

José Nilton Rodrigues Filho

Estudo de Caso: Integração Ventilação Natural
e Conforto Acústico

Belo Horizonte

Escola de Arquitetura da UFMG

2012

José Nilton Rodrigues Filho

Estudo de Caso: Integração Ventilação Natural
e Conforto Acústico

Monografia apresentada ao curso de Especialização em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído.

Belo Horizonte

Escola de Arquitetura da UFMG

2012

FICHA CATALOGRÁFICA

R696e Rodrigues Filho, José Nilton.
Estudo de caso [manuscrito] : integração ventilação natural e conforto acústico / José Nilton Rodrigues Filho. - 2012.
66f. : il.

Orientador: Eleonora Sad de Assis.

Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Acústica arquitetônica. 2. Ventilação. 3. Arquitetura sustentável.
I. Assis, Eleonora Sad de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD 720.47



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO.

Monografia intitulada “Estudo de Caso: Integração Ventilação Natural e Conforto Acústico”, de autoria do pós-graduando José Nilton Rodrigues Filho, como requisito parcial para a obtenção do título de especialista em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído, defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

Prof^a. Dr^a. Eleonora Sad de Assis - UFMG - Orientadora

Prof^a. Dr^a. Iraci Miranda Pereira - UFMG

Aos meus queridos pais, Maria Christina e José Nilton
e ao meu querido e saudoso irmão Alexandre

AGRADECIMENTOS

A Deus,

Aos meus pais pelo amparo incondicional.

À Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais pela oportunidade de ampliar meus conhecimentos.

À minha Orientadora Professora Dra. Eleonora Sad de Assis pelo apoio, orientação e parceria no desenvolvimento desse trabalho.

Ao professor Victor Mourthé Valadares por ter tornado as questões acústicas mais acessíveis em suas aulas e pela sua disponibilidade.

Aos meus amigos Cristina Deslandes e Alceu Brito e ao meu tio Pedro Fiuza pelo suporte na finalização da monografia.

A todos os professores, e servidores da Universidade Federal de Minas Gerais que colaboraram durante o curso e no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus colegas, agora amigos, pela parceria e apoio compartilhados nesse período de convívio.

RESUMO

O presente trabalho procurou desenvolver o exercício de se conciliar ventilação natural e isolamento acústico em edificações, como resposta à necessidade de se criar construções que gerem o menor impacto no consumo de energia ao longo do seu ciclo de vida. Assim, foi pré-requisito a negativa à atitude de “isolamento da construção e o consequente uso do condicionamento artificial do ar para climatização dos espaços internos”, atitude esta muito corrente em projetos que lidam com problemas acústicos advindos de sua inserção num contexto de maior ou menor nível acústico daquele que lhe é particular. Para tanto, partiu-se de um caso de estudo: o projeto de um restaurante situado em um bairro de uso misto, mas com vizinhança também residencial amparada por legislação específica, que limita as interferências acústicas que qualquer empreendimento venha gerar no contexto. Deste modo, procurou-se, a partir do conhecimento da literatura disponível, identificar métodos e instrumentos para se fazer a previsão do desempenho das soluções propostas no projeto e avaliar sua propriedade frente aos critérios acústicos regidos pela legislação da cidade de Belo Horizonte, município berço do empreendimento. Como resultado da metodologia aplicada ficou atestada a possibilidade de se integrar ventilação natural e conforto acústico em um caso específico não obstante, aplicável também a outros projetos afins.

Conforto acústico - ventilação natural – sustentabilidade

ABSTRACT

The present study sought to develop the exercise to conciliate natural ventilation and acoustic insulation in buildings, in response to the need to create buildings that generate the least impact on energy consumption throughout its life cycle. Thus, it was prerequisite to deny the attitude of "isolation of the construction and subsequent use of artificial air conditioning for cooling of internal spaces," this attitude, very common on projects dealing with acoustic problems arising from their inclusion in a context of greater or lower noise level than it is private. To this end, it was used a case study: a project of a restaurant located in a mixed-use neighborhood, but also residential area supported by specific legislation, which limits the acoustic interference that any new use will generate in the context. Thus, from the knowledge of the available literature, methods and tools were identified to make the forecast performance of the solutions proposed in the project and evaluate its property compared to the acoustic criteria determined by the law of the city of Belo Horizonte, the municipality that would cradle the proposal. As a result of the used methodology was proved possible to integrate acoustic comfort and natural ventilation in a specific case however, also applicable to other projects like.

acoustic comfort – natural ventilation - sustainability

LISTAS

Figura 1	Vista aérea do contexto geral	14
Figura 2	Vista aérea do contexto ampliada	14
Figura 3	Vista frontal da edificação	15
Figura 4	Plantas entorno da edificação e indicação do deslocamento dos ventos em 2 momentos	17
Figura 5	Atenuador de ruído retangular assimétrico Somax	20
Quadro 1	Nível de critério acústico estabelecido pela Prefeitura Municipal de Belo Horizonte	22
Figura 6	Barreira acústica em estrada alemã	23
Figura 7	Barreira acústica em acrílico	23
Figura 8	Exaustor eólico	24
Figura 9	Dispositivo Atenuador de Ruído 1	30
Figura 10	Dispositivo Atenuador de Ruído 2	30
Quadro 2	Avaliação da atenuação do ruído que, gerado no salão de refeições, atinge a casa vizinha atravessando a elev.6 original c/ janelas fechadas e a barreira acústica presente ou não.	38
Quadro 3	Avaliação da atenuação do ruído que, gerado no salão de refeições, atinge a casa vizinha atravessando a elev.6 original c/ janelas abertas e a barreira acústica presente ou não	38
Quadro 4	Avaliação da atenuação do ruído que, gerado no salão de refeições, atinge a casa vizinha atravessando a elev.6 modif. c/ janelas fechadas e a barreira acústica presente ou não	39
Quadro 5	Avaliação da atenuação do ruído que, gerado no salão de refeições, atinge a casa vizinha atravessando a elev.6 modif. c/ janelas abertas e a barreira acústica presente ou não	39
Gráfico 1	Nível de ruído no receptor sem Barreira acústica (parede Original)	41
Gráfico 2	Nível de ruído no receptor com Barreira acústica (parede Original)	42
Gráfico 3	Nível de ruído no receptor sem Barreira acústica (parede Modificada)	43

