prático - Instrumentos de medição 38
      5.2.3. Comparação entre os métodos teórico e prático e ajustes 42
      5.2.4. Comparação entre o tempo de reverberação medido e o ideal 43
   5.3. Avaliação Térmica 45

5.4. Estratégias para melhoria da acústica 48
6. Conclusões 52
7. Anexos 55
8. Referências bibliográficas 62

1. Introdução

Na área da engenharia acústica, uma atividade que tem sido de grande valor é a correção de auditórios já em funcionamento (DE MARCO, 2009). Inúmeros projetos são concluídos sem que se leve em consideração um projeto acústico que permita assegurar qualidade sonora em sua utilização. Além do desempenho acústico, a arquitetura também deve proporcionar conforto térmico aos seus usuários, o qual deve ser observado tendo como diretriz o desempenho energético, resultando em menor impacto ambiental.

Com o objetivo de proporcionar entretenimento e lazer aos seus usuários, a estrutura que abriga o cinema deve garantir a qualidade do som, para melhor compreensão do áudio e percepção dos efeitos, e conforto térmico na sala, proporcionando melhor vivência no ambiente.

O cinema Cine São Carlos, escolhido para desenvolvimento deste trabalho, mantém seus ideais de cinema de rua em atividade através de uma concessão da Prefeitura Municipal à cinematográfica Casella&Casella, perpetuando a ideia de valorização do cinema acessível e democrático, por estar localizado no centro da cidade e possuir o valor dos bilhetes reduzidos.

Figura 1 - Cinema estudado: Cine São Carlos

Neste contexto, este trabalho visa efetuar um diagnóstico e apresentar um projeto para melhorias da edificação que abriga o cinema Cine São Carlos, em relação ao seu desempenho acústico e termo-energético.

No primeiro semestre de desenvolvimento do trabalho, inicialmente foram levantados os conceitos teóricos necessários para o desenvolvimento e execução do projeto, tornando possível a elaboração da metodologia e as informações necessárias para o desenvolvimento dos cálculos. Por se tratar de uma concessão entre a Prefeitura Municipal de São Carlos e a Cinematográfica Casella&Casella, o acesso às informações torna-se restrito, sendo necessárias reuniões com a Coordenadoria de Artes e Cultura da Prefeitura Municipal de São Carlos e, por fim, com o proprietário da cinematográfica. Após a confirmação das partes responsáveis pelo cinema, foi apresentada uma carta solicitando permissão para a realização dos testes necessários e obtenção de dados. Como última atividade, foi efetuada uma visita para reconhecimento e registro da área. No segundo semestre, foi aplicado o questionário de avaliação do cinema pelos usuários, através de um formulário online, com questões elaboradas de forma clara e de fácil compreensão, com questões relacionadas à acústica e conforto térmico da sala. Partindo para a avaliação acústica, o trabalho abordou o nível sonoro dos ambientes, o tempo de reverberação e a relação entre a forma da sala e a qualidade acústica do ambiente. A primeira análise consistiu em uma avaliação através de cálculos teóricos e, posteriormente, uma análise utilizando-se equipamentos específicos de medição acústica. Partindo-se para a avaliação térmica, conhecidas as variáveis climáticas, humanas e arquitetônicas, foi utilizado como ferramenta de apoio o programa Fachadas 2.1, desenvolvido pelo LABAUT, Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética do Departamento de Tecnologia da FAUUSP, e baseado em planilhas eletrônicas, capaz de estimar a temperatura do ar interior antes e após a instalação do sistema de condicionamento artificial de ar e seu consumo de energia elétrica.

A principal dificuldade do desenvolvimento deste trabalho foi a obtenção de dados relevantes sobre como o edifício foi construído (e/ou reformado, ao longo do tempo), para uma melhor realização do seu diagnóstico. Essa dificuldade se dá por não haver fontes disponíveis - uma vez que a estrutura é antiga - ou por dificuldade de acesso às mesmas. Quando conveniente, foram efetuadas medições no local para a coleta de dados e, conforme a situação, algumas características do edifício estimadas, sendo adequadamente justificadas. A biblioteca da Escola de Engenharia de São Carlos possui bibliografia atualizada sobre o assunto, e o Laboratório de Conforto Ambiental do IAU possui variados equipamentos para análises térmicas e acústicas que poderão ser utilizados caso necessário.

2. Objetivos

Este trabalho tem como objetivo avaliar as condições atuais de uma edificação de cinema já existente com relação ao conforto acústico e ao desempenho térmico. Após as análises, identificar e sugerir ações para melhorias dos aspectos acústicos visando o melhor funcionamento do estabelecimento. O elemento de estudo é o cinema municipal Cine São Carlos, localizado na cidade de São Carlos – SP.

3. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo são introduzidos os principais referenciais teóricos de acústica, conforto térmico e eficiência energética, necessários para o desenvolvimento do projeto.

3.1. Conceitos básicos de Acústica

3.1.1. Ondas sonoras e elementos que as caracterizam

A acústica vem mostrando seu valor projetual desde a antiguidade, com os teatros ao ar livre dos gregos e romanos. Sem entrar na questão de ter havido ou não a intenção acústica, pois a prioridade dos efeitos visuais nesses teatros parece evidente, os resultados obtidos pelos gregos e romanos são lições que não podem ser esquecidas (SOUZA *et* al., 2009). As construções gregas, situadas em locais inclinados para aproveitamento do relevo, apresentavam arquibancadas e distribuição da plateia em forma semicircular, de maneira a facilitar a propagação do som direto e garantir a eficiência da distribuição da plateia em formas semicirculares, resultando em maior captação sonora. Seguindo o modelo grego, o teatro romano desenvolve uma estrutura independente do relevo, criando estruturas que se apoiam em escadas tornando possível a construção de estruturas mais elevadas.

De forma simplificada, podemos dizer que som é a energia irradiada de uma fonte, a partir de uma vibração ou perturbação física, na forma de ondas através de um meio elástico, na maioria das vezes o ar.

A perturbação é gerada por um corpo que vibra, transmitindo suas vibrações ao meio que o rodeia. As moléculas deste sofrem, alternadamente, compressões e rarefações, acompanhando o movimento do corpo. Esta variação de pressão é logo comunicada às moléculas vizinhas do meio, criando ondas longitudinais de compressão e rarefação que partem do corpo. As moléculas do meio, porém, não se deslocam, mas sim oscilam em torno de suas posições de equilíbrio e o que se propaga é o movimento oscilatório (DE MARCO, 1982).

Este movimento ocorre de forma cíclica e descreve os elementos que caracterizam o som:

- Frequência (f):

  Número de ondas por segundo, ou seja, a frequência com que estes ciclos se sucedem na unidade de tempo, grandeza medida em Hertz (Hz). A frequência varia de acordo com a fonte sonora, determinando a percepção sonora da característica chamada tom, ou seja, níveis altos de frequência resultam em sons agudos, enquanto níveis baixos resultam sons graves. Segundo BRESSANE *et* al. (2010),

convencionou-se denominar de uma oitava a razão igual a dois entre frequências sonoras consecutivas, como entre 500Hz, 1000Hz e 2000Hz.

- Período (T):

Determina o tempo para completar cada ciclo do movimento oscilatório, medido em segundos por ciclo (s/ciclo), o qual está relacionado à frequência como pode ser observado pela equação a seguir:

$$T = 1/f$$

- Amplitude:

O valor máximo de variação de pressão atingido no período;

- Velocidade (C)

A velocidade de deslocamento da onda independe da frequência e da amplitude da oscilação, mas sim das características do meio, como pressão, umidade e temperatura. Essa relação pode ser observada em DE MARCO (1982), expressa pela equação seguinte, onde t representa a temperatura em graus Celsius (°C). Em condições normais de temperatura e pressão, 22°C, a velocidade do som é aproximadamente 345 m/s.

$$c = (331{,}4 + 0{,}607t)[m/s]$$

- Comprimento de onda (λ):

Distância percorrida pela onda no período, ou seja, a distância de deslocamento da onda sonora durante um ciclo de vibração. O comprimento de onda está relacionado à frequência, podendo ser obtido através da seguinte relação, onde λ é o comprimento de onda, medido em metros (m), e f a frequência, em Hertz (Hz).

$$\lambda = c/f$$

3.1.2. Intensidade Sonora

Define-se intensidade sonora num ponto e numa direção determinada como a quantidade de energia transportada pela onda sonora por unidade de superfície normal à direção da onda (DE MARCO, 1982). O nível de intensidade ou pressão sonora, grandeza medida em Decibéis (dB), afeta diretamente o estado físico e o psicológico das pessoas, causando, por exemplo, perdas de concentração, irritação e

dificuldade para dormir. Acima de determinados limites e de acordo com o tempo de exposição, pode até chegar a causar danos permanentes ao ouvido.

Em acústica, a unidade Bel (nome em homenagem a Alexandre Graham Bell) foi usada para relacionar a intensidade do som com o nível de intensidade correspondente ao sentido da audição humana. Nível de intensidade sonora em bels equaciona em escala logarítmica a relação I/I_0, onde I_0 é a mínima intensidade sonora audível à média humana em 1000 Hz (EGAN, 1988). A relação a seguir representa como são encontrados os Níveis Sonoros de Intensidade (NSI), em decibéis (dB), onde I é a intensidade sonora, em W/m², e I0 a intensidade sonora de referência, 10^{-12} W/m².

$$\mathrm{NSI} = 10\log(I/I_0)$$

Em substituição ao cálculo do Nível Sonoro de Intensidade (NSI), pode-se definir o Nível Sonoro de Pressão (NSP), também expressa em decibéis (dB), representada pela relação a seguir, onde P_0 representa o valor da pressão de referência, $2x10^{-4}$ µb.

$$NSP = 20\log P/P_0$$

A Figura 2 apresenta o nível de intensidade de alguns sons familiares.

130 dB	Limiar da dor
120 dB	Decolagem de jato comercial
110 dB	Banda de rock
100 dB	Trânsito intenso
90 dB	Interior de automóveis
80 dB	Rua residencial
70 dB	Conversação
60 dB	Ambiente com música ou televisão com volume reduzido
50 dB	Escritório silencioso
40 dB	Sala silenciosa
30 dB	Estúdio de gravação
20 dB	Estúdio de radiodifusão
10 dB	Limiar da audição
0 dB	

Figura 2 - Escala de Nível de Pressão Sonora em dB

O interesse em avaliar o som de acordo com determinadas faixas de frequências, resultou na criação de escalas de correção para os níveis sonoros, denominados Filtro A, B e C. O filtro A, mensurado em amplitude dBA, é capaz de ignorar sons de baixa frequência, aproximando-se de uma simulação da audição humana e tornando possível quantificar os fenômenos acústicos capazes de interferir na audição humana. Devido a estas limitações, a escala dBA pode ser usada para avaliar diversos tipos de ruídos no ambiente, como o ruído de tráfego. A tabela abaixo apresenta a escala para correção do valor mensurado em dB para dBA. A correção procede somando-se ao valor da intensidade sonora medida em decibéis, o valor tabelado da mesma frequência de referência.

Tabela 1 - Escala para correção de dB para dBA (Fonte: EGAN, 1988).

Filtro A (dB)							
63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
-25	-15	-8	-3	0	+1	+1	-1

3.1.3. Ruídos

Devido à sua riqueza espectral, alguns tipos de ruídos servem de fonte para a síntese da fala, de sons da natureza e de sons de instrumentos musicais. Em adição, são úteis para a calibração de equipamentos eletrônicos, como sinais de teste, e nas medidas das características de sistemas de áudio eletroacústicos (FILHO e DALCASTAGNÊ, 2002).

Baseado em seu espectro de frequência, os ruídos são classificados, analogamente, com o espectro eletromagnético de faixa de luz. De acordo com FILHO e DALCASTAGNÊ (2002), será classificado a seguir dois destes ruídos, os quais serão pertinentes ao trabalho.

- Ruído Branco: tem sua potência distribuída uniformemente no espectro de frequência (analogia à luz branca que contém todas as frequências do espectro visível);
- Ruído Rosa: tem sua potência concentrada nas baixas frequências (analogia à luz vermelha por possuir a mais baixa frequência do espectro visível).

3.1.4. Medição de nível de pressão ou intensidade sonora

Quando se trata de espaços com necessidades acústicas especificas, como é o caso dos cinemas, as medições sonoras são essenciais para conhecer os níveis de intensidade sonora admissíveis para todas as frequências, de modo a garantir a qualidade sonora do ambiente.

Os benefícios de medir o som são vários. As medições sonoras resultaram no desenvolvimento da acústica arquitetônica e da sonorização, aperfeiçoando a técnica de ouvir música, quer seja na sala de concerto, quer seja no próprio lar. A medição do som permite a avaliação científica e precisa dos sons incômodos (SILVA, 2005).

Instrumentos e métodos de medida devem compatibilizar-se com as normas aplicáveis às medições a serem procedidas.

Medidores de nível sonoro são constituídos por microfones que transformam variação de pressão sonora captadas no ar em correspondentes sinais elétricos, os quais são amplificados internamente e medidos por filtros eletrônicos, como é o caso do Decibelímetro ilustrado pela Figura 3.

Figura 3 – Medidores de nível sonoro: decibelímetro

3.2. Comportamento do som em ambientes fechados

Quando um obstáculo, como uma parede, intercepta uma onda sonora, parte da energia incidente é refletida, parte é dissipada pelo obstáculo e o restante atravessa o obstáculo, tornando o obstáculo uma nova fonte sonora que criará uma

onda sonora no próximo ambiente. Desta forma, quanto mais rígidos, espessos e pesados estes obstáculos forem, melhores isolantes acústicos serão. Equacionando este processo em função das intensidades, encontramos a seguinte relação:

$$I_{incidente} = I_{refletido} + I_{dissipado} + I_{transmitido}$$

3.2.1. Reflexão do som

Tratando-se da reflexão do som, quando a superfície refletora é plana, o ângulo do raio incidente com a normal à superfície refletora no ponto considerado, é igual ao ângulo formado pelo raio refletido com a mesma linha e estão no mesmo plano (Figura 4). No caso das superfícies côncavas, os raios tenderão a convergir de forma não homogênea, gerando zonas focais de alta concentração e outras surdas, as quais não recebem nenhuma reflexão (Figura 5). Já nas superfícies convexas, os raios tendem a se divergir, dispersando suas reflexões (Figura 6).

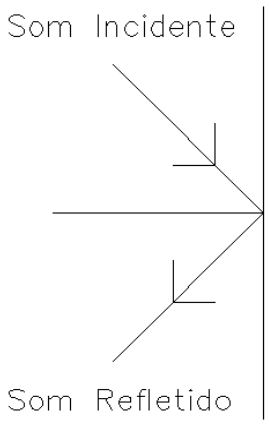


Figura 4 - Reflexão do som em superfície plana

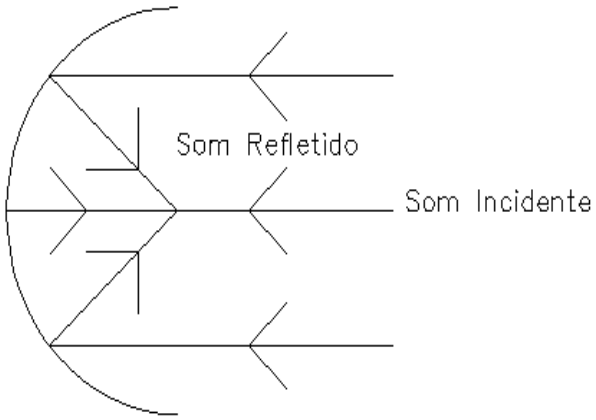


Figura 5 - Reflexão do som em superfície côncava

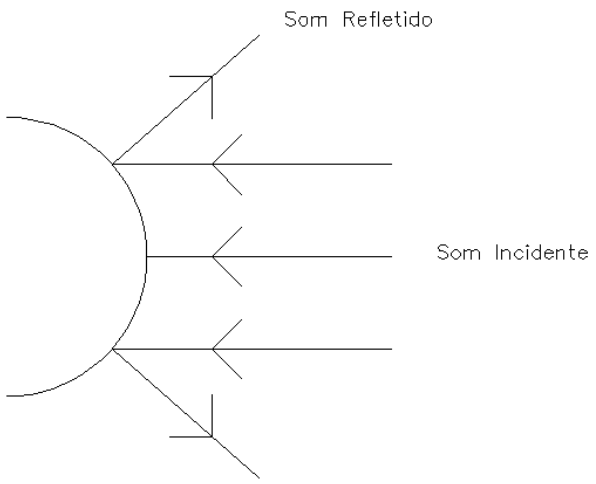


Figura 6 - Reflexão do som em superfície convexa

A análise da reflexão do som, bem como a arquitetura da superfície refletora, permite diagnosticar origem de ecos ou reflexões prejudiciais.

3.2.2. Difração do som

Outro comportamento do som a ser abordado é a difração do som. Trata-se da mudança sofrida na direção de uma onda sonora contornando um obstáculo.

A experiência indica que os obstáculos não projetam uma sombra acústica completa no caminho do som. Isto é devido à difração, fenômeno que faz com que o som “vire as esquinas”. Os comprimentos de onda do som oscilam entre 1,7 e 1700 cm, aproximadamente, que são grandezas de “nível arquitetônico”. Esta grande diversidade de tamanhos de onda sonora determina diferentes comportamentos de difração (DE MARCO, 1982). Neste contexto, temos que haverá sombra sonora quando o comprimento de onda for menor que o comprimento do obstáculo.

Em pequenas frestas ou orifícios, a abertura passa a funcionar como se fosse um novo centro de propagação sonora.