Gráfico 4	Nível de ruído no receptor com Barreira acústica (parede Modificada)	44
Apêndice A	Levantamento construção existente	48
Apêndice B	Projeto restaurante	49
Apêndice C	Perspectivas projeto restaurante	50
Apêndice D	Projeto esquadrias fachada lateral direita – Elevação 6	51
Apêndice E	Projeto esquadrias fachada lateral direita – Elevação 6	52
Apêndice F	Perda por transmissão acústica de alguns elementos	53
Apêndice G	Perda por transmissão acústica de alguns elementos (cont.)	54
Apêndice H	Perda acústica por transmissão composta	55
Apêndice I	Projeto da elevação interna fachada lateral direita do salão de refeições e caracterização de seus componentes construtivos	56
Apêndice J	Perda acústica por transmissão composta	57
Apêndice L	Barreira acústica	58
Apêndice M	Projeto das elevações internas das envoltórias do salão de refeições e caracterização de seus acabamentos superficiais	59
Apêndice N	Projeto plantas de piso e forro do salão de refeições	60
Apêndice O	Quadro de áreas dos componentes da envoltória do salão de refeições com elevação 6 original	61
Apêndice P	Quadro de áreas dos componentes da envoltória do salão de refeições com elevação 6 modificada	62
Apêndice Q	Coeficientes de absorção sonora de algumas superfícies	63
Apêndice R	Tempo de reverberação	64
Apêndice S	Absorção (com elevação. 6 original)	65
Apêndice T	Absorção (com elevação. 6 modificada)	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A - absorção total do recinto receptor [*sabine*];

A' - distância entre a fonte e o ponto mais elevado da barreira na direção fonte/receptor [*m*];

A1 - é o coeficiente de absorção de cada objeto [*adm.*];

At - Atenuação [*dB*];

B' - distância entre o ponto mais elevado da barreira e o receptor na direção fonte/receptor [*m*];

c - velocidade do som [*343m/s*];

D - densidade [*Kg/m³*];

d - espessura da camada de ar [*m*];

d' - menor distância entre a fonte e o receptor [*m*];

De - perímetro do revestimento interno da câmara de passagem de ar do dispositivo [*m*];

e - espessura [*m*];

f - frequência [*Hz*];

fi - frequência inferior [*Hz*];

fmam - frequência intermediária [*Hz*];

fs - frequência superior [*Hz*];

M - massa [*Kg/m²*];

M1 - massa parede 1 [*Kg/m²*];

M2 - massa parede 2 [Kg/m^2];

N - número de Fresnel [*adm.*];

n_i - é o número de objetos de um determinado tipo presente no recinto (mobiliário e/ou pessoas);

PT - perda por transmissão acústica [dB];

PTC - Perda por transmissão acústica composta [dB]

R - índice de redução sonora do ambiente [dB]

Ra - perda por absorção [dB];

S - área total da parede transmissora [m^2];

S_i - é a área de cada material das superfícies da envoltória do recinto [m^2];

s_i / S_n - área da superfície do material i / n [m^2];

S_v - área da seção interna vazada da câmara de ar [m^2];

t_i - transmissividade do material componente da superfície i [*adm.*]

TR - tempo de reverberação [s]

V - volume do ambiente em estudo [m^3]

X - é o coeficiente de absorção do ar, em determinadas condições de temperatura e umidade relativa [*adm.*];

α - coeficiente de absorção do revestimento [*adm.*];

α_i / α_n - coeficiente de absorção de cada material i / n [*adm.*];

λ - comprimento da onda sonora (m);

ρ - densidade do ar [$1,18Kg/m^3$]

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos do trabalho	13
1.2 O caso de estudo	14
1.3 O projeto	16
1.4 Salão de refeições - estratégias de projeto para controle do nível de emissão acústica e aproveitamento da iluminação e ventilação naturais	19
1.5 Organização da monografia.....	21
2 REVISÃO LITERATURA	22
2.1 Controle de ruído	22
2.2 Exaustores eólicos	24
3 METODOLOGIA	26
3.1 Perda por transmissão acústica para parede simples	26
3.2 Perda por transmissão acústica para parede dupla	27
3.3 Perda por transmissão acústica para dispositivos atenuadores de ruídos .	28
3.4 Perda por transmissão acústica composta.....	31
3.5 Barreira acústica	32
3.6 Tempo de reverberação	33
3.7 Perda acústica pela absorção dos materiais	35
4 RESULTADOS	37
4.1 Uso dos exaustores eólicos	37
4.2 Avaliação final das estratégias de controle do nível acústico	37
4.2.1 Avaliação do nível de ruído no receptor com janelas fechadas/ abertas e sem barreira acústica (parede original)	41
4.2.2 Avaliação do nível de ruído no receptor com janelas fechadas/ abertas e com barreira acústica (parede original)	42
4.2.3 Avaliação do nível de ruído no receptor com janelas fechadas/ abertas e sem barreira acústica (parede modificada)	43
4.2.4 Avaliação do nível de ruído no receptor com janelas fechadas/ abertas e com barreira acústica (parede modificada)	44
5 CONCLUSÃO	45

1 INTRODUÇÃO

A harmonia na coexistência da ventilação natural e isolamento acústica em ambientes construídos é pouco corrente na prática arquitetônica no Brasil. Normalmente tem-se a interdependência dos sistemas de ventilação e isolamento acústica, ambos controlados por um mesmo dispositivo - a janela. Assim, o que se vê é, ou o convívio com níveis indesejados de poluição sonora, caso se opte por manter as janelas abertas para desfrutar dos benefícios da ventilação natural, ou o uso do ar condicionado mantendo-se as janelas fechadas e eliminando-se ou atenuando-se os ruídos indesejados.