3.2.3. Eco

Eco é a repetição do som original (emitido) suficientemente alto, sendo claramente ouvido acima da reverberação e dos ruídos. Ocorre quando há um afastamento muito grande entre a parede e o emissor sonoro, a partir de 17 metros. Os 17 metros de distância correspondem a um percurso de trinta e quatro metros para a resposta do som tocar o emissor novamente. Com uma velocidade no ar de 340 m/s, a demora do retorno é um décimo de segundo, o que a acústica fisiológica indica

como tempo para que os neurônios que transmitem a vibração sonora para o cérebro se recuperem para entender o som refletido como um novo som. Para sinais de fala, o eco pode ser percebido quando o intervalo entre o som direto e o som refletido é maior que 60 ms (cerca de 1/17 s).

3.2.4. Absorção do som

Quando a energia sonora entra num material poroso, se este é tal que o ar tem condições de transitar livremente entre os poros, parte da energia é convertida em calor, devido à resistência viscosa e ao atrito nos poros e ainda pela vibração das pequenas fibras do material. Existe, porém, uma relação direta entre o comprimento de onda do som e a espessura do material poroso: materiais finos só poderão absorver curtos comprimentos de onda (DE MARCO, 1982).

A absorção do som de um ambiente, em Sabines, pode ser expressa pela seguinte fórmula:

$$A = \sum S_i * a_i + \sum n_i * A_i + x * V$$

Onde:

S_i – superfície aparente de cada material (m^2);

a_i – coeficiente de absorção de cada material;

n_i – quantidade de objetos de absorção Ai;

A_i – absorção global de cada objeto (Sabine);

x – coeficiente de absorção do ar (Sabine/m^3);

V – volume do local;

Os materiais absorventes podem ser classificados em fibroso (lã de vidro, lã de rocha e fibra de madeira), celulares com células fechadas (poliestireno expandido e espuma rígida de poliuretano) e celulares com células abertas (concreto celular, espuma de argila, espuma flexível de poliuretano, espuma de amianto e cortiça). Cada material possui um nível de absorção definido como coeficiente de absorção (a_i). Para alguns materiais encontrados em cinemas, esta propriedade é apresentada nas tabelas 2 a 5, enquanto os demais materiais podem facilmente ser encontrados em bibliografias (ver, por exemplo, DE MARCO, 1982; NBR12179/1992).

Tabela 2 - Coeficiente de absorção para elementos isolados

Elementos isolados	Absorção total em Sabines (m² de abs = 1) p/ frequências de (Hz)		
	500	1000	2000
Grade de ventilação 50% de seção livre	0,500	-	0,500
Pessoa sentada, média de uma por metro quadrado	0,470	0,520	0,530
Público misturado, sentado em poltronas de estofado grosso.	0,470	0,470	0,510
Público misturado, sentado em poltronas de teatro simplesmente estofadas no encosto.	0,380	0,455	0,390
Poltrona de teatro, de madeira	0,022	0,030	0,047
Poltronas estofadas com couro sintético	0,15	0,00	0,07

Tabela 3 - Coeficiente de absorção para elementos de superfície

Elementos de superfície	Espessura (cm)	Coeficiente de absorção para frequências de (Hz)		
		500	1000	2000
Ar (por m³)	-	-	0,003	0,007
Carpete simples, forrado	-	0,250	0,320	0,400
Carpete simples	5,0	0,150	0,290	0,520
Cortina de algodão (0,5 Kg/m²) com dobras	-	0,490	0,810	0,660
Cortina de veludo (0,6 Kg/m²) com dobras	-	0,550	0,720	0,700
Feltro, leve	1,2	0,100	0,210	0,570
Lã de rocha	10,0	0,730	0,740	0,760
Lã de vidro solta	10,0	0,640	0,750	0,800
Recessos com cortinas	-	0.300	-	0.350
Tábua de fibra de madeira polida	1,8	0,160	0,300	0,350
Tábuas de pinho	2,5	0,130	0,100	0,060
Tela cinematográfica	-	0,2	-	0,5
Placas de espuma ondulada	0,35	0,480	0,710	0,860
Placas de espuma plana	0,2	0,320	0,660	0,940

Tabela 4 - Coeficiente de absorção para materiais de construção usuais

Materiais de construção usuais	Coeficiente de absorção para frequências de (Hz)		
	500	1000	2000
Linóleo	0,030	-	0,040
Reboco fibroso	0,200	0,550	0,100
Reboco Liso	0,020	0,020	0,030
Revestimento de pedras sintéticas	0,050	-	0,070
Superfície de concreto	0,030	0,030	0,040
Taco colado	0,060	0,120	0,100

Tabela 5 - Coeficiente de absorção para Portas, Janelas e Aberturas

Portas, Janelas e Aberturas	Coeficiente de absorção para frequências de (Hz)		
	500	1000	2000
Janela aberta	1,000	1,000	1,000
Portas de madeira fechadas	0,060	0,000	0,100

3.2.5. Reverberação

A reverberação está associada à reflexão da onda sonora em obstáculos. Desta forma pode-se fazer a seguinte classificação: próximo à fonte do som, o som direto será o predominante; distante dela, o som reverberante terá maior importância. Essa classificação permite diagnosticar problemas acústicos quanto aos níveis relativos do som, os quais podem ser definidos quando conhecidas as características da fonte e do ambiente.

Segundo (DE MARCO, 1982), a reverberação incide de três modos na distribuição do som no recinto:

a) Como a absorção dos diferentes materiais é seletiva com relação à frequência, o espectro do som reverberante não coincide com o do som direto;
b) Uma vez que os materiais absorventes não serão distribuídos homogeneamente no recinto, a distribuição espacial do som não é homogênea;
c) O som reverberante persiste certo tempo no local, depois da fonte deixar de emitir som.

Em casos onde a reverberação persiste por muito tempo depois de a fonte cessar a emissão sonora, será possível a percepção do som, podendo perturbar a inteligibilidade da apresentação. Se o contrário ocorrer, o som desaparecer imediatamente, como em salas com alta absorção, ocorrerá dificuldade na audição em pontos afastados.

É definida para fins de comparação a grandeza tempo de reverberação, definida como o tempo necessário para um som diminuir sua pressão sonora em 60 dB após a fonte cessar. Para regimes difusos e locais onde se classifica a absorção média como baixa (abaixo de 0,5), adota-se a fórmula de Sabine, apresentada a seguir, onde V é o volume do recinto em m³ e A a absorção total em Sabines.

$$t_{60} = (0.161 * V)/A$$

Para locais onde há absorção média elevada (0,5 ou superior), adota-se a equação de Norris - Eyring, apresentada abaixo, onde ā é o coeficiente de absorção médio ponderado em superfície e S a superfície total absorvente.

$$t_{60} = (0{,}161 * V)/(-2{,}3 * S * \log(1 - \bar{a}))$$

Ao relacionar tempo de reverberação e, consequentemente, coeficiente de absorção, as salas podem ser classificadas em três categorias:

- **Salas vivas:** possuem tempo de reverberação acima de 1s em todas as frequências do espectro de audição;

- **Salas secas:** possuem tempo de reverberação abaixo de 1s em todas as frequências do espectro de audição humana;
- **Salas mortas (salas surdas):** possuem o espectro das frequências graves (20 a 160 Hz) atuantes como as salas vivas, com tempo de reverberação acima de 1 s, enquanto as frequências médias (160 a 1300 Hz) e agudas (acima de 1300 Hz) atuam como as salas secas, abaixo de 1s.

No projeto de um auditório (ou de um cinema), esse tempo de reverberação deve ser calculado para várias frequências correspondentes ao tipo de som que será produzido no recinto. Em seguida, deve ser comparado com o tempo de reverberação ideal. Segundo EGAN (1988) e DE MARCO (1982), o tempo de reverberação ideal para o caso de cinemas está entre 0,8 e 1,2 segundos e, através de um gráfico, compara este valor com o volume da sala, o qual é ilustrado na figura abaixo. A partir deste gráfico, conhecendo-se o volume da sala, é possível obter o tempo de reverberação ótimo para a frequência de 500 Hz.

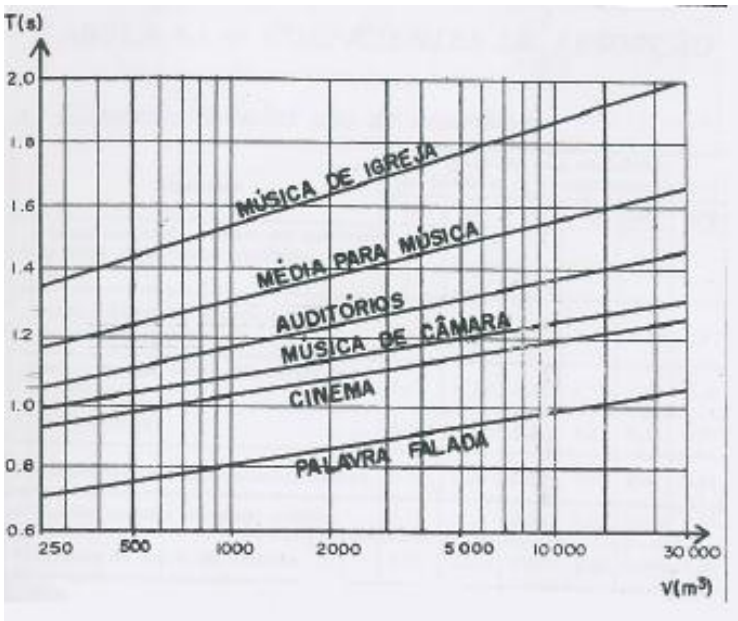


Figura 7 – Tempo ótimo de reverberação segundo DE MARCO, 1982

Segundo o roteiro estabelecido pela NBR12179/1992, o valor de aceitação para o tempo de reverberação pode ser obtido através do gráfico apresentado na Figura 8 - Tempo ótimo de reverberação, com tolerância de 10%.

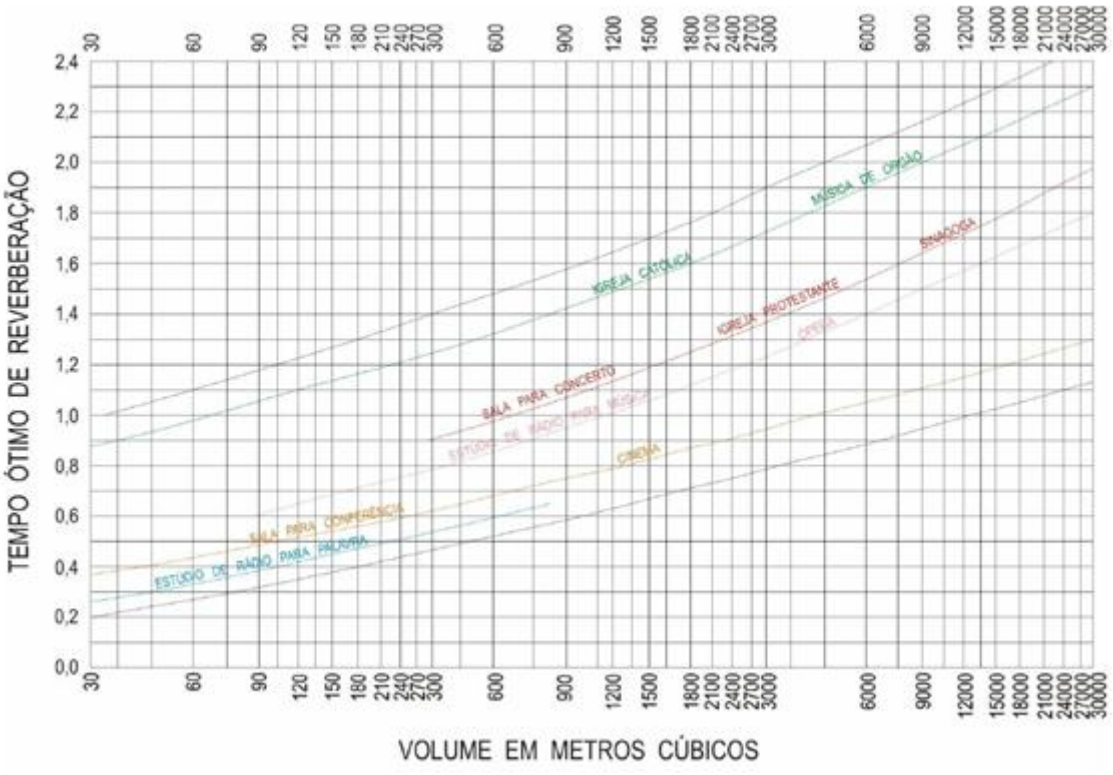


Figura 8 - Tempo ótimo de reverberação segundo NBR12179/1992

3.2.6. <u>Isolamento acústico</u>

Tratando-se de isolamento acústico, a arquitetura deve-se prevenir contra ruídos aéreos (que se originam no ar), como rádio, e ruídos de impacto, como passos, batidas de fechamento ou vibradores.

- **Isolamento contra ruído aéreo:** As ondas que incidem em um fechamento produzem uma vibração no mesmo que, dependendo da frequência do som incidente e das características construtivas, irradia energia para o outro lado. Para se obter um grande isolamento, recomenda-se aumentar consideravelmente o peso do fechamento (lei de massa);
- **Isolamento contra ruído de impacto:** A sonoridade é causada por impactos e dependerá da construção e da superfície do piso. Para evitar esse tipo de ruído, sugere-se agir diretamente na superfície, utilizando-se superfícies macias que absorvem o impacto, como carpetes, tapetes ou placas emborrachadas.

3.2.7. Problemas acústicos

Os problemas acústicos encontrados nas edificações variam de acordo com a arquitetura e funcionalidade do edifício. De acordo com NEWMAN (1960), os problemas acústicos que se apresentam na arquitetura são de duas espécies:

- Proteção contra os ruídos, tendo em vista o sossego, a saúde e a capacidade de trabalho do indivíduo;
- Condicionamento acústico dos ambientes, tendo em vista a boa audição.

Considerando ambientes fechados, os problemas acústicos se concentram, em ruídos indesejados e no tempo de eco e reverberação, o que causam dificuldade na compreensão das palavras e desconforto auditivo.

3.2.8. Correções acústicas

O projeto acústico de um determinado local é feito a fim de corrigir ou controlar a entrada ou saída de ruído, a presença de ecos ou reflexões nocivas, as suas condições de ressonância e o seu tempo de reverberação, para melhorar a inteligibilidade da palavra, a musicalidade e a percepção dos sons, em geral (SILVA, 2005).

Há duas maneiras principais de combater o ruído:

- **Atenuação sonora:** reduz a transmissão de ruído entre ambientes. A atenuação sonora é definida como a diferença de ruído entre dois ambientes devido à passagem do som por uma barreira (forros e paredes).

- **Absorção sonora:** permite diminuir o nível de ruído interno em função das características dos elementos que conformam o ambiente (forma, volume, natureza dos materiais utilizados, etc.). A absorção sonora é definida pela intensidade da fonte e pelo tempo de reverberação no ambiente. Assim, quanto mais material absorvente acústico, como materiais fibrosos ou porosos, houver em um ambiente, menores serão os tempos de reverberação e maior o seu conforto acústico.

Em síntese, para garantir uma boa audição, a solução acústica deve englobar a forma do local e os materiais de construção utilizados, os quais podem variar de obra para obra.

3.3. Conceitos básicos de conforto térmico e de eficiência energética

Segundo a ASHRAE Fundamentals Handbook (1997, apud FLORES, 2009), conforto térmico é um estado de espírito que reflete satisfação com o ambiente térmico que envolve uma pessoa. É, portanto, uma sensação subjetiva que reflete a satisfação

com o ambiente térmico e depende de aspectos biológicos, físicos e emocionais, não sendo, desta forma, possível satisfazer com uma determinada condição térmica todos os indivíduos que ocupam um recinto. O estudo do conforto térmico tem como objetivo a determinação das condições ambientais de modo a atender simultaneamente o maior número de pessoas possível. Quando são atingidas condições ambientais com menor consumo de energia, temos que o edifício é energeticamente eficiente. Neste contexto, podemos entender eficiência energética como a capacidade de se obter um serviço com o menor consumo de energia.

O tratamento térmico deve ser planejado de acordo com a funcionalidade do ambiente, ou seja, cada espaço requer um cuidado especial de acordo com a atividade exercida. Ambientes que alojam atividades com maior atividade térmica necessitam de equipamentos mais eficientes do que ambientes com menor atividade térmica. Outros fatores que influenciam o conforto térmico são: temperatura do ar, temperatura radiante dos objetos, velocidade do ar e pressão do vapor de água no ar ambiente.

Embora o clima seja bem distinto em qualquer região da Terra, o ser humano é biologicamente parecido em todo o mundo, sendo adaptável a diferentes condições climáticas ao se utilizar de mecanismos culturais como a vestimenta, a arquitetura e a tecnologia. (LAMBERTS *et* al., 1997).

As exigências humanas de conforto térmico estão relacionadas com o funcionamento de seu organismo. O ser humano mantém sua temperatura interna em torno de 37°C. Quando o homem está fora de uma faixa de conforto, o balanço térmico é obtido pelo sistema de termorregulação humana, que dificulta ou facilita a rejeição de calor, pela dilatação ou constrição dos vasos sanguíneos (vasodilatação) ou pela produção de suor.

O conforto térmico em um ambiente pode ser avaliado reconhecendo e representando a variação da percepção humana diante às diferentes condições térmicas.

3.3.1. Variáveis de conforto térmico

O conforto térmico é variante, quanto ao meio ambiente, da temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade relativa e velocidade do ar. Além das variáveis ambientais, também podemos citar a atividade física exercida no local e a vestimenta.

- **Influência da atividade física**

  É claro que, quanto maior a atividade física, maior será o calor resultante do metabolismo. Os valores de metabolismo para algumas atividades podem ser encontradas na ISO 7730 e em (LAMBERTS *et* al., 1997).

- **Influência das vestimentas**

As trocas de calor entre meios são feitas por condução, convecção e irradiação. Entre a pele e a roupa não é diferente. Desta forma, quanto maior a resistência térmica da roupa, menor será a troca de calor da pele com o meio. Esta variável é medida em “clo”, do inglês “*clothing*”, e seus valores também podem ser obtidos na ISO 7730.