Se na primeira opção compromete-se a salubridade do ambiente gerando desconforto que prejudica não só a saúde, mas também o nível de produtividade das pessoas, a segunda opção gera custos energéticos e financeiros adicionais produzidos pelo uso do ar condicionado.

Numa época em que tanto se fala em sustentabilidade, fica ainda mais evidente a necessidade de se enfrentar esse conflito. Urge desenvolver dispositivos que promovam a coexistência de ambos sem obrigar o usuário a recorrer a artifícios que venham gerar maior consumo de energia, comprometendo os custos de manutenção e impactando o meio ambiente.

1.1 Objetivos do trabalho

O presente trabalho, como finalização do curso de Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído, propõe o desenvolvimento de um projeto atendendo a parâmetros que evidenciem uma atitude de preocupação com relação à sustentabilidade do empreendimento. Para tanto, foi dada ênfase no desenvolvimento de soluções para conciliar ventilação natural e proteção acústica, em um caso de estudo, que possam servir, também, como referência para outros trabalhos afins.

O entendimento do comportamento do som e da ventilação natural, bem como das técnicas e dispositivos usados para o seu controle são, portanto, premissas para o conjunto de trabalhos desenvolvidos.

É importante também destacar que, ao restringir os estudos à busca de integração da ventilação natural e proteção acústica, não se pretendeu relegar a um segundo plano qualquer outro aspecto relacionado à sustentabilidade de um empreendimento. Assim se o fez, unicamente, para possibilitar um estudo mais pormenorizado dos itens escolhidos.

1.2 O caso de estudo

O caso de estudo trata-se do salão de refeições para atendimento ao público do projeto de restaurante de comida a quilo a ser criado a partir da reforma e acréscimo de construção existente, situada à Praça Hugo Werneck em Belo Horizonte.

Num primeiro instante será feita uma descrição geral do empreendimento para uma visão global da sua concepção e das preocupações que nortearam seu desenvolvimento e, por fim, os estudos serão concentrados no salão de refeições.

O contexto em que está inserido trata-se de uma área de ocupação mista com predomínio de estabelecimentos hospitalares, de serviço e de comércio e, ainda, alguns residenciais. A figura 1 traz, no centro, um retângulo sobreposto à mesma que delimita a área onde se situa o objeto de estudo. Essa área demarcada é ampliada na figura 2 e a construção em estudo é a indicada com uma seta.



Figura 1 - Vista aérea do contexto geral
fonte: Google Earth, 2011



Figura 2 - Vista aérea do contexto ampliada
Fonte: Google Earth, 2011

Particularmente a edificação em estudo e outras que figuram no mesmo quarteirão são tombadas pela Secretaria do Patrimônio Histórico e Artístico do Município de

Belo Horizonte em função de suas características arquitetônicas e época de construção.

Com relação às suas divisas (FIGURAS 02 e 03) tem-se:



Figura 3 - Vista frontal da edificação
Fonte: Google Earth Street View, 2011

- à esquerda, junto à divisa lateral, há uma construção de dois pavimentos que abriga uma loja de roupas,
- à direita, há uma faixa livre de quatro metros de largura que dá acesso à garagem de um edifício de escritórios e que é usada como via de acesso de veículos. Na outra face lateral desta via há uma residência habitada.
- aos fundos, junto à divisa, há uma residência também habitada.

A edificação, outrora residência, já sofreu intervenções em seu interior configurando hoje um grande salão marcado por pilares e vigas que fazem referência à sua antiga setorização. (APÊNDICE A, página 48) As intervenções até então executadas, possivelmente, pretendiam transformar a edificação em restaurante ou bar, já que abrigam dois sanitários junto ao salão principal e, junto à divisa à esquerda, há indícios de criação de uma cozinha, ainda que bem incipientes.

1.3 O projeto

O programa do restaurante compreende:

- salão de refeições para atendimento ao público,
- banheiros masculino e feminino,
- cozinha,
- copa/ bebidas;
- serviço,
- vestiários feminino e masculino,
- sala de administração,
- lanchonete com acesso direto à rua,
- sala para encontros privativos,
- depósito de gás,
- depósito de lixo.

O projeto desenvolvido (APÊNDICES B, página 49 e C, página 50) procurou aproveitar as interferências até então empreendidas agregando algumas correções e as novas ocupações solicitadas. Foi proposta a retirada de um pilar e, por conseguinte, a reconstrução de uma viga. Os outros dois pilares tiveram suas seções regularizadas. Os banheiros foram refeitos, ainda que mantida sua localização, de modo a contemplarem a possibilidade do seu uso por deficientes físicos e permitirem melhor distribuição de mesas no salão. O acréscimo proposto nos fundos da construção, a cozinha e a circulação lateral junto à divisa foram viabilizados a partir da elevação do piso existente com emprego de laje pré-moldada e criação de porão destinado ao abrigo de reservatórios de água coletada das chuvas.

Com relação à orientação da construção (figura 4) a fachada frontal está praticamente voltada para o sul com ligeiro desvio a oeste. Nesta figura, que traz a representação da construção original, estão também indicadas as direções predominantes dos ventos aferidas a partir da constatação in loco.