3.3.2. Fechamentos Opacos

No caso deste trabalho, trataremos apenas das edificações opacas, uma vez que, para cinemas, o ambiente deve ser ausente de luz.

De acordo com (LAMBERTS *et* al., 1997), os fechamentos das edificações podem ser classificados de duas formas quanto às trocas de energia (luz e calor) entre o meio externo e interno: fechamentos transparentes e fechamentos opacos, que se diferenciam por serem, respectivamente, capaz e incapaz de transmitir a radiação solar para o ambiente interno.

Em um fechamento opaco, como não há entrada de radiação solar, a troca de calor entre as superfícies interior e exterior pode ser subdividida em três etapas:

1. Superfície exterior: haverá um aumento da temperatura da superfície externa devido às trocas de calor com o meio externo por convecção e radiação, o qual dependerá da resistência superficial externa, adotado, simplificadamente, 0,04 m²K/W. Quanto à radiação, a parcela refletida e absorvida dependerá da absortividade (α) do material – Tabela 6.
2. Através do fechamento: a diferença entre a superfície externa aquecida e a superfície interna, resultará em trocas de calor entre as duas por condução através do fechamento. Esta etapa será influenciada pela condutividade térmica (λ) do material de fechamento, as quais são apresentadas na Tabela 7. A relação entre a espessura do fechamento (L) com a condutividade térmica do material resulta no valor da resistência térmica (R).

$$R = L/\lambda$$

3. Superfície interna: Por fim, com a chegada do calor, a temperatura da superfície interna tende a aumentar e as trocas de calor voltam a ser por convecção e por radiação.

Tabela 6 - Absortividade do material

Cores	α (%)
Escuras	70 a 90
Médias (tijolos)	50 a 70
Claras	20 a 50

Tabela 7 - Condutividade térmica do material

MATERIAL	λ (W/mK)
Concreto	1,50
Tijolo	0,65
Madeira	0,14
Isopor	0,03

3.3.3. Sistemas de condicionamento de ar

Um dos principais motivos do uso de sistemas de condicionamentos de ar é a climatização de ambientes visando garantir o conforto térmico dos ocupantes. Segundo SILVA (2005), o condicionamento de ar constitui o controle simultâneo:

- Da movimentação do ar (velocidade);
- Da temperatura;
- Da umidade relativa;
- Do grau de limpeza;
- Da pureza do ar.

Em edificações voltadas para cinema, onde o fechamento é opaco, é indispensável a utilização de condicionadores de ar, decorrente da necessidade de aumentar as condições interiores de conforto, garantindo uma melhor estanqueidade do ambiente e, consequentemente, evitando ruídos externos.

O tipo mais conhecido de condicionador de ar é o chamado aparelho de janela. São aparelhos compactos, instalados em orifícios nas paredes e apresentam fácil instalação. Seu uso se restringe a residencial e comercial leve. Além de

prejudicarem a estética dos edifícios, geram ruídos, vibrações nas esquadrias e possuem taxa de renovação de ar restrita. Outra desvantagem é o alto consumo de energia. A capacidade de refrigeração deste tipo varia entre 7.500 a 30.000 BTU/h (0,625 a 2,5 TR).

Outro tipo de sistema de refrigeração comumente utilizado é o Split, ou Tipo Dividido. Este sistema possui a unidade refrigeradora (fonte do ruído) distanciada do ambiente a ser condicionado, resultando em menos ruído, sendo possível atingir os níveis sonoros mais recomendáveis. Possui rápida instalação, baixo consumo de energia e seu uso é residencial e comercial. Seu potencial permite a distribuição do ar através de dutos, obtendo um melhor resultado em questão de uniformidade de climatização, possuindo uma capacidade de refrigeração de aproximadamente 40.000 BTU/h (3,33 TRs).

Para refrigeração de ambientes com grandes dimensões, como é o caso do cinema estudado, os quais exigem maior potência do sistema de condicionamento de ar, há os tipos *Self Contained* e *Chiller – Fan Coil*. Estes equipamentos tem por característica câmara independente para refrigeração e, posteriormente, distribuição do ar através de uma rede de dutos de ar, evitando-se prejuízos estéticos às fachadas e menor ruído nos ambientes. O princípio de funcionamento destes baseia-se em forçar o ar do ambiente a entrar pela abertura, encaminhando-o para o trocador de calor, onde, através da convecção, o ar será resfriado e devolvido ao ambiente.

- *Self Contained*: Capacidade de refrigeração: 30.000 a 240.000 BTU/h (2,5 a 20 TR);
- *Chiller – Fan Coil*: Capacidade de refrigeração: 12.000 a 900.000 BTU/h (1 a 75 TR);

Figura 9 – Fan Coil

4. Metodologia

Neste capítulo são apresentados os métodos de desenvolvimento do trabalho. Inicialmente são apresentadas as informações quanto ao planejamento do projeto acústico e, posteriormente, sobre as questões de conforto térmico e eficiência energética.

4.1. Planejamentos do projeto acústico

O problema básico em edificações voltadas para cinemas é garantir a qualidade acústica para melhor compreensão do áudio e percepção dos efeitos sonoros do filme, valendo-se o seu isolamento acústico (tanto para ruídos oriundos do exterior, quanto para o ruído produzido no seu interior) e garantindo-se adequadas condições acústicas no seu interior. Neste trabalho, nosso foco será para o comportamento acústico no interior da sala, concentrando-se na avaliação do tempo de reverberação, pois este apresenta maior relevância no conforto acústico. Sua análise será feita através de medição utilizando-se equipamentos específicos e cálculos manuais (característica de absorção sonora dos materiais de superfície).

Como processo de trabalho, foram tomadas as seguintes etapas e respectivos métodos de análise descritos.

1) Levantamentos necessários e posterior análise do desempenho acústico do edifício (condições atuais):
    a) Aplicação de questionários junto aos usuários, para verificação da sua satisfação quanto ao conforto térmico, à qualidade acústica no interior da sala e, como complemento, às instalações do cinema, o qual deverá ser elaborado de forma que sejam claros e sintéticos e possam ser respondidos de forma rápida pelos usuários, de modo a avaliar a satisfação do usuário quanto à edificação;
    b) Levantamento dos dados de projeto e inspeção visual para caracterização da envolvente da sala, como materiais de construção e acabamentos, e do seu comportamento acústico através de métodos teóricos;
    c) Medição do nível sonoro e tempo de reverberação no interior da sala, de acordo com os métodos normatizados, utilizando-se o medidor de nível de pressão sonora;

2) Tendo em vista os dados coletados no item anterior, comparados aos parâmetros estabelecidos por norma, proposta de melhorias para garantir a qualidade acústica do cinema:
    a) Proposta de melhorias tendo em vista os problemas levantados e as referências bibliográficas sobre o assunto.

4.2. Planejamento do projeto Termo-energético

Como processo de desenvolvimento do projeto termo-energético, foram tomadas as seguintes etapas e respectivos métodos de análise.

1) Levantamentos necessários e posterior análise do desempenho térmico do edifício (condições atuais):
    a) Conhecidas as variáveis climáticas, humanas e arquitetônicas, avaliar o comportamento do ambiente para manter as condições térmicas desejadas;
2) Utilização de ferramentas computacionais para dimensionamento e verificação do comportamento do ambiente com a introdução do sistema de condicionamento de ar:
    a) Utilização do programa computacional Fachadas 2.1 para estimar a temperatura do ar interior antes e após a instalação do sistema de condicionamento artificial de ar e seu consumo de energia elétrica.

5. Resultados e discussões

Neste capítulo são apresentados os dados, métodos, resultados e discussões dos processos de execução do trabalho. Os processos serão descritos cronologicamente de acordo com sua execução.

5.1. Avaliação dos Usuários

Visando verificar a satisfação dos usuários quanto ao conforto acústico e térmico do cinema, foi elaborado um formulário digital, com auxílio da ferramenta online *Google Docs*. Este formulário apresentou linguagem simples e objetiva, evitando-se ambiguidade e complexidade do tema, permitindo também a participação de leigos, e respostas múltipla escolha, visando objetividade e padronização da resposta final para a avaliação da qualidade do cinema de acordo com os usuários. A primeira questão, subdividida em três itens, teve por objetivo levantar opiniões referentes à sonoridade do cinema (inteligibilidade dos diálogos, percepção do fenômeno de reverberação e uniformidade sonora em diferentes frequências e amplitudes). A segunda e terceira questões referem-se, respectivamente, à sensação térmica da sala e a visibilidade da tela. A última questão, também subdividida em três itens, verifica a opinião do usuário quanto às instalações do cinema (Hall de entrada, cantina e banheiros). A seguir, apresentaremos as questões e seus resultados. O questionário ficou disponível entre os dias 14/10/2011 e 21/10/2011, sendo possível coletar a opinião de 41 usuários.

Questionário de avaliação do Cine São Carlos

Questionário para avaliação do cinema Cine São Carlos quanto à sonoridade, conforto térmico e instalações.

1) No que diz respeito à sonoridade do cinema, avalie:

a. Compreensão dos diálogos do filme:

- Péssimo
- Ruim
- Regular
- Bom
- Ótimo

b. Percepção de ECO na sala:

- Perceptível
- Pouco Perceptível
- Regular
- Quase Imperceptível
- Imperceptível

c. Uniformidade do som em diferentes situações do filme (em cenas de suspense, ação, trilha sonora...):

- Péssimo
- Ruim
- Regular
- Bom
- Ótimo

2) Avalie a sensação térmica da sala:

- Fria
- Quase Fria
- Confortável
- Quase Quente
- Quente

3) Avalie a visibilidade da tela:

- Péssimo
- Ruim
- Regular
- Bom
- Ótimo

4) No que diz respeito às instalações do cinema, avalie:

a. Hall de entrada:

- Péssimo
- Ruim
- Regular
- Bom
- Ótimo

b. Cantina:

- Péssimo
- Ruim
- Regular
- Bom
- Ótimo

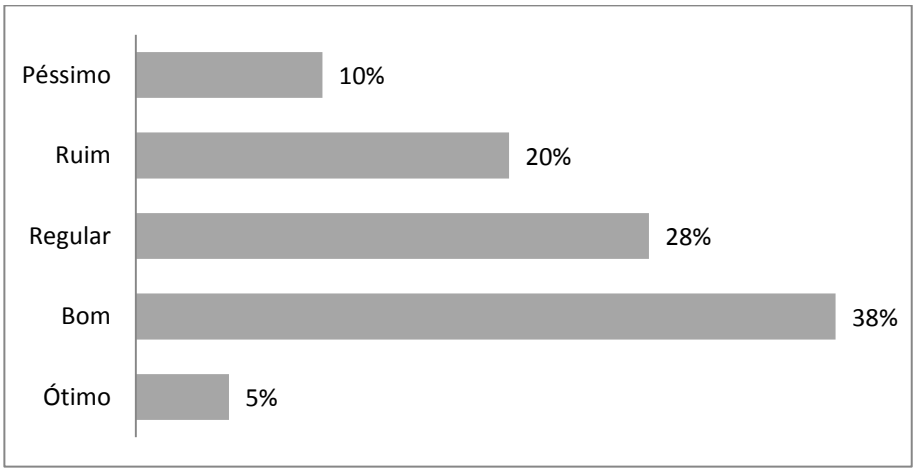
c. Banheiros:

- Péssimo
- Ruim
- Regular
- Bom
- Ótimo

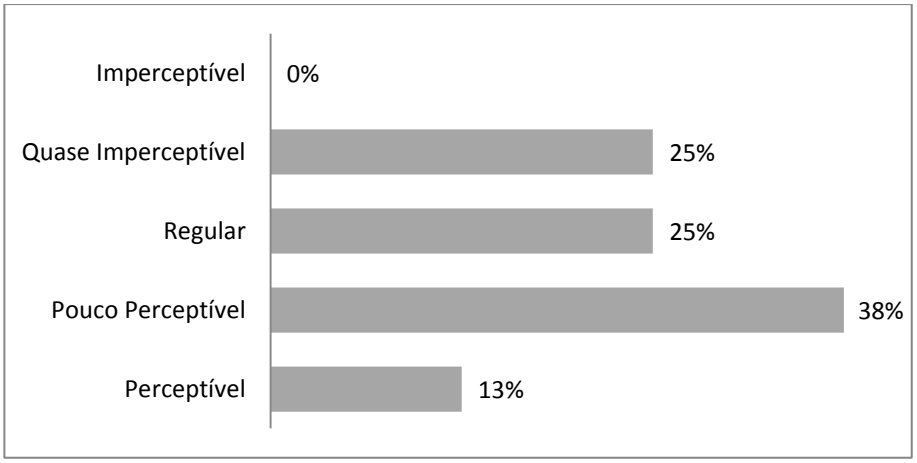
Figura 10 – Interface gráfica do Questionário de avaliação do usuário

1) No que diz respeito à sonoridade do cinema, avalie:

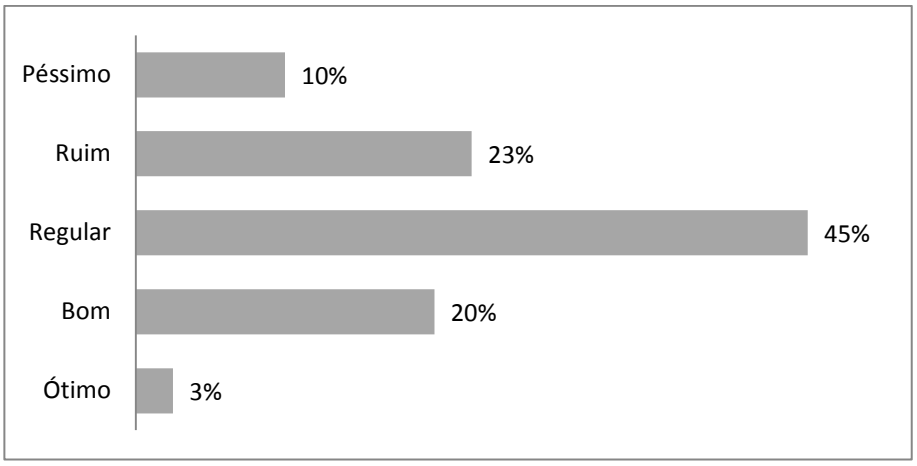
a) Compreensão dos diálogos do filme:



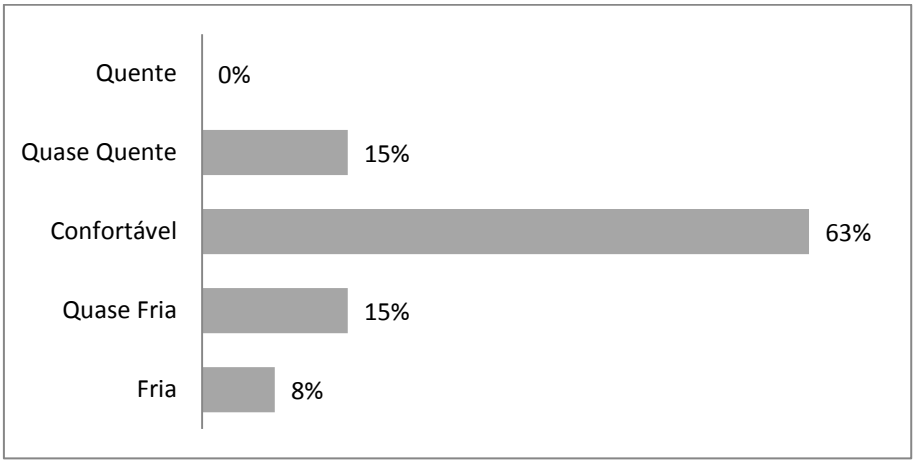
b) Percepção de ECO na sala:



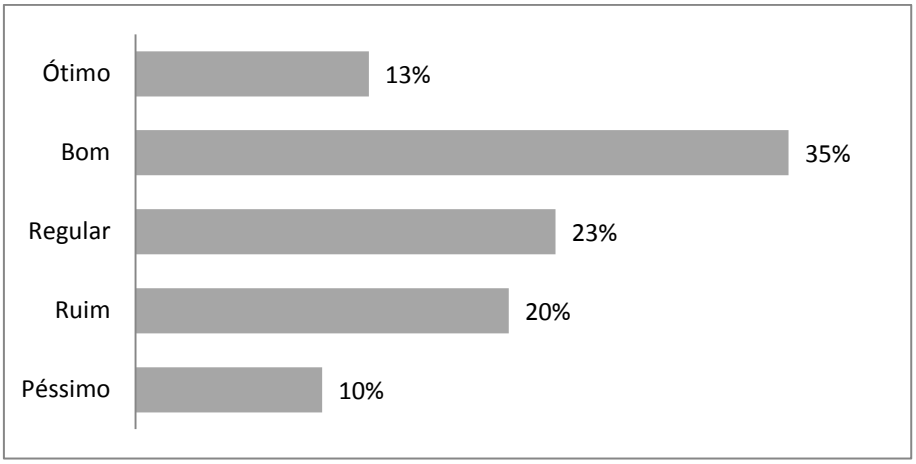
c) Uniformidade do som em diferentes situações do filme (em cenas de suspense, ação, trilha sonora...):



2) Avalie a sensação térmica da sala:

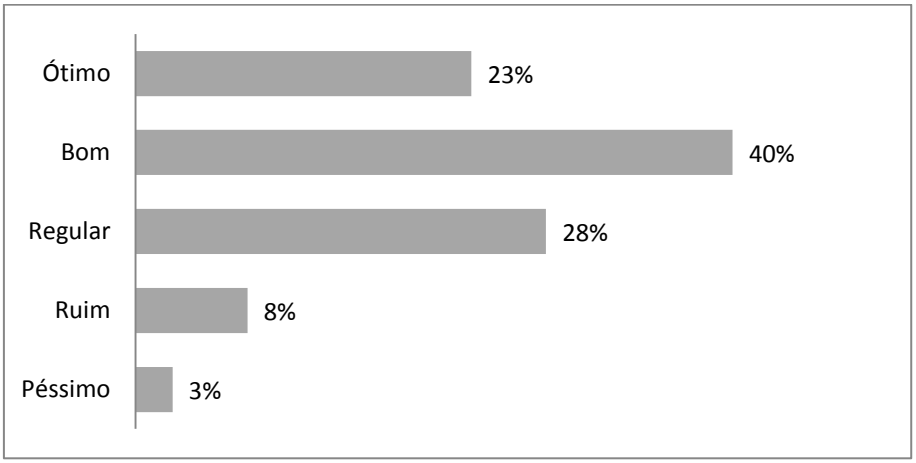


3) Avalie a visibilidade da tela:

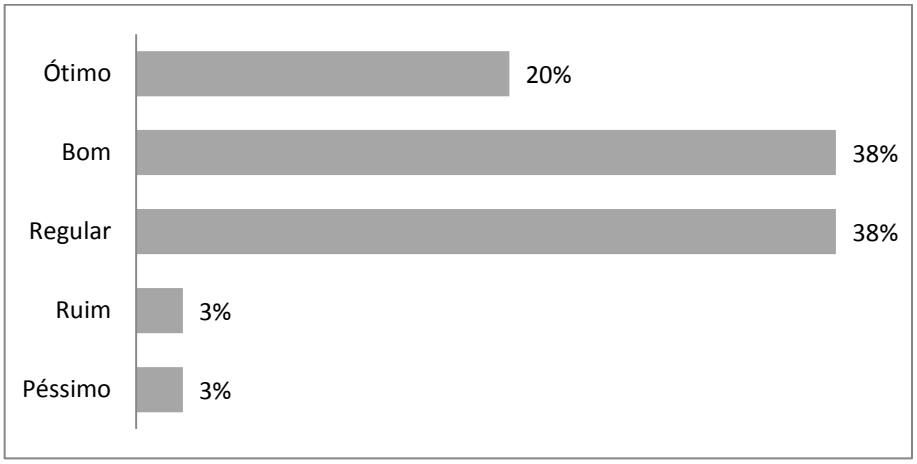


4) No que diz respeito às instalações do cinema, avalie:

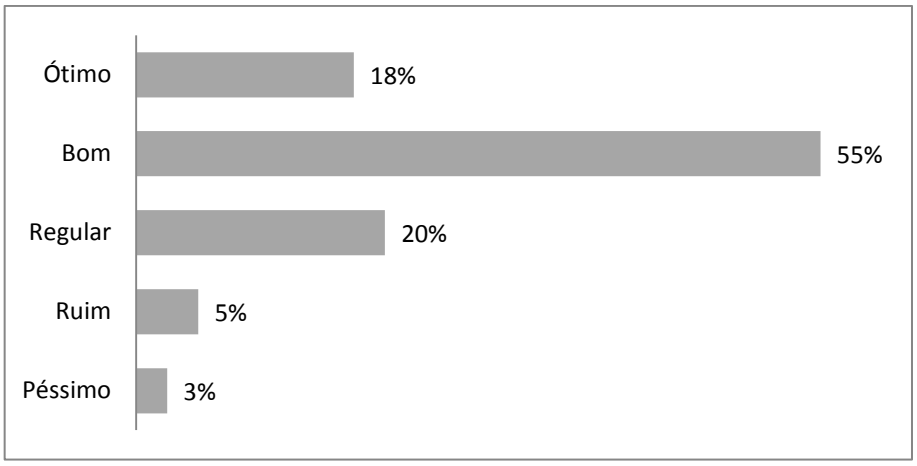
a) Hall de entrada:



b) Cantina:



c) Banheiros:



Em uma primeira análise dos resultados obtidos por este formulário, permitiu verificar a opinião da maioria dos usuários em relação à situação atual do cinema, verificando em quais aspectos o usuário está satisfeito ou insatisfeito. As respostas obtidas direcionadas ao conforto acústico da sala, abordadas através da primeira questão, nos permite observar que, de acordo com a maioria dos usuários, a sala apresenta boa percepção dos diálogos do filme (verificação da inteligibilidade), presença de eco pouco perceptível à quase imperceptível (avaliação do tempo de reverberação) e regular uniformidade do som em diferentes situações do filme (análise do comportamento sonoro em diferentes frequências e amplitudes). Quanto à avaliação do conforto térmico da sala, segunda questão, verificou-se satisfação da maioria dos usuários, com 63% das respostas direcionadas à alternativa “confortável”. A visibilidade da tela foi avaliada com boa visibilidade, verificada através da terceira questão. A última questão, sobre as instalações da edificação, apresentou positiva avaliação dos usuários. Para as instalações do Hall de entrada, item a, e dos banheiros, item c, a maioria dos usuários classificaram como “bom”, enquanto que

para a cantina, item b, as alternativas “Bom” e “Regular” apresentaram empate com 38% das respostas.

Visando apresentar uma nota de avaliação do usuário, onde fossem ponderadas todas as respostas obtidas, foi elaborada uma escala com valores de normalização para as alternativas das questões, compreendido entre zero e um sendo, respectivamente, a pior e a melhor situação. O valor de escore “zero” indica insatisfação dos usuários com o cinema, representando o que mais incomoda o usuário, enquanto que o valor “um” indica satisfação, o que menos incomoda. A Tabela 8 apresenta os valores de normalização das respostas de acordo com escala elaborada.

Tabela 8 - Valores para normalização das respostas

Escore para normalização das respostas					
1 - Acústica					
(a) Inteligibilidade		(b) Tempo de reverberação		(c) Uniformidade sonora	
Ótimo	1,00	Perceptível	0,00	Ótimo	1,00
Bom	0,75	Pouco Perceptível	0,25	Bom	0,75
Regular	0,50	Regular	0,50	Regular	0,50
Ruim	0,25	Quase Imperceptível	0,75	Ruim	0,25
Péssimo	0,00	Imperceptível	1,00	Péssimo	0,00
2 - Conforto Térmico			3 - Visibilidade da tela		
Fria	0,00		Ótimo	1,00	
Quase Fria	0,50		Bom	0,75	
Confortável	1,00		Regular	0,50	
Quase Quente	0,50		Ruim	0,25	
Quente	0,00		Péssimo	0,00	
4 - Instalações					
(a) Hall de entrada		(b) Cantina		(c) Banheiros	
Ótimo	1,00	Ótimo	1,00	Ótimo	1,00
Bom	0,75	Bom	0,75	Bom	0,75
Regular	0,50	Regular	0,50	Regular	0,50
Ruim	0,25	Ruim	0,25	Ruim	0,25
Péssimo	0,00	Péssimo	0,00	Péssimo	0,00

O *Escore Parcial* representa a nota ponderada para cada questão aplicada. Esta ponderação é obtida através da somatória da multiplicação entre a porcentagem obtida e seu valor de normalização apresentado na tabela. Para exemplificar este método, tomaremos o primeiro item da primeira questão, referente à compreensão dos diálogos do filme. A alternativa “Ótimo” teve 5% das respostas e seu valor de

normalização, segundo a Tabela 8, é 1,00, portanto seu valor normalizado será de 0,05. Repetindo esse procedimento para as demais alternativas, foram obtidos os valores de 0,29 – “Bom”, 0,14 – “Regular”, 0,05 – “Ruim” e 0,00 – “Péssimo”. A soma desses valores resulta no chamado *Escore* Parcial, e possui o valor de 0,53. Por fim, nota do item A da primeira questão da avaliação dos usuários é de 0,53.

O valor do *Escore Global* representa nota do usuário em relação à edificação, o qual abrange todas as questões através da média dos *Escores Parciais*. Através do valor do escore encontrado, a satisfação do usuário pode ser classificada em uma escala normatizada, apresentada na tabela 9 – Escala para classificação da satisfação do usuário.

Tabela 9 - Escala para classificação da satisfação do usuário

Nível de Satisfação	
Satisfeitos	1,00
Quase Satisfeitos	0,75
Regular	0,50
Quase Insatisfeitos	0,25
Insatisfeitos	0,00

A Tabela 10 apresenta os resultados para o *Escore Parcial* de cada questão e o *Escore Global* da edificação. Uma primeira avaliação dos *Escores Parciais* nos indica a quase satisfação dos usuários quanto à sensação térmica da sala (levantada através da questão 2), com valor de 0,78, classificado como “Quase Satisfeito”. Os valores obtidos para a questão 4 nos indica que os usuários classificaram positivamente as instalações do cinema, podendo-se considerar o nível de satisfação também em “Quase Satisfeitos”, com valor de escore de 0,69. Quanto à visibilidade da tela, abordada pela questão 3, e às questões acústicas da sala, levantadas através dos itens da questão 1, os usuários demonstraram um índice de satisfação “Regular”, representados pelos valores de escore de 0,56 e 0,47, respectivamente. Vale destacar que a acústica da sala recebeu a menor nota, o que indica deficiência perceptível aos usuários. Por fim, o escore de avaliação da edificação, *Escore Global*, foi de 0,60. Este valor não pode ser considerado baixo, uma vez que varia em uma escala de 0,00 a 1,00. Classificando o *Escore Global* de acordo com a Tabela 9, o edifício apresenta nível de satisfação entre “Regular” e “Quase Satisfeitos”, o que significa que alguns aspectos ainda podem ser melhorados.

Tabela 10 - Resultado para a avaliação do usuário

Respostas Normalizadas					
1 - Acústica					
(a) Inteligibilidade		(b) Tempo de reverberação		(c) Uniformidade sonora	
Ótimo	0,05	Perceptível	0,00	Ótimo	0,03
Bom	0,29	Pouco Perceptível	0,10	Bom	0,15
Regular	0,14	Regular	0,13	Regular	0,23
Ruim	0,05	Quase Imperceptível	0,19	Ruim	0,06
Péssimo	0,00	Imperceptível	0,00	Péssimo	0,00
Escore Parcial	0,53	***Escore Parcial***	0,41	***Escore Parcial***	0,46
***Escore Parcial* - Questão 1**			0,47		
2 - Conforto Térmico			3 - Visibilidade da tela		
Fria		0,00	Ótimo		0,13
Quase Fria		0,08	Bom		0,26
Confortável		0,63	Regular		0,12
Quase Quente		0,08	Ruim		0,05
Quente		0,00	Péssimo		0,00
Escore Parcial		0,78	***Escore Parcial***		0,56
4 - Instalações					
(a) Hall de entrada		(b) Cantina		(c) Banheiros	
Ótimo	0,23	Ótimo	0,20	Ótimo	0,18
Bom	0,30	Bom	0,29	Bom	0,41
Regular	0,14	Regular	0,19	Regular	0,10
Ruim	0,02	Ruim	0,01	Ruim	0,01
Péssimo	0,00	Péssimo	0,00	Péssimo	0,00
Escore Parcial	0,69	***Escore Parcial***	0,68	***Escore Parcial***	0,71
***Escore Parcial* - Questão 4**			0,69		

Escore Global	0,60

5.2. Avaliação Acústica

Para a avaliação acústica do edifício optou-se por avaliar o tempo de reverberação através de dois métodos: o primeiro consiste no cálculo de absorção do som através da capacidade absorvente dos materiais de superfície (método teórico -

cálculo de Sabine); já o segundo, verificar utilizando-se instrumentos específicos para avaliação do decaimento do som na sala (método prático).

5.2.1. Método teórico - Cálculo de Sabine

Em uma primeira etapa, fez-se a coleta de dados e desenhos necessários para a avaliação do edifício, junto aos responsáveis pelo cinema e através de visitas ao local. Como não foi possível obter plantas detalhadas, foram feitas medições e aproximações. Com as informações até então adquiridas e com levantamentos feitos através de visitas técnicas, foi possível dar continuidade no projeto.

Sabendo-se que a geometria do local é responsável pelos percursos que o som realiza no interior e que o tempo de reverberação está diretamente relacionado às propriedades de absorção dos materiais que compões a estrutura, executou-se o levantamento das dimensões e formas da sala, além de todos os materiais que compõem e revestem a arquitetura. Após o levantamento das dimensões do cinema, com o auxílio de um software de desenho assistido por computador, estas foram projetadas montando uma vista do cinema em 3D e, desta forma, podendo-se verificar uma melhor aproximação do volume e formato da sala. Para o cálculo do volume, o cinema foi dividido em três blocos visando uma melhor aproximação dos limites. Foram obtidos os volumes apresentados na tabela abaixo.

Tabela 11 - Volume da Sala de Projeção

Bloco	Volume [m³]
Bloco 1	90,74
Bloco 2	796,75
Bloco 3	2.325,04
Palco	20,25
Total	3.192,28

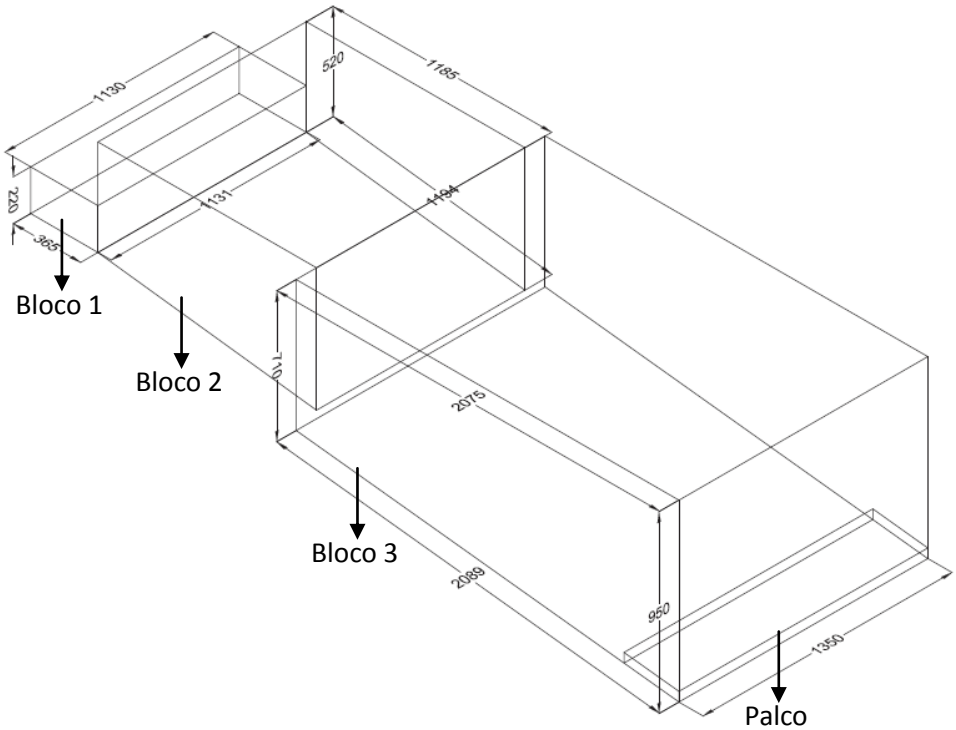


Figura 11 - Vista isométrica do cinema para verificação do volume (ver Anexos)

Abaixo serão listados os materiais levantados que compõem a superfície da sala de projeção. Mais detalhes podem ser observados na seção Anexos, onde são apresentadas imagens e plantas do cinema.

- Entrada principal através de duas portas em madeira (2,0 m de comprimento por 2,1 m de altura) que, durante a exibição, ficam cobertas por uma cortina que cobre toda a parede;
- As paredes possuem revestimento em reboco áspero, pintado em branco;
- Placas de madeira em todas as parede do Bloco 1, com altura de 1,25 m a partir do piso nas paredes do Bloco 2 e ausente no Bloco 3;
- Acima da entrada, possui um avanço da sala de projeção, localizada no segundo andar, em placas de gesso;
- Barreira de madeira separando a porta de entrada das cadeiras, com dimensão de 1,5 m de altura, 0,20 m de largura e 4,5 m de comprimento;
- Seis caixas de som e três pontos de luz em cada parede lateral, totalizando doze e seis, respectivamente;
- Painéis de madeira com 1,20 m de altura, 0,45 m de comprimento e 0,03 m de espessura, dispostos inclinados (com ajuda de apoios de 0,45x0,45 m do mesmo material), espalhados nas paredes laterais, totalizando 326 painéis;

Figura 12 - Detalhamento dos painéis de madeira dispostos nas paredes laterais e caixa de som

- Assentos em revestimento grosso, totalizando 545 poltronas;
- Revestimento do piso em taco abaixo dos assentos e carpete em todo o resto do ambiente;

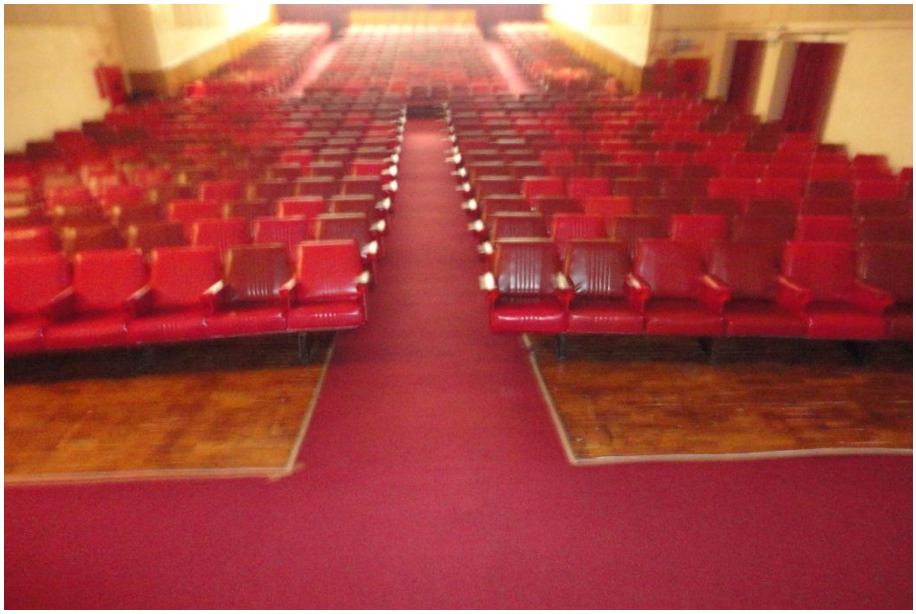


Figura 13 - Disposição do piso: taco e carpete

- Palco localizado abaixo da tela, revestido em carpete, com dimensões aproximadas de 3,0 m de largura, 13,50 de comprimento e 0,5 m de altura;

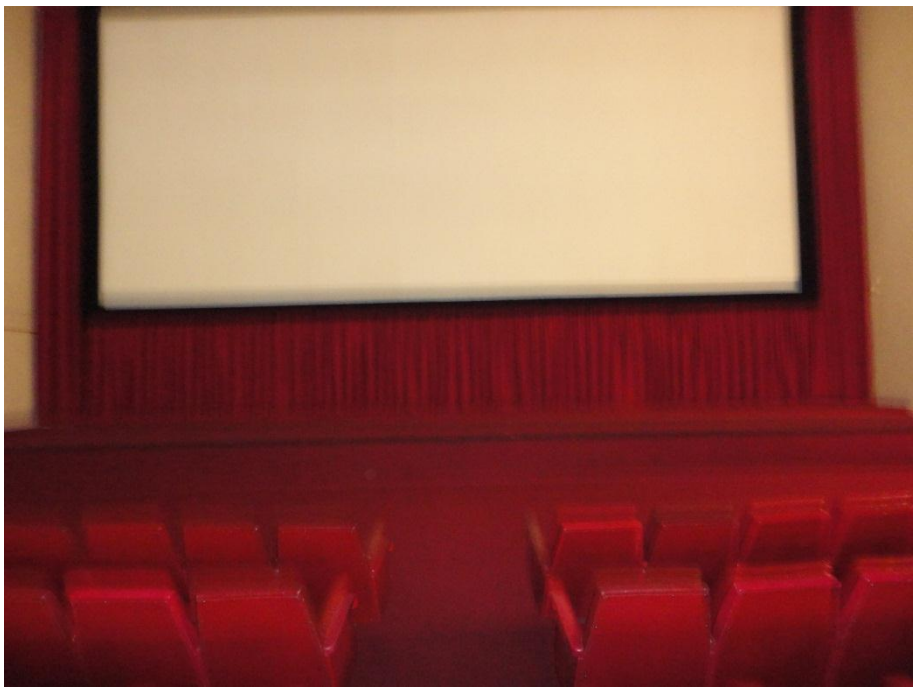


Figura 14 - Palco forrado por carpete e tela

- Vinte e quatro orifícios de ventilação;
- Forro em PVC com leve inclinação, com pé direito variando entre 5,20 m e 9,50 m;

Figura 15- Forro de PVC e saídas do ar-condicionado

- Duas portas de saída de emergência em madeira, 2,0 metros de comprimento por 2,10 m de altura, cobertas por uma cortina;
- Recesso de 1,5 m atrás da tela, limitado por cortina.

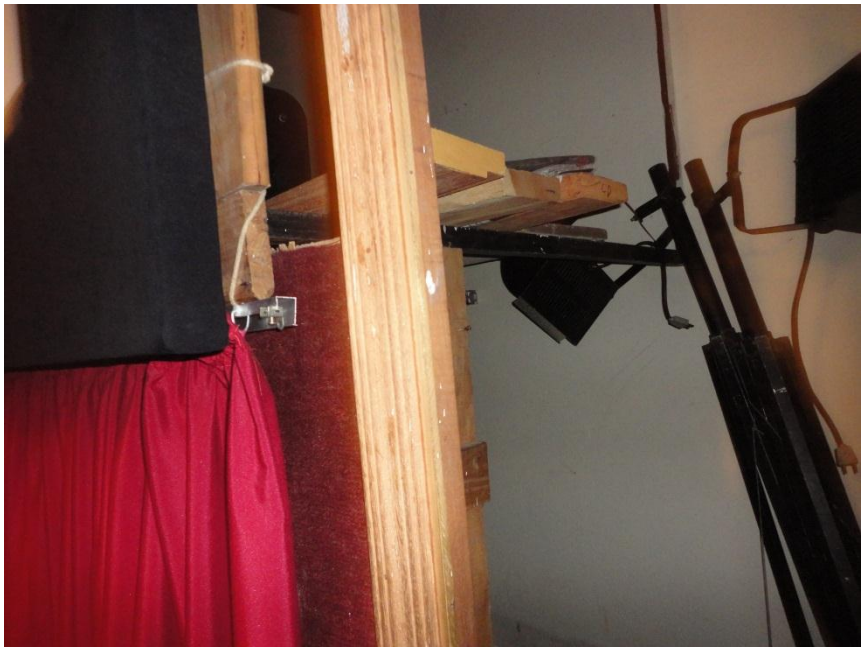


Figura 16 - Recesso atrás da tela e estrutura de apoio da tela em madeira

Nas tabelas a seguir são apresentadas as quantidades e propriedades de cada material considerado para posterior cálculo da absorção do som no local e avaliação do tempo de reverberação. Os dados estimados foram baseados através de pesquisas sobre materiais equivalentes. Esse tempo de reverberação deve ser calculado para várias frequências correspondentes ao tipo de som que será produzido no recinto.

Tabela 12 – Levantamento: Elementos isolados

Elementos Isolados					
Elemento	Quant.	Coeficiente de absorção para frequências de (Hz)			Fonte
		500	1000	2000	
Grade de ventilação 50% de seção livre	24	0,500	0,000	0,500	NBR 12179/1992
Poltronas estofadas com couro sintético	Máx: 545	0,150	0,00	0,070	NBR 12179/1992
Público misturado, sentado em poltronas de estofado grosso	Máx: 545	0,470	0,470	0,510	DE MARCO, 1982

Tabela 13 - Levantamento: Elementos de superfície

Elementos de Superfície							
Elemento	Quant.	Área (m²)	Área total (m²)	Coeficiente de absorção para frequências de (Hz)			Fonte
				500	1000	2000	
Barreira de madeira (entrada)	1	15,00	15,00	0,160	0,300	0,350	DE MARCO, 1982
Carpete simples forrado (palco)	1	47,25	47,25	0,250	0,320	0,400	DE MARCO, 1982
Carpete sobre concreto – 5 mm (piso)	1	200,43	200,43	0,150	0,290	0,520	NBR 12179/1992
Cortinas algodão – com dobra em 50% da área	1	57,08	57,08	0,490	0,810	0,660	DE MARCO, 1982
Painéis de madeira	326	0,74	242,06	0,230	0,120	0,100	NBR 12179/1992
Recesso com cortina	1	128,25	128,25	0,300	0,000	0,350	NBR 12179/1992
Revestimento em madeira	1	45,91	45,91	0,160	0,300	0,350	DE MARCO, 1982
Tela	1	60,00	60,00	0,200	0,000	0,500	NBR 12179/1992

Tabela 14 - Levantamento: Materiais de construções

Materiais de Construção Usuais							
Elemento	Quant.	Área (m²)	Área total (m²)	Coeficiente de absorção para frequências de (Hz)			Fonte
				500	1000	2000	
Forro em PVC (similar a reboco liso)	1	417,42	417,42	0,020	0,020	0,020	NBR 12179/1992
Taco colado	1	254,85	254,85	0,060	0,120	0,100	NBR 12179/1992
Placas de gesso	1	75,21	75,21	0,020	0,030	0,040	DE MARCO, 1982
Reboco fibroso	1	398,11	398,11	0,200	0,550	0,100	NBR 12179/1992

Tabela 15 - Levantamento: Portas, janelas e aberturas

Portas, Janelas e Aberturas							
Elemento	Quant.	Área (m²)	Área total (m²)	Coeficiente de absorção para frequências de (Hz)			Fonte
				500	1000	2000	
Portas: entradas principais	2	4,20	8,40	0,060	0,000	0,100	NBR 12179/1992
Portas: saídas de emergência	2	4,20	8,40	0,060	0,000	0,100	NBR 12179/1992

Tabela 16 - Levantamento: Elementos volumétricos

Elementos volumétricos				
Elemento	Volume do ambiente (m³)	Coeficiente de absorção para frequências de (Hz)		
		500	1000	2000
Ar^2	3.192,28	0,000	0,003	0,007

Uma vez levantada a quantidade dos materiais de superfície e suas características acústicas, coeficiente de absorção, é possível calcular a capacidade de absorção do som no ambiente. O coeficiente de absorção médio entre os elementos abordados é de 0,215, podendo ser classificado como baixo por ser inferior a 0,5. Nesta condição, o tempo de reverberação é calculado através da fórmula de Sabine, apresentada a seguir, onde V é o volume do recinto em m³ e A, a absorção total em Sabines.

$$t_{60} = (0.161 * V)/A$$

$$A = \sum S_i * a_i + \sum n_i * A_i + x * V$$

Onde:

S_i – superfície aparente de cada material (m²);

a_i – coeficiente de absorção de cada material;

n_i – quantidade de objetos de absorção Ai;

A_i – absorção global de cada objeto (Sabine);

x – coeficiente de absorção do ar (Sabine/m³);

V – volume do local;

Para o cálculo do tempo de reverberação, t_{60}, foi considerada três condições:

I) Sala vazia: em uma primeira hipótese, será considerada a sala totalmente vazia, ou seja, o elemento isolado “Público misturado, sentado em poltronas de estofado grosso” será definido como zero e o elemento “Poltronas estofadas com couro sintético” receberá o numero total de poltronas (545 poltronas);

II) Sala parcialmente ocupada (50%): neste caso, serão consideradas 50% das poltronas ocupadas, ou seja, o elemento isolado “Público misturado, sentado em poltronas de estofado grosso” será definido com 272 poltronas e o elemento “Poltronas estofadas com couro sintético” receberá as poltronas restantes (273 poltronas);

III) Sala ocupada: por último será considerada a sala totalmente ocupada, ou seja, o elemento isolado “Público misturado, sentado em poltronas de estofado grosso” ocupará todas as 545 poltronas, não restando poltronas vazias para o elemento “Poltronas estofadas com couro sintético”.

Os valores de absorção do som do ambiente (A, em Sabines), bem como o tempo de reverberação (t_{60}, em segundos), obtidos estão apresentados na Tabela 17 – Resultados do cálculo de absorção do som do ambiente (A) e o tempo de reverberação (t_{60}).

Tabela 17 – Resultados do cálculo de absorção do som do ambiente (A) e o tempo de reverberação (t_{60})

			Frequências (Hz)		
			500	1000	2000
Hipóteses	I	A (Sabines)	385,26	436,52	432,04
		t_{60} (s)	1,33	1,18	1,19
	II	A (Sabines)	472,62	564,83	552,16
		t_{60} (s)	1,09	0,91	0,93
	III	A (Sabines)	559,66	692,67	671,84
		t_{60} (s)	0,92	0,74	0,77

5.2.2. Método Prático - Instrumentos de medição

Em uma segunda instância, optou-se por avaliar o cinema utilizando-se equipamentos eletrônicos de análise acústica. De acordo com a NBR12238/1988 e a NBR11957/1988, deve ser utilizado um analisador gráfico de tempo real ou MNS (Medidor de Nível de Pressão Sonora), com filtro de oitavas. Nesta etapa, utilizou-se o equipamento da marca *Larson Davis,* modelo 831. Trata-se de um instrumento versátil, capaz de combinar suas características para uma análise do nível de som com alta precisão e análise do comportamento das diferentes frequências em tempo real.

Figura 17 - Equipamento utilizado para medição: *Larson Davis* - Modelo 831

Para uma medição com melhor precisão, utilizando-se um calibrador de 114dB, a primeira etapa consistiu na calibração do aparelho. Após a calibração, configurou-se o aparelho para fazer três medições de decaimento em cada ponto levantado, a fim de levantar um maior número de dados para uma análise consistente de avaliação das frequências estudadas. O comprimento de banda optado (filtro de oitava) foi de 1/1 oitavas, com ruído externo em método interrupto. O ruído foi executado pelas caixas de som próprias do cinema e foi optado pelo ruído rosa, caracterizado por manter a potência (energia) igual entre todas as oitavas sonoras e decaimento de 3 dB por oitava. Os procedimentos foram orientados pelas normas em questão, estando a sala sem público, todos os equipamentos que possam produzir ruídos dentro da sala de projeção em funcionamento e altura do aparelho a 1,20 m de altura em relação ao piso. Optou-se por três pontos para levantamento dos dados: situados no eixo central da sala, um entre o palco e a primeira fileira (caso I), outro no centro da sala (caso II) e o último a dois terços do comprimento entre a primeira e a última fileira (caso III). Para a avaliação do tempo de reverberação, a gravação do decaimento foi avaliada numa faixa de aproximadamente 20 dB, devido ao baixo volume obtido pela caixa de som em relação ao grande volume da sala de projeção.

A execução da medição acompanhou a NBR12238/1988.

i. Critério de isolamento de ruídos:
   - Parâmetros: Níveis de ruídos ambientes abaixo de 40 dB;
   - Resultados: Quanto ao nível de ruído, foi encontrada a média de 46,3 dB para os três casos estudados, representando um valor de aproximadamente 16% acima do parâmetro exigido;

ii. Perda de transmissão de ruídos entre salas adjacentes
   - Não executado, pois o cinema possui apenas uma sala;

iii. Volume sonoro:
   - Parâmetros: Nível sonoro entre 80 dB e 85 dB;
   - Resultados: Nesta etapa, foram encontrados os valores 71,4 dB para os casos I e II e 73,8 dB para o caso III. Em ambos os casos foram encontrados resultados inferiores ao estabelecido pelo parâmetro. Tal diferença ocorre devido à insuficiência das caixas de som diante as grandes dimensões do cinema;

iv. Tempo de reverberação da sala:
   - Parâmetros: Os parâmetros obedecem à NBR12179/1992, NBR11957/1988 e bibliografias consultadas;
   - Resultados: A partir dos dados analisados pelo instrumento de medição utilizado, foram gerados, com auxílio de planilhas eletrônicas, os gráficos apresentados nas figuras a seguir, os quais apresentam as curvas de decaimento encontradas nos diferentes pontos levantados. O tempo de reverberação é obtido graficamente avaliando-se as curvas de decaimento e representa o ponto onde o decaimento tende a ficar horizontalmente constante. Os valores obtidos nesta etapa estão apresentados na Tabela 18 - Tempo de reverberação (t_{60}).