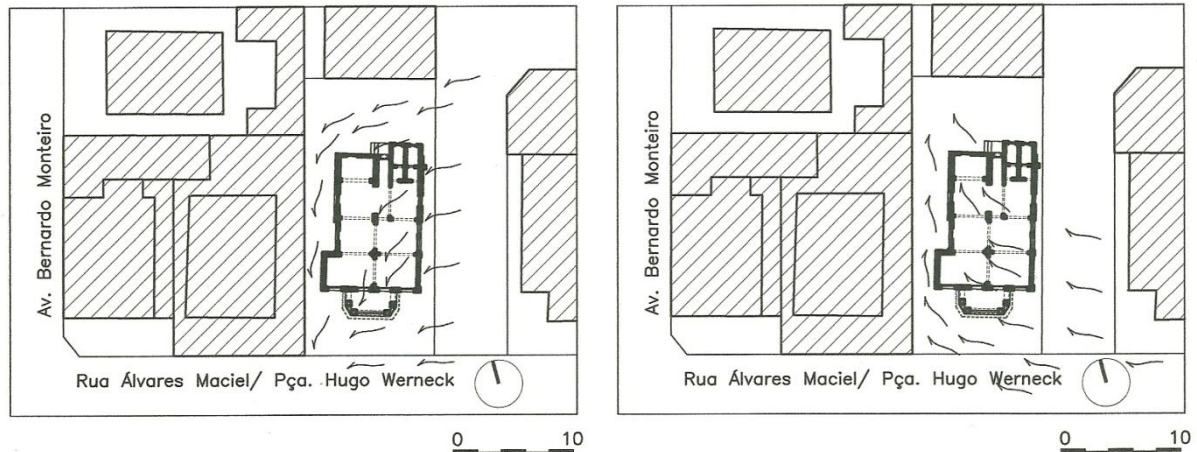


Figura 4 - Plantas entorno da edificação e indicação do deslocamento dos ventos em 2 momentos
Fonte: elaborado pelo autor

A iluminação e a ventilação naturais, no salão de refeições, serão feitas através das aberturas frontais existentes e das criadas na fachada lateral direita (fachada leste). Como essas aberturas figuram em áreas de pressão predominantemente positiva (entrada do ar) para a efetiva circulação do ar no salão é necessária a existência de aberturas na fachada oposta, de pressão negativa. Como a localização da cozinha impede a existência dessas aberturas, optou-se pelo uso de exaustores eólicos no teto para cumprirem essa tarefa. Os exaustores estão colocados à esquerda do salão de modo a induzirem a circulação do ar por todo o ambiente. Ao todo foram propostas 3 unidades, duas das quais têm comunicação direta com o salão a partir de tubulações e grelhas colocadas no forro de madeira. A outra unidade faz a exaustão do colchão de ar existente entre o telhado e o forro e traz acoplado à mesma um exaustor axial elétrico. A entrada de ar no espaço entre telhado e forro será feita a partir de rasgo criado no forro de madeira junto à parede à esquerda do salão, indicado na seção AA do apêndice B, página 49.

Mais esclarecimentos e considerações sobre o uso e operação dos exaustores eólicos, bem como os critérios usados para determinar o número de exaustores empregados, foram tecidos na seção 2.2 deste trabalho.

Retomando a descrição do projeto do restaurante, há que se mencionar a solução dada à cozinha para a qual foi criada uma esquadria linear no teto, ao longo de todo o seu comprimento, que é responsável pela ventilação/exaustão e iluminação naturais. Paralelamente deverá ser utilizada exaustão mecânica para atender à coifa do fogão industrial durante suas atividades.

Com relação à lanchonete, a mesma foi criada como um volume de vidro colocado à frente da porção esquerda da fachada. Seus limites estão calcados em referências importantes do desenho da construção tombada para que as interferências aconteçam de uma forma respeitosa e discreta. A própria transparência do fechamento pretende acentuar essa preocupação. Assim, a cobertura, que acontece dentro da caixa de vidro, tem como limite inferior a face inferior da bandeira fixa das janelas da construção tombada e como limite superior a face inferior da calha do telhado do pórtico frontal de acesso à edificação. Essa cobertura feita com telha tipo sanduíche, em aço galvanizado e injeção de poliuretano, e forro de madeira nas faces internas cobre o volume da lanchonete, mas não toca a construção tombada. Ela termina alinhada com a face interna do pilar da varanda frontal e a ligação da lanchonete com o restaurante se faz através de uma cobertura de vidro acima da bandeira da janela da fachada original.

No lado oposto da fachada, junto à divisa lateral direita, foi criado, no piso, um deck de madeira que vence o desnível de 20cm existente entre o piso do passeio e o piso da área frontal da casa. Esse deck permite colocar a entrada do salão no mesmo nível do passeio frontal, junto à rua, garantindo acessibilidade aos portadores de deficiência locomotora. Esse piso de madeira se estende sobre o muro de divisa à direita criando um painel, com mesma altura do volume da lanchonete, que delimita o espaço e configura uma barreira visual e acústica importante.

Por fim, a construção anexa, que ocupa os fundos do terreno, foi criada para dar lugar aos vestiários dos funcionários e sala da administração no 1º piso e a sala de encontros privativos no 2º piso. O telhado desse bloco segue o mesmo desenho do telhado do bloco térreo. Foi criado um volume especial para a caixa d'água que alimenta os coletores solares os quais foram colocados em suportes independentes da inclinação do telhado, pois estes, em Belo Horizonte, devem estar voltados,

preferencialmente, para o norte e, portanto, para os fundos da construção e não para as laterais conforme estão as “águas” dos telhados. Aqui é importante ressaltar que há um edifício no mesmo quarteirão que lança sua sombra sobre a edificação durante certo período do dia, com maior ou menor impacto dependendo da época do ano. Assim é prudente, antes da instalação do aquecimento solar, ser feita uma avaliação do grau de comprometimento que esse sombreamento implica na eficiência do dispositivo, o que pode vir a interferir no número e disposição dos coletores a serem usados.

1.4 Salão de refeições - estratégias de projeto para controle do nível de emissão acústica e aproveitamento da iluminação e ventilação naturais

Uma vez finalizada a descrição do projeto, o desenvolvimento da monografia estará voltado para o estudo do salão de refeições para atendimento ao público. Esse salão tem capacidade para receber 40 pessoas assentadas. Como já foi mencionado, as janelas responsáveis pelas suas ventilação e iluminação naturais são as originais da fachada frontal e as três unidades criadas na fachada lateral direita. Essas três janelas criadas bem como a parede que as abriga é que, efetivamente, serão estudadas de modo a viabilizar a ventilação e iluminação naturais pretendidas, mas com a transmissão de um nível aceitável de ruído que, passando por elas, atinja a residência vizinha, que está, inclusive, amparada por legislação municipal.