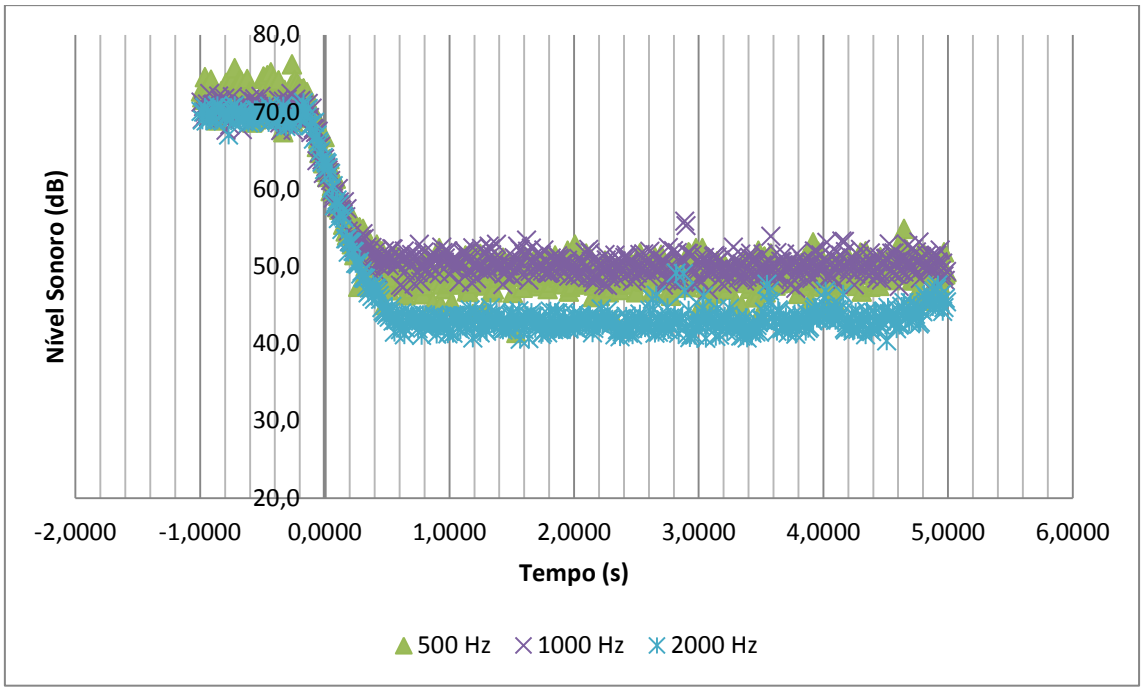


Figura 18 - Gráfico de decaimento do caso I

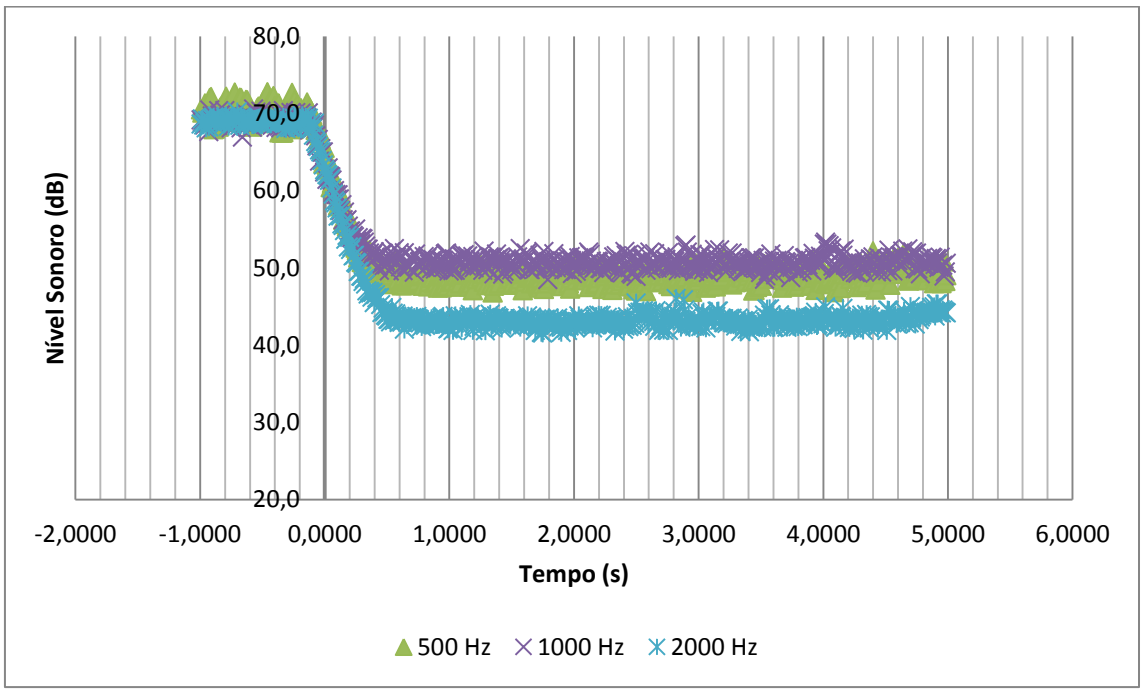


Figura 19 - Gráfico de decaimento do caso II

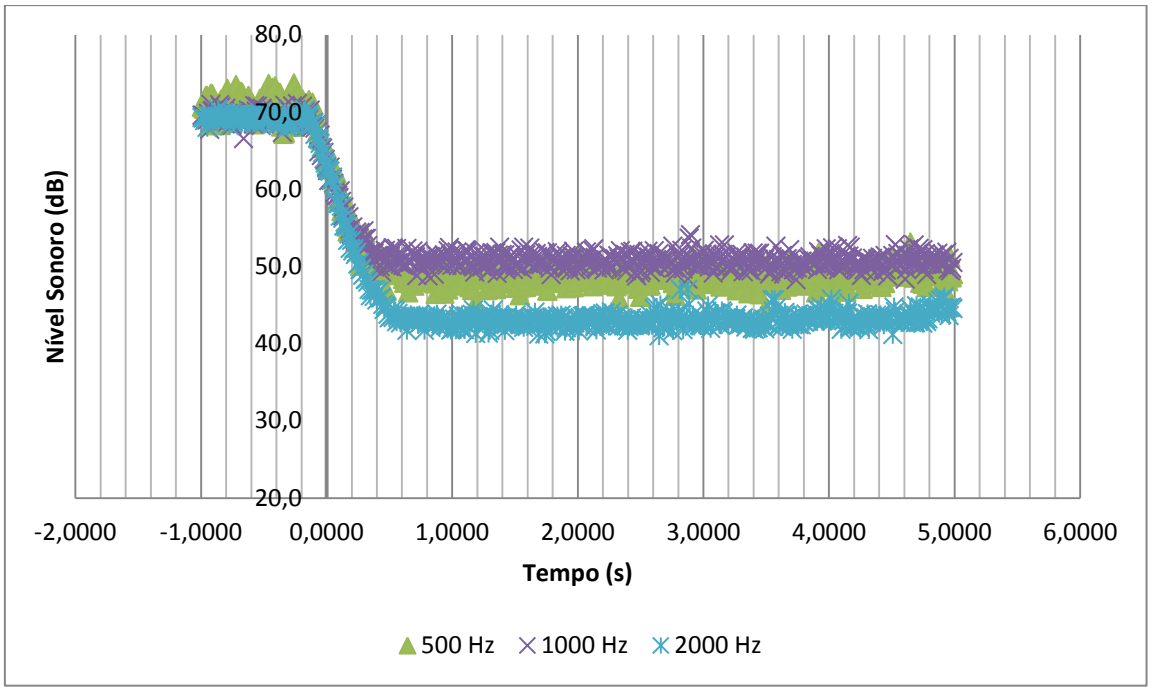


Figura 20 - Gráfico de decaimento do caso III

Tabela 18 - Tempo de reverberação (t_{60}) através do método prático

			Frequências (Hz)		
			500	1000	2000
Caso	I	t_{60}(s)	0,82	0,58	0,66
	II	t_{60}(s)	0,69	0,74	0,77
	III	t_{60}(s)	0,68	0,69	0,63
Média (s)			0,73	0,67	0,69

5.2.3. <u>Comparação entre os métodos teórico e prático e ajustes</u>

Visando comparar os dois métodos de cálculo do tempo de reverberação abordados neste trabalho, a Tabela 19 apresenta os valores encontrados para a situação de sala vazia, situação estudada para os dois casos.

Tabela 19 – Resultados obtidos para o tempo de reverberação (t_{60})

Método	Frequência (Hz)		
	500	1000	2000
Teórico - t_{60} (s)	1,33	1,18	1,19
Prático - t_{60} (s)	0,73	0,67	0,69

A partir dos valores apresentados na tabela anterior, podemos observar que houve divergências entre os resultados obtidos pelo método prático e teórico. Esta divergência ocorre devido aos erros cometidos durante a execução dos dois processos. No método teórico, como não foi possível a obtenção das informações quanto à origem e especificações dos materiais utilizados na construção, os erros podem se concentrar nas aproximações dos levantamentos e dos coeficientes de absorção adotados, já que estes foram baseados em observações e pesquisas bibliográficas. Já no método prático, além da falta de experiência com os procedimentos e utilização do aparelho, neste trabalho, as medições foram feitas com situações adversas, como volume do ruído abaixo do ideal e com a porta da sala aberta acompanhado da entrada de pessoas, uma vez que o cinema não disponibilizou horário para as medições. Neste contexto, foi considerado como tempo de reverberação para as próximas etapas do trabalho o valor obtido através do método prático, o qual também condiz com a percepção de eco respondida pelos usuários através do item b da primeira questão do Questionário de Avaliação do Usuário aplicado.

5.2.4. Comparação entre o tempo de reverberação medido e o ideal

O tempo de reverberação resultante no recinto deve ser comparado com um tempo de reverberação ideal. Como levantado na etapa de revisão bibliográfica, este valor está compreendido entre 0,8 e 1,2 segundos e pode ser obtido através de gráficos que relacionam o tempo de reverberação com o volume do ambiente (ver Figura 7 e Figura 8). Para a sala estudada, com volume de 3.192,28 m³, o valor ideal do tempo de reverberação de acordo com os gráficos propostos por DE MARCO (1982), Figura 21, e NBR12179/1992, Figura 22, devem ser de 1,1 e 0,96 segundos, respectivamente. A partir destes dados, adotaremos como tempo de reverberação ótimo o valor intermediário de 1,05 segundos.

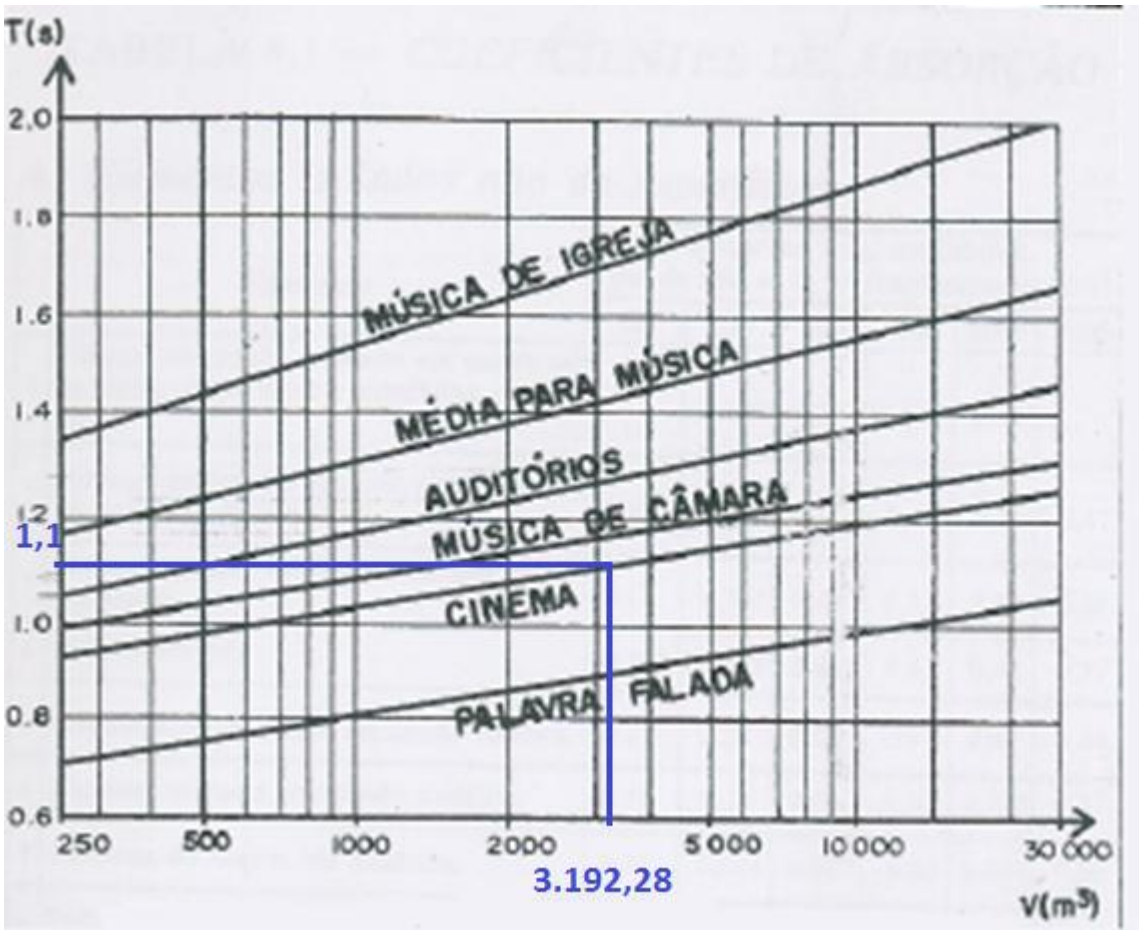


Figura 21 – Tempo ótimo de reverberação: DE MARCO, 1982.

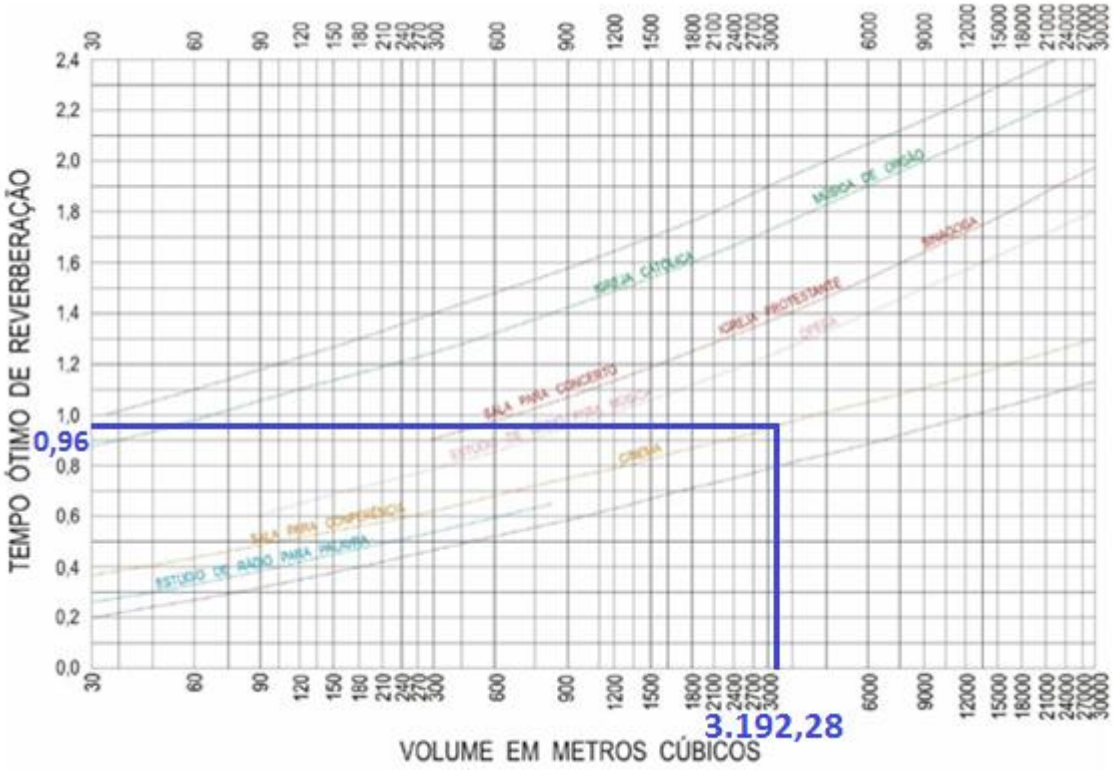


Figura 22 - Tempo ótimo de reverberação: NBR12179/1992.

A análise dos resultados obtidos indica que as frequências possuem tempo de reverberação superior ao ideal. Há, portanto, a necessidade de redução do tempo de reverberação, obtido através da aplicação de materiais absorventes que aumentam a absorção global da sala.

5.3. Avaliação Térmica

Para a análise térmica, foi utilizada a planilha de cálculo Fachada 2.1, desenvolvida pelo LABAUT, Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética do Departamento de Tecnologia da FAU-USP, capaz de estimar a temperatura do ar interior sem condicionamento artificial, as condições de conforto interno dos ambientes e o consumo de energia elétrica pelo sistema de ar condicionado.

Os dados de entrada estão listados abaixo e foram baseados na NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações e em levantamentos e aproximações.

i. Dimensões do ambiente:

- Como a planilha aceita apenas paredes retangulares como dados de entrada, foi elaborada uma sala-tipo visando uniformizar as paredes em retângulos, mantendo-se o mesmo volume e área de incidência solar na cobertura, uma vez que as paredes laterais são do tipo interna (sem incidência solar). A área encontrada para a cobertura e o volume interno da sala-tipo é de, respectivamente, 414,03 m² e 3.192,261 m³. Para estes valores, a sala-tipo possui comprimento da fachada de 12,70 m, comprimento da sala de 32,60 m e altura do pé direito de 7,70 m (detalhes da sala tipo podem ser observados na seção Anexos);

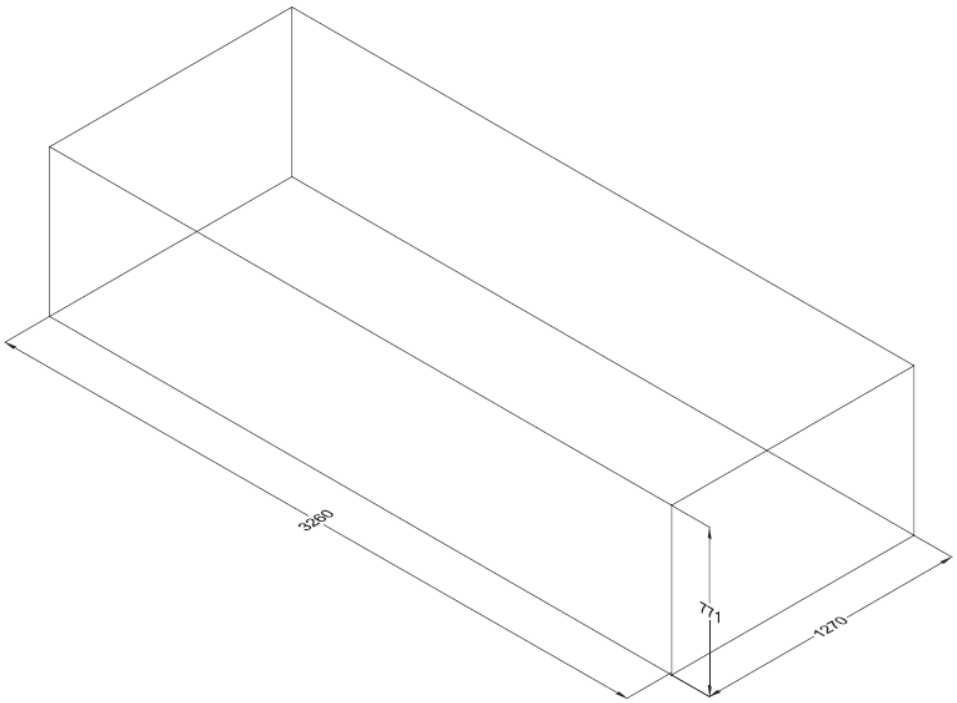


Figura 23 - Vista isométrica da sala-tipo retangular

ii. Orientação da fachada voltada para o norte, correspondendo um azimute de 0°;

iii. A exposição das paredes, como tratada no primeiro item, é de exposição interna (sem exposição solar), com exceção da cobertura que apresenta exposição;

iv. Para as paredes internas foi adotada a absortância de 25%, referente à cor branca, enquanto que para a cobertura, foi adotada a cor marrom, com absortância de 85%;

v. A transmitância térmica, U (W/m².°C), foi retirada da Tabela C.2, Anexo C, da NBR 15220/2003, para paredes de vedação externa do tipo pesadas, 2,20W/m².°C, e cobertura do tipo pesada, 2,00 W/m².°C;

vi. De acordo com Frota e Schiffer (2001), a inércia do recinto é classificada segundo o valor da relação superfície equivalente pesada/área do piso do local, devendo-se ainda considerar que as paredes são enterradas. Neste contexto, foi adotado o valor de entrada 0,8, correspondendo à inércia média de construção;

vii. Considerando exibição diária de três filmes de 120 minutos, o sistema de condicionamento de ar permanecerá em funcionamento por aproximadamente 6 horas por dia, 30 dias por mês;

viii. Como se trata de uma sala opaca, a qual será ausente de iluminação artificial, e totalmente isenta de aberturas, consideraremos um valor

representativo de 5W/m² para a potência do sistema de iluminação artificial instalado de modo a representar a projeção e a iluminação de emergência presente nas escadas e taxa de renovação de ar sem ar condicionado de 0 vol/h;

ix. Com base na NBR 6401, a taxa de ventilação mínima exigida para auditórios é de 10 m³/h pes;

x. Como condição de conforto dos usuários no ambiente, consideraremos:

- Temperatura do ambiente: 21°C;
- Umidade relativa: 45%;
- Velocidade do ar interior: 0.15 m/s;
- Vestimenta dos usuários: leve verão.

A partir dos dados apresentados e com auxílio do programa Fachadas 2.1, foram obtidos os seguintes valores quanto à situação térmica da sala:

- Temperatura interna sem condicionamento artificial seria: 32,8°C;
- Sistema de Ar Condicionado: 536.288 BTU/h;
- Consumo de energia: 21,4 kW/h/mês/m²;

O valor de 498.440 BTU/h equivale a aproximadamente 41,5 TR e, de acordo com os valores levantados nas referências bibliográficas, o sistema a ser adotado é o *Chiller – Fan Coil*. A partir das respostas geradas, o programa ainda estipula a probabilidade de usuários satisfeitos antes e após a introdução do sistema de condicionamento de ar dimensionado, ilustrados através dos gráficos apresentados, respectivamente, na Figura 24 e Figura 25.

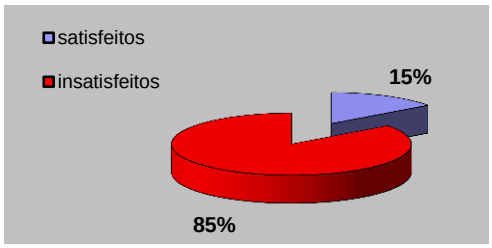


Figura 24 - Probabilidade de usuários satisfeitos:
sem condicionamento artificial de ar

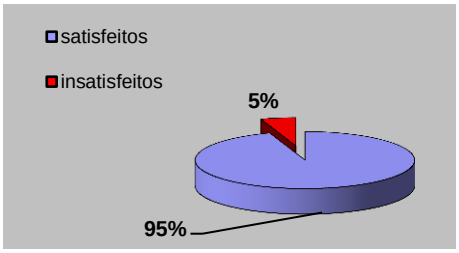


Figura 25 - Probabilidade de usuários satisfeitos:
com condicionamento artificial de ar

.

5.4. Estratégias para melhoria da acústica

Neste capítulo, os problemas voltados à acústica serão analisados e diagnosticados, com vista à identificação de ações que possam melhorar a percepção acústica e, consequentemente, a avaliação global de satisfação do usuário.

A partir dos resultados gerados pelas análises acústicas aplicadas neste trabalho, acompanhado pelos parâmetros ideais de comparação obtidos através de normas e referências bibliográficas, foi possível avaliar as falhas acústicas da edificação de modo a propor soluções.

i. Critério de isolamento de ruídos:

O levantamento de ruídos da sala, a partir da execução do método prático de avaliação acústica, apresentou que o nível de ruído presente na sala vazia é superior ao parâmetro de referência em, aproximadamente, 16%. Visitas à sala permitiram diagnosticar a natureza do ruído como proveniente do sistema de condicionamento de ar. Porém, não foi possível identificar se este é oriundo da câmara de refrigeração, localizada ao lado da sala de projeção, ou à movimentação do ar refrigerado através dos dutos de distribuição distribuídos acima do forro de PVC, o qual apresenta baixo coeficiente de absorção (0,02 para a frequência de 500 Hz).

ii. Volume sonoro:

A partir do método prático, também foi possível avaliar as condições de volume sonoro presente na sala. A primeira observação nos indica que o volume sonoro não é constante ao longo da sala: 71,4 dB para os pontos entre o palco e a primeira fileira (Caso I) e para o centro da sala (Caso II), contra 73,8 dB para o ponto localizado a dois terços do comprimento entre a primeira e a última fileira (Caso III). A descontinuidade do volume sonoro pode ser desconsiderada uma vez que a relação entre os valores obtidos é inferior a 3%.

Uma segunda análise mostrou que o nível sonoro encontrado está abaixo do ideal, parâmetro estabelecido por norma (entre 80 dB e 85 dB). Para este caso, a estratégia deve ser voltada ao sistema de áudio presente no cinema, devendo ser revisada a potência do mesmo em relação às dimensões da sala.

iii. Tempo de reverberação da sala:

Para o diagnóstico do tempo de reverberação, foram tomados os resultados obtidos através do cálculo de Sabine (método teórico), apresentados na Tabela 20 – Tempo de Reverberação (T60) calculado e ideal, junto ao tempo de reverberação ideal adotado de 1,05 s. Constatou-se que, para a sala vazia, estes estão acima do tempo ideal, sendo necessário avaliar a quantidade de material absorvente a ser inserido no ambiente visando aumentar a absorção global e, consequentemente, reduzir o tempo de reverberação da sala.

Tabela 20 – Tempo de Reverberação (T_{60}) calculado e ideal

		Frequência (Hz)		
		500	1000	2000
Calculado	t_{60} (s)	1,33	1,18	1,19
Ideal	t_{60} (s)	1,05	1,05	1,05
Variação	t_{60} (s)	0,28	0,13	0,14

Através da equação de Sabine, foram avaliados os impactos decorrentes da introdução de novos materiais de revestimento para obtenção do tempo de reverberação ideal para a sala vazia. Nesta etapa, o trabalho baseou-se em estudo de casos: definido o novo material a ser empregado na edificação e seu coeficiente de absorção, foram calculados os novos tempos de reverberação para as frequências estudadas e verificados os impactos gerados. O critério de escolha dos materiais para esta etapa será baseado em sua característica de absorção. Através da Tabela 20, podemos notar que há a necessidade de vencer uma maior variação do tempo de reverberação para a frequência de 500 Hz, portanto os materiais escolhidos terão maior coeficiente de absorção para tal frequência. As informações acústicas dos materiais estudados foram obtidas através do programa Banco de Dados de Características Acústicas, desenvolvido pela FAUUSP.

- Após análise dos materiais presentes na sala, a primeira providência tomada foi a substituição do forro de PVC, o qual apresentou baixo coeficiente de absorção, por materiais porosos com maior

coeficiente de absorção. A Tabela 21 apresenta os materiais estudados, suas características de absorção e o novo tempo de reverberação do cinema quando estes são aplicados A partir dos resultados apresentados na tabela, adotaremos para as próximas etapas os materiais que apresentaram tempo de reverberação próximo ou superior ao parâmetro adotado de 1,05 s.

Apenas a substituição do material do forro foi suficiente para alcançar o tempo de reverberação ideal, atingindo uma nova característica acústica para a sala. Porém, este método também permite avaliar o impacto na alteração de dois ou mais materiais simultaneamente.

Para finalizar a verificação do tempo de reverberação, é importante avaliar o comportamento da nova situação da sala em funcionamento, ou seja, com ocupação. Para isto serão considerados dois casos: o primeiro caso considera a sala parcialmente ocupada, considerando 50% das poltronas ocupadas (o elemento isolado “Público misturado, sentado em poltronas simplesmente estofadas” será definido com 272 poltronas, enquanto o elemento “Poltronas estofadas com couro” receberá as 273 poltronas restantes); já o segundo caso considera a sala totalmente ocupa, ou seja, 100% das poltronas ocupadas (o elemento isolado “Público misturado, sentado em poltronas de estofado grosso” ocupará todas as 545 poltronas, não restando poltronas vazias para o elemento “Poltronas estofadas com couro sintético”). Os resultados obtidos para esta avaliação são apresentados na Tabela 22, junto com o tempo ideal para comparação.

A Tabela 22 ilustra a importante influência dos usuários para a absorção acústica da sala. Deste modo, vale considerar no dimensionamento das salas vazias tempo de reverberação superior ao ideal, fazendo com que este se aproxime do ideal após a ocupação. Nesse contexto, o material mais próximo foi “Chapa papelão gesso (9,5 mm) sem furo com 50 mm de lã mineral”.

Tabela 21 - Avaliação do tempo de reverberação (t_{60}) após substituição do forro para sala vazia

Material	Coeficiente de absorção			Tempo de Reverberação (t_{60} - s)					
	Frequência (Hz)			Frequência (Hz)					
	500	1000	2000	500	Calculado / Ideal	1000	Calculado / Ideal	2000	Calculado / Ideal
Chapa papelão gesso (9,5 mm) sem furo com 50 mm de lã mineral	0,08	0,07	0,06	1,25	19%	1,12	7%	1,15	9%
Placas gesso sobre câmara de ar	0,10	0,05	0,04	1,23	17%	1,14	9%	1,17	11%
Tabuas de madeira (16 mm)	0,10	0,09	0,08	1,23	17%	1,10	5%	1,12	7%
Placas pintadas com câmara de fibras prensadas	0,15	0,12	0,10	1,17	11%	1,07	2%	1,10	5%
Painel rígido de 3,1 mm sobre câmara de ar com filtro de betume prensado	0,25	0,15	0,10	1,07	2%	1,05	0%	1,10	5%
Placas com câmaras de fibra prensadas	0,30	0,00	0,30	1,02	-3%	1,20	14%	0,94	-11%
Cortiça em placa de 25 mm de câmara de ar	0,40	0,25	0,34	0,94	-10%	0,97	-8%	0,91	-13%

Tabela 22 - Avaliação do tempo de reverberação (t_{60}) após substituição do forro para sala ocupada

Caso	Material	Coeficiente de absorção			Tempo de Reverberação (t60 - s)					
		Frequência (Hz)			Frequência (Hz)					
		500	1000	2000	500	Calculado / Ideal	1000	Calculado / Ideal	2000	Calculado / Ideal
50%	Chapa papelão gesso (9,5 mm) sem furo com 50 mm de lã mineral	0,08	0,07	0,06	1,03	-2%	0,88	-16%	0,90	-14%
	Placas gesso sobre câmara de ar	0,10	0,05	0,04	1,02	-3%	0,90	-14%	0,92	-12%
	Tabuas de madeira (16 mm)	0,10	0,09	0,08	1,02	-3%	0,87	-17%	0,89	-15%
	Placas pintadas com câmara de fibras prensadas	0,15	0,12	0,10	0,98	-7%	0,85	-19%	0,88	-16%
	Painel rígido de 3,1 mm sobre câmara de ar com filtro de betume prensado	0,25	0,15	0,10	0,90	-14%	0,83	-21%	0,88	-16%
100%	Chapa papelão gesso (9,5 mm) sem furo com 50 mm de lã mineral	0,08	0,07	0,06	0,88	-16%	0,72	-31%	0,75	-29%
	Placas gesso sobre câmara de ar	0,10	0,05	0,04	0,87	-17%	0,73	-30%	0,76	-28%
	Tabuas de madeira (16 mm)	0,10	0,09	0,08	0,87	-17%	0,72	-31%	0,74	-30%
	Placas pintadas com câmara de fibras prensadas	0,15	0,12	0,10	0,84	-20%	0,70	-33%	0,73	-30%
	Painel rígido de 3,1 mm sobre câmara de ar com filtro de betume prensado	0,25	0,15	0,10	0,79	-25%	0,69	-34%	0,73	-30%

6. Conclusões

Com o objetivo de avaliar as condições atuais de uma edificação de cinema já existente com relação ao conforto acústico e ao desempenho termo-energético, este trabalho apresenta um estudo de caso visando esses aspectos. O elemento de estudo foi o cinema municipal Cine São Carlos, localizado na cidade de São Carlos – SP.

Em uma primeira etapa, foi executado o levantamento teórico sobre o tema, de modo a compreender a importância da acústica e da eficiência energética em ambientes fechados e adquirir conhecimentos para analisar, de forma crítica, projetos do gênero.

Junto ao aprendizado, ocorreu a coleta de dados e desenhos necessários para a avaliação do edifício, junto aos responsáveis pelo cinema e através de visitas ao local, dando procedimento à segunda etapa do projeto. Nesta etapa, também foi feito um levantamento de todos os materiais de revestimento e objetos internos, para se efetuar o cálculo do tempo de reverberação, bem como foi obtido o resultado do questionário de satisfação do usuário quanto ao conforto acústico e térmico. Nesta etapa surgiu a dificuldade do projeto, onde muitas informações não puderam ser obtidas decorrentes da falta de material, porém, através de estudos e levantamentos, foi possível obter dados para continuação do trabalho.

A avaliação do edifício inicia-se com a avaliação dos usuários, obtida através do questionário aplicado. Inicialmente foi observado que, dentre os assuntos abordados pelo questionário, os usuários apresentaram satisfação para as instalações da edificação e insatisfação para as questões acústicas. Além disto, em uma escala normalizada entre 0,00 e 1,00, a nota do usuário à funcionalidade geral do edifício, *Escore Global,* seria de 0,60. Esse valor de avaliação não pode ser considerado baixo, uma vez que varia em uma escala de 0,00 a 1,00. De acordo com a classificação aqui elaborada, de acordo com os usuários, o cinema encontra-se entre os níveis de satisfação “Regular” e “Quase Satisfeito”, o que significa que alguns aspectos ainda podem ser melhorados.

Após a avaliação dos usuários, partiu-se para a análise acústica através de dois métodos: Método Teórico (Cálculo de *Sabine*) e Método Prático. O valor adotado para o tempo de reverberação ideal, com base na revisão bibliográfica, foi de 1,05s.

A primeira análise do tempo de reverberação ocorreu utilizando-se a equação de Sabine. Foi observada que, na condição de sala vazia, os valores encontrados estavam acima do tempo de reverberação ideal, enquanto que para a sala ocupada estes ficaram abaixo.

A segunda análise acústica, utilizando-se equipamentos de medição acústica (Método Prático), foi subdividia em quatro itens de acordo com a norma

NBR12238/1988. O estudo do primeiro item, Critérios de Isolamento, apontou 16% de ruído acima do parâmetro exigido pela norma, oriundo do sistema de condicionamento de ar. O segundo item, Perda de Transmissão de Ruídos entre Salas Adjacentes, foi descartado, uma vez que o cinema é composto por apenas uma sala. Já a análise do terceiro, Volume Sonoro, resultou em valores inferiores ao estabelecido como parâmetro, 80 a 85 dB, devido à insuficiência do sistema de som diante as grandes dimensões do cinema. Por fim, Tempo de Reverberação da sala, mostrou que o tempo de reverberação para as frequências estudadas é inferior ao parâmetro estabelecido (1,05s). Vale ressaltar que, quando o valor obtido para o tempo de reverberação é menor que o parâmetro adotado, os sons podem se sobrepor, complicando a precisão e compreensão do mesmo.

Tabela 23 - Resultados obtidos para o tempo de reverberação, t_{60}, em segundos

Método	Ocupação	Frequência (Hz)		
		500	1000	2000
Teórico	0%	1,33	1,18	1,19
	50%	1,09	0,91	0,93
	100%	0,92	0,74	0,77
Prático	0%	0,73	0,67	0,69
Ideal	-	1,05		

Todos os levantamentos efetuados quanto à acústica do edifício mostraram que é necessária uma intervenção visando melhorias. Para isso, como a medição do tempo de reverberação através do método prático ocorreu em condições adversas, foram adotados, para fins de diagnóstico, os valores encontrados pelo método teórico. Uma vez identificados os estados críticos responsáveis pela deficiência acústica da edificação, foram sugeridas ações que pudessem melhorar as questões acústicas da edificação e, consequentemente, a satisfação do usuário. Estas ações contam, sobretudo, com modificações desde o sistema de áudio ao acabamento e complemento da estrutura da edificação:

- Ampliação do sistema de áudio para que se atinja o volume sonoro mínimo apontado por norma;
- Substituição do material do forro, visando redução do tempo de reverberação e possível isolamento dos dutos de condicionamento de ar, podendo-se obter menos ruído dentro da sala.

A última etapa de avaliação do edifício consistiu na análise térmica e desempenho termo-energético. Nesta etapa, foi utilizado como ferramenta de auxílio o programa Fachada 2.1, desenvolvida pelo LABAUT. Através de levantamentos,

estimativas e estudo de normas, foram definidos os dados de entrada e, a partir destes, foi dimensionado um sistema de Ar Condicionado de 536.288 BTU/h com consumo mensal de energia de 21,4 kW/h/m². Para este consumo, o sistema a ser implantado deve ser o *Chiller – Fan Coil.* Como não foi possível obter informações referentes ao sistema de condicionamento de ar atual da edificação, não foi possível efetuar comparações e avaliar impactos decorrentes da substituição do mesmo.

A principal dificuldade do desenvolvimento deste trabalho foi a obtenção de dados relevantes sobre como o edifício foi construído (e/ou reformado, ao longo do tempo), para que ocorresse uma melhor realização do seu diagnóstico. Essa dificuldade se dá por não haver fontes disponíveis - uma vez que a estrutura é antiga - e por dificuldade de acesso às mesmas.