Para tanto foram desenvolvidas duas alternativas:

1 – Uma primeira opção onde foi mantida a estrutura original da parede e apenas foram inseridas três janelas com folhas de abrir com requadro de madeira seção 3x8cm e fechamento em vidro 6mm.

2 – E uma segunda opção com a inserção de janelas de correr com requadro de madeira seção 8x5cm e fechamento em vidro duplo 3/ 6mm com câmara de ar 20mm entre as folhas de vidro. Nesta alternativa, foi promovida a regularização da alvenaria externamente, com fechamento de reentrâncias existentes, bem como a colocação de forro de gesso “drywall”, na face interna, para criação de nicho para recolhimento das folhas de correr da janela em sua abertura (APÊNDICES D, página 51 e E, página 52), Esses acréscimos possibilitaram a criação de um nicho de 126x85cm com 66cm de profundidade, na porção inferior dessas janelas, dimensionado para receber um dispositivo que permite a passagem do ar em 25%

de sua área em elevação e que promove uma redução não desprezível do nível do som que por ele passa.

O dispositivo citado trata-se do atenuador de ruído retangular assimétrico (linha RAS-2F) produzido pela empresa TCA-Somax, muito utilizado principalmente na indústria e comércio.

O atenuador de ruído é constituído de carcaça, estrutura das células e “nariz” aerodinâmico de entrada em chapa de aço galvanizado. O enchimento das células absorvedoras de ruídos é feito com Eurolon, cuja composição consiste de placa de lã de vidro semi-rígida com densidade controlada, tratada com adesivo especial, recoberta com tecido de fibra de vidro com diâmetro de fios e malha especificamente projetados para obtenção do melhor rendimento acústico, resultando em material inerte, não higroscópico, não sujeito a putrefação, inóspito para insetos, animais daninhos, fungos e bactérias.

ATENUADORES DE RUÍDO RAS- RETANGULAR ASSIMÉTRICO.

Disponível em <http://www.somaxbrasil.com.br/boletins.html>



Figura 5 – Atenuador de ruído retangular assimétrico – Somax
Fonte: www.somaxbrasil.com.br

Assim, a partir do conhecimento do desempenho de cada uma das duas alternativas de tratamento da elevação citadas, pode-se escolher aquela que melhor atende aos parâmetros da legislação e aos interesses do proprietário.

Outra estratégia proposta para a atenuação do ruído, que produzido no salão de refeições, incide sobre a residência vizinha, é a elevação do muro de divisa de modo que o mesmo passe a configurar uma barreira acústica.

Finalmente um último recurso para se alcançar a redução do nível sonoro produzido no interior do salão de refeições é o tratamento das superfícies internas com materiais absorventes, de modo que o espaço interno resulte mais “surdo”, menos reverberante.

1.5 Organização da monografia

As estratégias, escolhidas em resposta à necessidade de controle acústico, são fruto do trabalho de pesquisa, que é sintetizado na seção seguinte dessa monografia, Porém, tornou-se também necessário conhecer métodos para se avaliar a eficiência das ações propostas.

Desta forma, as seções que se sucedem tratam da investigação dos métodos para se quantificar as interferências sofridas pelo som no seu processo de transmissão:

- perda por transmissão acústica - parede simples;
- perda por transmissão acústica - parede dupla;
- perda acústica produzida pela atuação de dispositivos atenuadores de ruído;
- perda por transmissão acústica composta,
- perda acústica do som ao ultrapassar barreiras acústicas;
- tempo de reverberação;
- e perda acústica do som pela absorção dos materiais do seu meio de atuação.

Paralelamente ao conhecimento dos métodos listados são desenvolvidos apêndices onde são calculadas as perdas acústicas geradas pelos componentes ou dispositivos para o caso em questão.

A partir dos resultados obtidos é desenvolvida uma análise crítica das soluções propostas e de sua aplicabilidade no objeto de estudo. Por fim, é feita uma conclusão geral na qual são também destacadas limitações e levantadas possibilidades para melhoria dos resultados.

2 REVISÃO LITERATURA

Conforme descrito nos objetivos da monografia o controle acústico e a ventilação natural são as duas variáveis a serem trabalhadas. Mais especificamente, com relação à ventilação natural, o uso dos exatores eólicos no salão de refeições traz a necessidade de um melhor conhecimento de suas características e desempenho. Assim, as duas seções que se seguem procuram ilustrar os trabalhos usualmente desenvolvidos frente à questão do controle de ruídos e, por fim, o uso dos exatores eólicos.

2.1 Controle de ruído

O controle de ruído em ambientes como bares, restaurantes e outros equipamentos do meio urbano está, a cada dia, mais em evidência na mídia e há um forte apelo social pela solução dos incômodos e perturbações por ele geradas.

Em Belo Horizonte, recentemente, a associação dos moradores do bairro de Lourdes tem tentado, junto ao Ministério Público, forçar a prefeitura a não mais conceder alvarás de funcionamento para bares no bairro. Outras soluções como a proibição ou limitação do número de mesas nas calçadas, a instalação de “toldos com promessa de redução de 80% da poluição sonora” ou mesmo, a limitação do horário de funcionamento são propostas que têm sido apresentadas para a administração municipal na tentativa de amainar os conflitos.

A legislação municipal que trata do assunto lei n.9.905 de 23/01/2008 estabelece os níveis de ruídos admitidos no receptor em função do período do dia. (QUADRO 1)

Quadro 1 - nível de critério acústico estabelecido pela Prefeitura Municipal de Belo Horizonte

Período do dia	Diurno 7 às 19hs	Vespertino 19 às 22hs	Noturno A 22 às 24hs	Noturno B 24 às 7hs
Nível acústico				
máximo dB(A)	70	60	50	45

Fonte: elaborado pelo autor, 2011

Paralelamente, a literatura especializada sobre assunto, ainda que restrita, ilustra recursos e soluções desenvolvidas no manejo dos problemas advindos da poluição

sonora. Na Europa, são comuns barreiras acústicas (FIGURAS 6 e 7) junto às estradas que são anteparos colocados entre a fonte produtora do ruído e o receptor.

Sua dimensão, localização e composição são os parâmetros que determinam o seu nível de eficiência.



Figura 6 – Barreira acústica em estrada alemã
Fonte: www.revistatechne.com.br



Figura 7 – barreira acústica em acrílico
Fonte: www.indac.org.br

Outro dispositivo são os atenuadores de ruído que são equipamentos utilizados quando se necessita conciliar circulação de ar e isolamento acústico ao mesmo tempo, que são mais comumente empregados na área industrial e em instalações de condicionamento de ar. Ainda um recurso bastante utilizado em outros países, no caso de esquadrias herméticas, é o uso de dispositivos de ventilação nos peitoris das esquadrias. Por fim, mais sofisticados do que os citados, há os atenuadores de ruído ditos “ativos” que fazem a identificação eletrônica do ruído indesejado e, como

resposta, emitem ondas sonoras de mesma freqüência e mesma intensidade, na mesma direção, mas em sentido contrário, que anulam o efeito do ruído identificado.

Todos os dispositivos mencionados são elementos que promovem a atenuação do ruído que, gerado num ambiente, passa para outro que lhe é contíguo, mas que, para tanto, tem que atravessá-los. Outra estratégia, muitas vezes, mais eficiente, é promover o tratamento do ruído na fonte reduzindo sua intensidade. Exemplo disso é o que tem-se feito nas autopistas européias, onde o uso das citadas barreiras acústicas é muitas vezes associado ou, até mesmo, preterido com o tratamento do pavimento das pistas de rolamento já que, “segundo especialistas, 90% do ruído gerado pelo tráfego é causado pela interação pneu/pavimento”. CICHINELLI, Gisele. Ruído Barrado. Revista Técnica, São Paulo, n126, set.2007.

2.2 Exaustores eólicos

O exaustor eólico (FIGURA 8) é um aparelho utilizado para promover a renovação do ar dos ambientes. O vento que incide sobre o aparelho provoca a rotação de suas aletas aerodinamicamente concebidas e, conseqüentemente, forma-se um vácuo no interior do exaustor. A massa de ar do ambiente interno desloca-se para fora através desse vácuo. Em caso de ausência de vento, o ar quente ascendente é liberado pela pressão que o mesmo exerce sobre o rotor. Essa tendência do ar quente “subir” é conhecida como “Efeito Chaminé”.



Figura 8 – Exaustor eólico
Fonte : www.rotiv.com.br

Para se avaliar o número de exaustores necessários para um determinado ambiente deve-se a partir do volume do espaço e, em função do seu uso, consultar o número de renovações de ar indicadas pela American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (A.S.H.R.A.E). No caso em questão, restaurante, são indicadas de 10 a 22 trocas por hora.

O melhor ou pior desempenho do exaustor eólico depende da velocidade do vento. As empresas que o produzem normalmente fornecem gráficos que caracterizam essa particularidade do produto. Assim as empresas consultadas “Renovar Ventilação”, e sua parceira “Rotiv”, indicam a performance do exaustor eólico de aproximadamente 2500m³/hora de troca de ar para uma velocidade do vento em torno de 1,5km/h (valor próximo à média registrada em Belo Horizonte).

É também importante destacar que o ambiente sujeito à atuação do exaustor eólico terá sua temperatura nas camadas inferiores do ar muito próxima à temperatura externa à sombra.

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do trabalho, os estudos relativos à questão acústica são os que efetivamente demandaram maior empenho já que o entendimento do uso dos exaustores eólicos é simples e imediato. Assim, a partir do que já foi exposto na descrição dos exaustores, foi feita a avaliação do número de unidades necessárias para se assegurar a adequada renovação de ar do ambiente. Essa avaliação é abordada na seção 4.1 deste trabalho.

Quanto à questão acústica, para o entendimento da intensidade com a qual o ruído produzido no interior do salão de refeições será percebido pelos habitantes da residência vizinha, à direita, algumas questões a priori deveriam ser resolvidas:

- estimativa da grandeza do ruído produzido no salão de refeições do restaurante. Para esta estimativa fez-se a leitura, com o uso de um decibelímetro, do nível de ruído de um restaurante de comida a quilo de porte similar;
- é também necessário calcular a perda por transmissão do som ao atravessar a parede lateral direita para ambas as alternativas já descritas com as janelas fechadas e abertas;
- estimativa da contribuição da barreira acústica na atenuação do ruído;
- avaliação do nível de reverberação do salão no fortalecimento dos níveis de ruído interno e emitido.

Para a avaliação da perda de intensidade do som pela transmissão deste através dos diversos componentes da parede e do conjunto total fez-se uso do trabalho de Gerges (2000) que, a partir do conhecimento da massa do componente e em função das diferentes frequências do som, criou um modelo matemático que descreve esse comportamento e que ficou conhecido como “Lei das Massas”.

3.1 Perda por transmissão acústica para parede simples

Para uma parede simples o cálculo é imediato sendo válida a fórmula que se segue:

$$PT = 20 \times \log(M \times f) - 47,4 \text{ [dB]}; \quad M = D \times e \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

Onde:

PT – Perda por transmissão [dB]

M – massa [Kg/m²]

f – frequência [Hz]

D – densidade [Kg/m³]

e - espessura [m]

Nota: O apêndice F, página 53, traz a lista dos materiais usados na fachada lateral direita do salão de refeições e as respectivas densidades. Com a sua caracterização (composição e espessuras) é também possível calcular as respectivas massas de cada um dos seus componentes. No mesmo apêndice está também calculada espectralmente a perda por transmissão acústica desses componentes.