7. Anexos

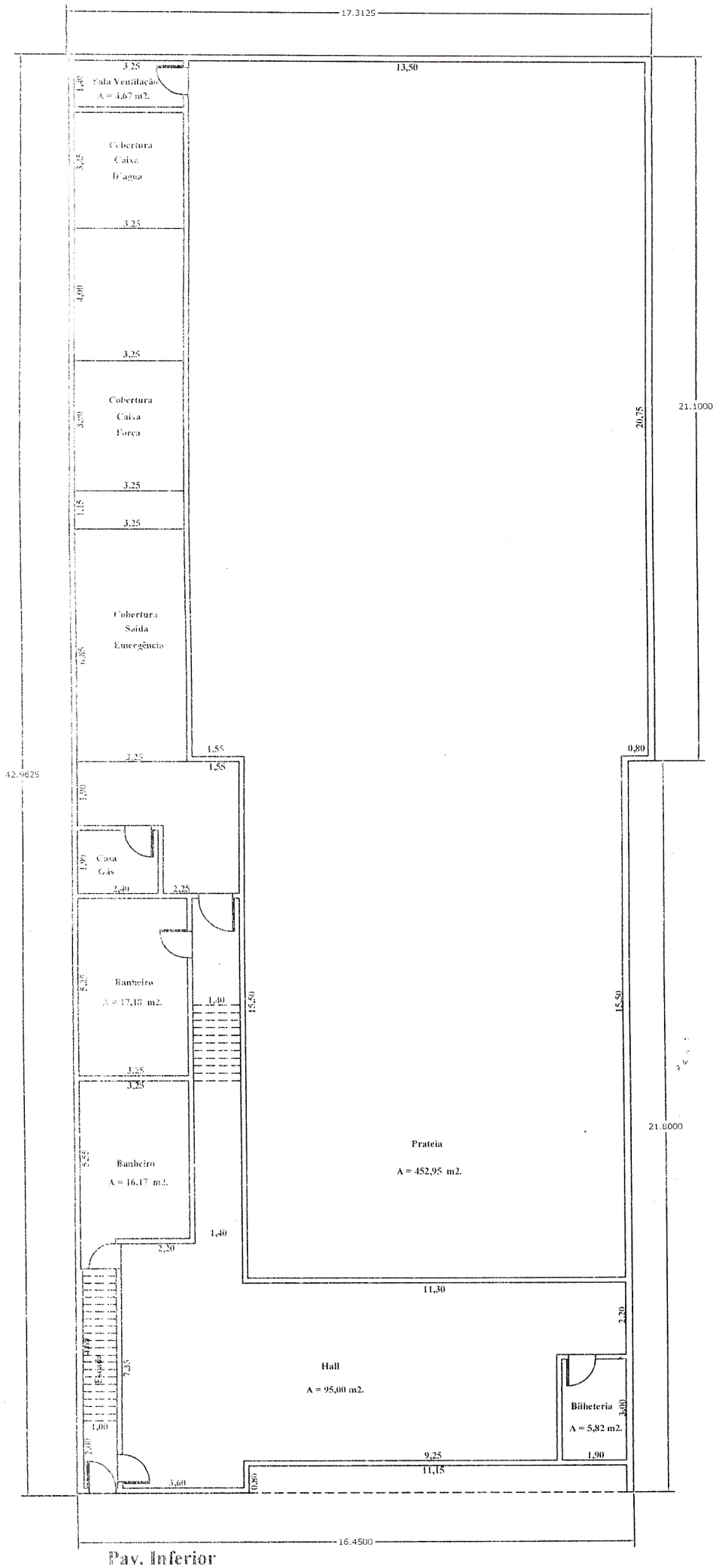
Figura 26 - Vista noturna do Cine São Carlos

Figura 27 - Registro da fachada do Cine São Carlos

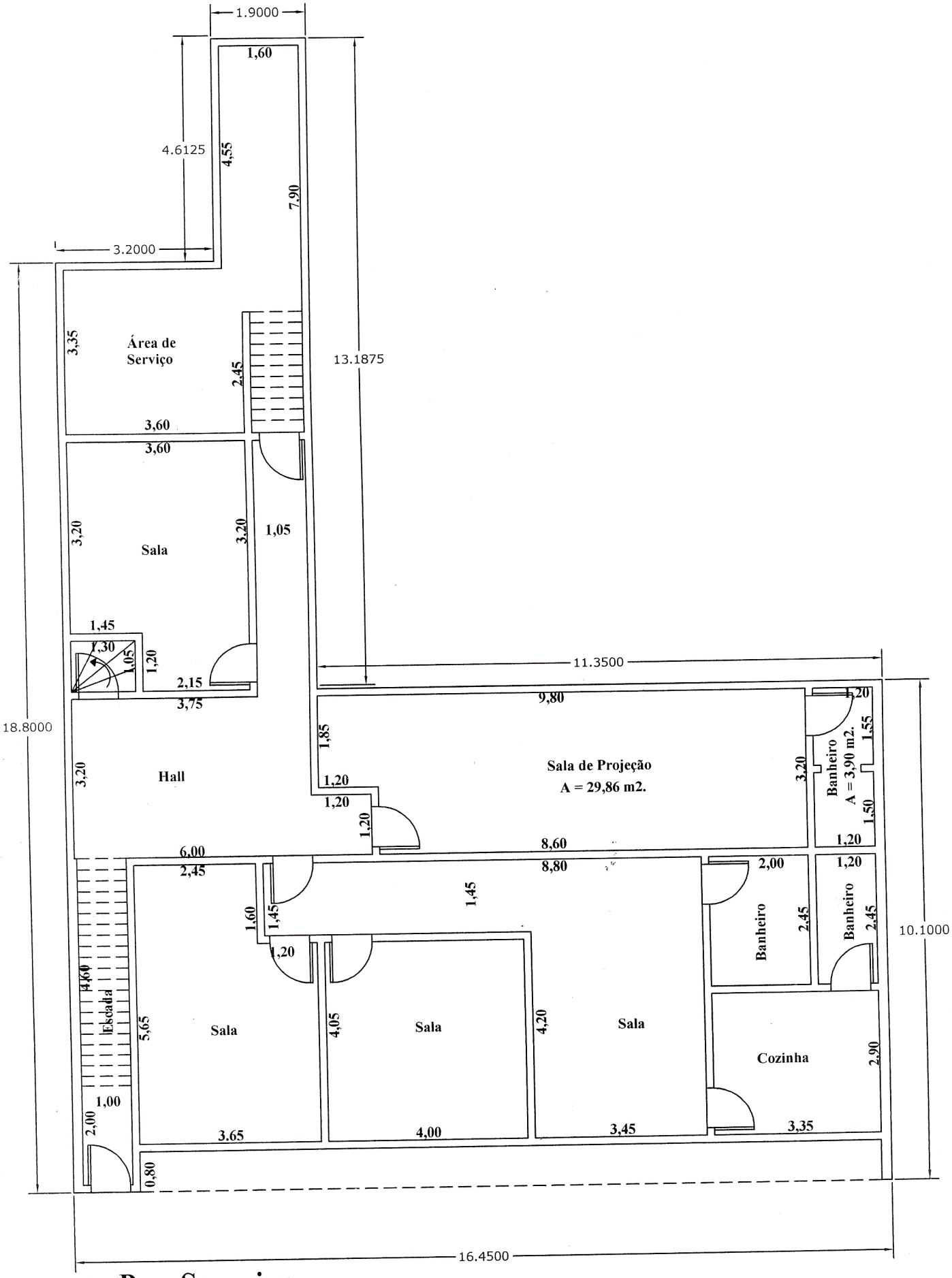
Figura 28 - Entrada e bilheteria do Cine São Carlos em operação

Figura 29 - Registro do interior do Cine São Carlos

Figura 30 - Interior do Cine São Carlos em operação

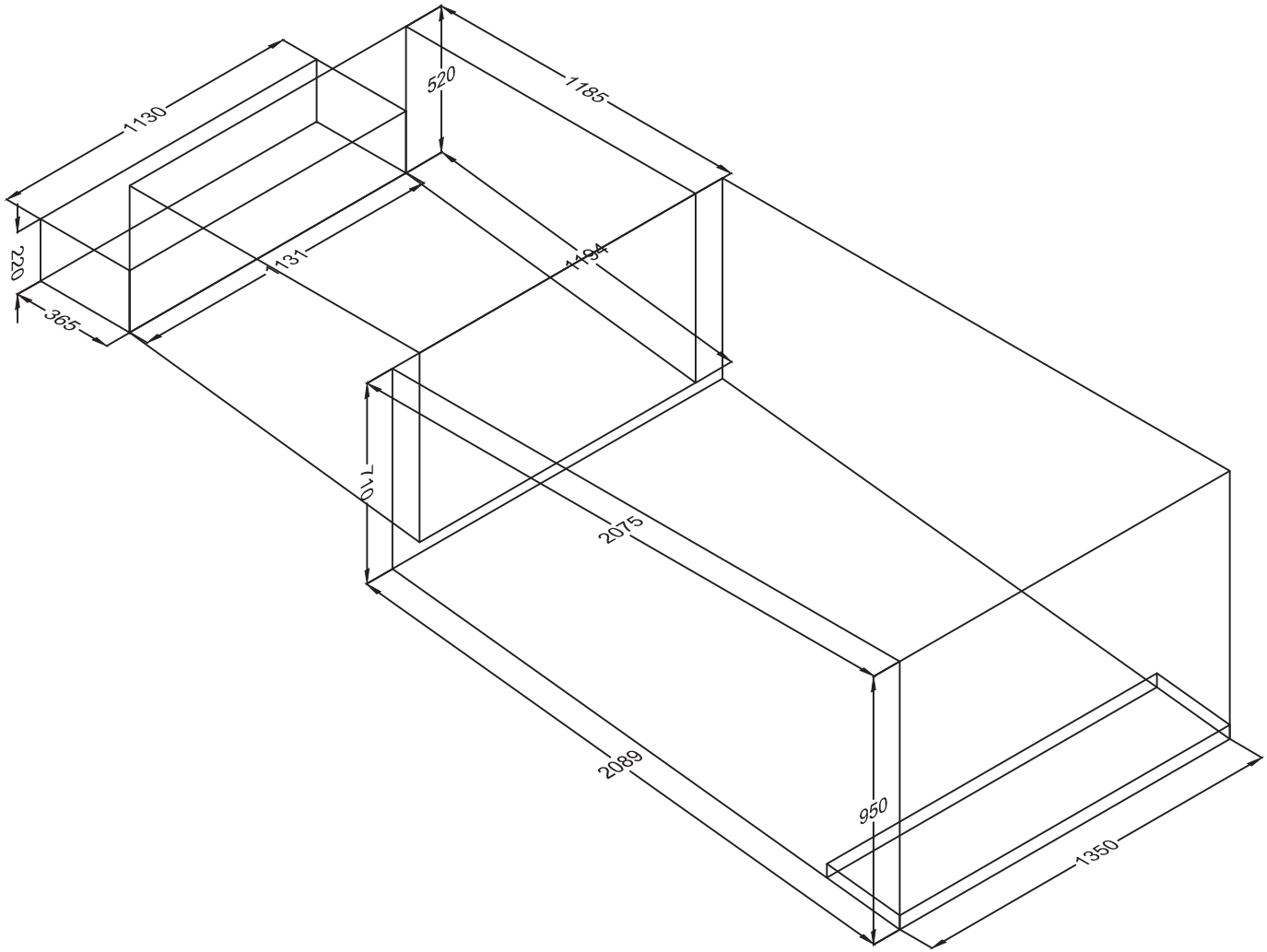


Pav. Inferior

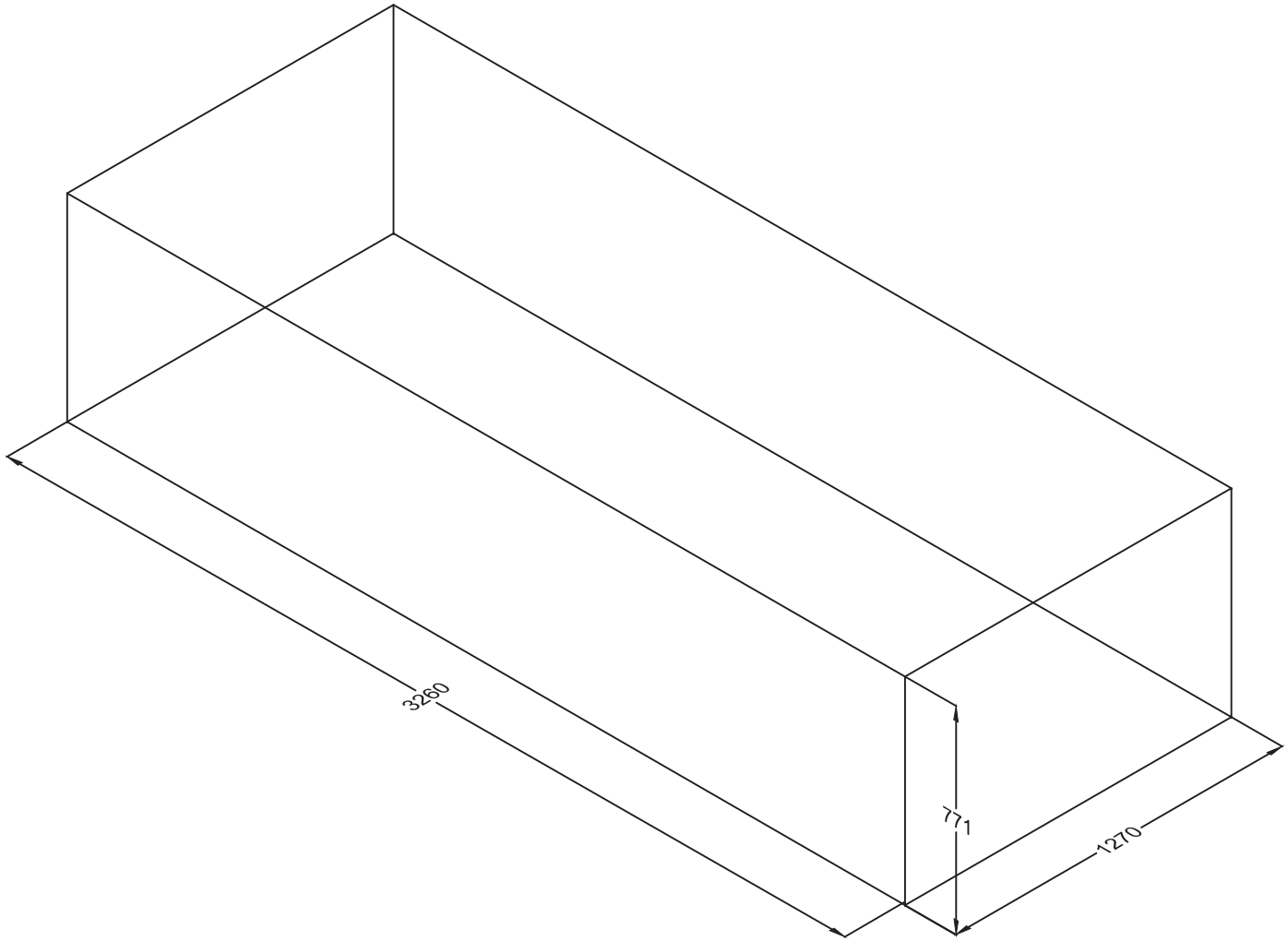


Pav. Superior

Vista Isométrica do Cine São Carlos



Vista Isométrica da Sala-Tipo Retangular



8. Referências bibliográficas

ASHRAE, Fundamentals Handbook (1997). *American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers*. Inc. Atlanta.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6401*: Instalações centrais de ar-condicionado para conforto – Parâmetros básicos de projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10151*: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 11957 MB 2958*: Reverberação – Análise do tempo de reverberação em auditórios. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR12179 NB 101*: Tratamento Acústico em Recintos Fechados. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12238 NB 1187*: Avaliação de projetos e instalações de salas de projeção cinematográficas. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR15220*: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

BATISTA, J. B. *Conforto Térmico no Ambiente de Ensino*: Implicações no Desempenho e na Aprendizagem. Conforto Eficiência e Segurança no Trabalho, João Pessoa, v. 2, 2005.

BRESSANE, A.; Santarine, G.A.; MAURÍCIO, J.C. *Poluição Sonora:* síntese de princípios fundamentais da teoria acústica. *HOLOS Environment*, Rio Claro, v.10 n.2, 2010.

EGAN, M. D. *Architectural Acoustics*. New York: McGraw-Hill, 1988. 448p.

FAUUSP. *Banco de Dados de Características* Acústicas, versão 1.2. São Paulo, 2003. Disponível em: <http://www.usp.br/fau/pesquisa/laboratorios/labaut/conforto/index.html>. Acesso em: 24 out. 2011.

FAUUSP. *Fachada*, versão 2.1. São Paulo, 2005. Disponível em: <http://www.usp.br/fau/pesquisa/laboratorios/labaut/conforto/index.html>. Acesso em: 17 out. 2011.

FILHO, S. N.; Dalcastagnê, A.L. *Geração de Ruído Rosa a partir de Ruído Branco.* In: Seminário de Engenharia de Áudio (SemEA), 1, 2002, Belo Horizonte. Disponível em:

<http://www.cpdee.ufmg.br/~semea/anais/artigos/SidneiNoceti.pdf>. Acesso em: 20 set. 2011.

FLORES, J. L. O. *Sistema híbrido de climatização visando conforto térmico e eficiência energética.* 2009. 96 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília. 2009.

FROTA, A.B.; SCHIFFER, S.R. *Manual de conforto térmico:* arquitetura, urbanismo. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel: 2001. 243p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO 7730; *Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PMD indices and specification of the conditions for thermal confort.*Geneva, 1984.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. *Eficiência Energética na Arquitetura*. São Paulo: PW, 1997. 192p.

DE MARCO, C.S. *Análise acústica de auditórios musicais depois de construídos*. 2009. 115 p. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília. 2009.

DE MARCO, C.S. *Elementos de Acústica Arquitetônica.* São Paulo: Nobel, 1982.

NEWMAN, R. B. *Acústica Arquitetônica*. São Paulo: EUCATEX, 1960.66 p.

SILVA, P. *Acústica Arquitetônica & Condicionamento de Ar*. 5.ed. Belo Horizonte: EDTAL E. T. Ltda., 2005. 339 p.

SOUZA, L. C. L.; ALMEIDA, M. G.; BRAGANÇA, L. *Bê-á-bá da acústica arquitetônica*: ouvindo a arquitetura. São Carlos: EdUFSCar, 2009. 143 p.