3.2 Perda por transmissão acústica para parede dupla

Para a parede dupla, que contém uma câmara de ar entre suas 2 camadas, e que é uma solução mais eficiente no controle do ruído, tem-se que, de antemão, avaliar a frequência a ser analisada para então escolher a equação que descreve o comportamento do som para aquela faixa espectral em estudo. Assim, primeiramente, calculam-se valores que corresponderão aos extremos de intervalos de frequências e para cada uma das faixas delimitadas por esses extremos tem-se uma equação que descreve o comportamento do som que passa pela parede dupla naquela frequência escolhida. Os extremos dos intervalos das faixas de frequências são:

$$f_i = \left\{ \frac{(\rho \times c)}{[\pi \times (M_1 + M_2)]} \right\}$$

$$f_{mam} = \left(\frac{c}{2\pi} \right) \times \sqrt{\left(\frac{\rho}{d} \right) \times \left(\frac{M_1 + M_2}{M_1 \times M_2} \right)}$$

$$f_s = \left[\frac{c}{(2 \times \pi \times d)} \right]$$

Onde:

f_i - frequência inferior [hz]

f_{mam} - frequência intermediária [hz]

f_s - frequência superior [hz]

c - velocidade do som = 343 m/s

ρ - densidade do ar = 1,18 kg/m³

d - espessura da câmara de ar [m]

M_1 – massa da parede 1 [kg/m²]

M_2 – massa da parede 2 [kg/m²]

As equações que descrevem a perda por transmissão acústica nos intervalos de frequência calculados são:

Para $f_i < f < f_{mam}$ então vale $PT = 20 \log[(M_1 + M_2) \times f] - 47,4$ [dB]

Para $f_{mam} < f < f_s$ então vale $PT = PT_1 + PT_2 + 20 \log\left(\frac{4 \times \pi \times d \times f}{c}\right)$ [dB]

Para $f > f_s$ então vale $PT = PT_1 + PT_2 + 6$ [dB].

Nota: O apêndice G, página 54, traz os cálculos da perda por transmissão acústica em termos espectrais dos sistemas “massa+câmara de ar+massa” identificados no projeto (Sistema A – vidro/ câmara ar/ vidro e Sistema B – gesso/ câmara ar/ parede) para a elevação lateral direita modificada.

3.3 Perda por transmissão acústica para dispositivos atenuadores de ruído

Atenuadores de ruído são dispositivos utilizados na saída ou entrada de ventiladores, exaustores, etc, para redução do ruído por eles produzido. Normalmente têm formato de duto e são revestidos na face interna de material de

elevada absorção acústica podendo, ainda, apresentar células divisoras paralelas do mesmo material, normalmente lã de vidro ou lã de rocha, envolta por tecido e protegida por chapa perfurada ou tela metálica. A presença das células intermediárias visa, ao reduzir as câmaras de passagem de ar, criar um maior contato da energia sonora com os materiais absorventes. Com isso a redução do nível sonoro é tanto maior quanto menores as seções e mais extensas forem as passagens de ar.

O cálculo da perda acústica produzida por um atenuador de ruído está desenvolvido em Gerges (2000) e é função do coeficiente de absorção do revestimento utilizado, do perímetro interno das câmaras de passagem de ar e da área da seção interna vazada da câmara. Assim tem-se:

$$AT = 1,05 \times \alpha^n \times (De/Sv) \quad \text{onde:}$$

AT – Atenuação [dB].

α – é o coeficiente de absorção do revestimento [adm.].

n – 1,4 [adm].

De – é o perímetro de revestimento interno das câmaras de passagem de ar do dispositivo [m].

Sv – é a área da seção interna vazada da câmara de ar [m²].

A equação descrita, entretanto, tem algumas restrições:

1 – A menor largura deve ter valores entre 50 e 15 cm;

2 – A razão altura/ largura deve ficar entre 1 e 2;

3 – A velocidade do fluxo de ar deve ser igual ou inferior a 15m/s;

4 – O coeficiente de absorção tem que ser menor ou igual a 0,8;

5 – A precisão dos resultados gira em torno de 10%.

As figuras 9 e 10 ilustram os dispositivos atenuadores de ruído 1 e 2 criados a partir do enunciado e usando o mesmo material de revestimento do dispositivo RAS-2F produzido pela TCA- Somax: eurolon.(lã de vidro).

Vale ainda mencionar a proporção de área vazada prevista nos dois dispositivos criados: dispositivo 1 – 52,2% e dispositivo 2 – 39,0%

O apêndice G, página 54, traz, em termos espectrais, os resultados dos cálculos de AT para os mesmos dispositivos 1 e 2 e ainda as perdas por transmissão acústica do atenuador RAS-2F fornecidas pela TCA-Somax. Os valores dos coeficientes de absorção do eurolon, usados nos cálculos, podem ser visualizados na tabela de coeficientes de absorção sonora listados no apêndice P, página 63.

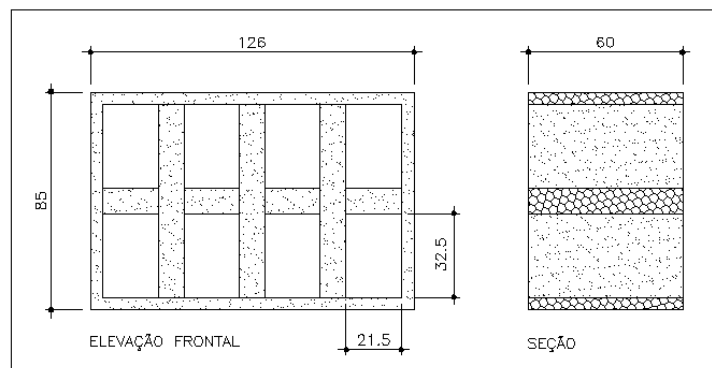


Figura 9 – Dispositivo Atenuador de Ruído1
Fonte: elaborado pelo autor, 2011

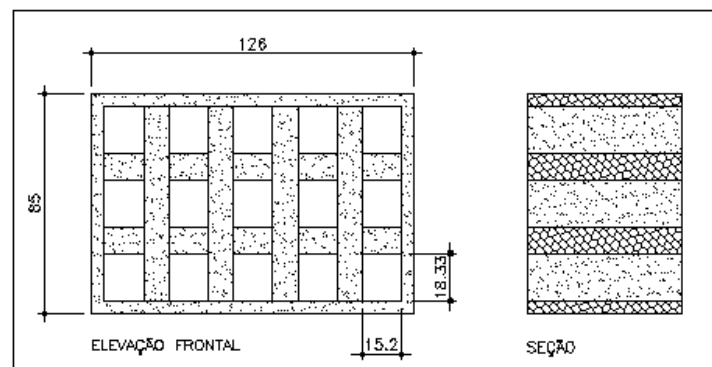


Figura 10 – Dispositivo Atenuador de Ruído 2
Fonte: elaborado pelo autor, 2011

3.4 Perda por transmissão acústica composta

Com os métodos descritos (seções 3.1, 3.2 e 3.3) torna-se viável avaliar a perda de som por transmissão através de uma parede simples, dupla ou de um dispositivo atenuador de ruído, enfim, componentes unitários. Como normalmente uma parede pode ser a associação de um ou mais tipos de fechamento, como é o caso de paredes que possuam janelas, tem-se que recorrer a um procedimento que permite quantificar o desempenho global de uma parede e que leva em consideração a contribuição de cada componente desta na perda por transmissão do som, agora chamada de perda por transmissão acústica composta (PTC).

Novamente Gerges (2000) traz um modelo matemático que descreve a PTC o qual se segue:

$$PTC = 10 \times \log \left[\frac{\sum_{i=1}^n s_i}{\sum_{i=1}^n (s_i \times t_i)} \right] \quad PT = 10 \log \frac{1}{t} \quad \cdot \quad t = 10^{(-PT/10)}$$

Onde:

PTC = perda por transmissão acústica composta [dB]

s_i = área da superfície i [m^2]

t_i = transmissividade do material componente da superfície i [adimensional]. Varia de 0 (teoricamente material que não permite passagem do som através dele) a 1 (vão de abertura de janelas que permite a passagem desimpedida do som).

No apêndice H, página 55, foi calculada espectralmente a transmissividade dos componentes identificados na elevação lateral direita do salão de refeições do restaurante.

Para o caso em estudo, conforme já mencionado, essa parede é a que mais contribui na atenuação dos ruídos produzidos no salão de refeições e que atingirão a residência vizinha, pois é ela que, efetivamente, os separa.

O apêndice I, página 56, traz o desenho da elevação interna dessa parede com a identificação e caracterização dos componentes da mesma e a listagem de áreas resumida. Foram produzidas as duas situações: a alternativa 1 em que se manteve a

sua composição original e foram inseridas três janelas e a alternativa 2, onde foram feitas mais modificações conforme descrito na seção 1.4 desta monografia.

A partir daí fez-se a análise do desempenho desta parede para as alternativas 1 e 2. Para cada alternativa foram feitas duas análises, uma com as janelas fechadas e outra com as janelas abertas. Os resultados relativos à PTC (APÊNDICE J, página 57) serão mais detalhadamente avaliados na conclusão desse trabalho.

3.5 Barreira acústica

Dentre as estratégias para se promover a atenuação do ruído produzido no salão de refeições, cogitou-se na possibilidade de se promover a adequação do muro de divisa, de modo que o mesmo configurasse uma barreira acústica eficaz. Para tanto, o mesmo teve sua altura modificada para 3 metros, com o acréscimo de 1,5m, e com isso ele passou a ter a mesma altura do painel/ barreira acústica criado na fachada frontal.

Para se avaliar a contribuição que a barreira acústica representa na atenuação do ruído que consegue ultrapassar a parede de fechamento do salão e que alcança a residência vizinha, foi utilizado o trabalho de Beranek (1988).

Assim, para o cálculo da atenuação do som gerado por uma barreira deve-se calcular o chamado “Número de Fresnel” (N), que relaciona as distâncias fonte/receptor, fonte/ barreira, barreira/receptor e o comprimento de onda do som emitido na frequência desejada.

$$N = 2 \times [d' - (A' + B')] / \lambda \qquad \lambda = c/f$$

Onde

N – Número de Fresnel (adm.)

d' - menor distância entre a fonte e o receptor (m)

A' - distância entre a fonte e o ponto mais elevado da barreira na direção fonte/receptor (m)

B' - distância entre o ponto mais elevado da barreira e o receptor na direção fonte/receptor (m)

λ - comprimento da onda sonora (m)

c - velocidade do som = 343 m/s

f - frequência (Hz)

Uma vez calculado o número de Fresnel N verificamos no gráfico do apêndice L, página 58, para cada valor de N , em função da frequência investigada (nas abscissas), a absorção correspondente (nas ordenadas) em dB. No mesmo anexo há a representação da seção que relaciona as distâncias entre o emissor, receptor e barreira do caso em estudo e, por fim, é também representada uma tabela, em termos espectrais, com os resultados de atenuação previstos para a barreira idealizada em função do Número de Fresnel obtido para cada frequência investigada.

3.6 Tempo de reverberação

Outro fato importante a se considerar, que diretamente influi na grandeza da emissão de ruído pelo salão, é a capacidade do próprio ambiente absorver parte do som gerado, minimizando sua contribuição na intensidade daquele que é emitido.

Assim recorre-se a outro conceito o de tempo de reverberação:

Qualquer som produzido em um ambiente fechado persiste, sempre, nos nossos ouvidos, devido às múltiplas reflexões produzidas nas suas paredes e superfícies internas. Quanto mais rijas e polidas forem essas superfícies maior será a persistência sonora e o tempo de reverberação do local. (SILVA, 2005, p.144)

Portanto, o uso de materiais absorventes, no salão, reduz o tempo de reverberação e, conseqüentemente, o nível de ruído que atingirá a casa vizinha.

Esse controle do tempo de reverberação foi amplamente estudado e estabeleceu-se o tempo ótimo para cada ambiente em função do uso que o mesmo abriga. Assim,

uma sala de música requer um tempo de reverberação maior do que uma sala para conferências.

Para o cálculo do tempo de reverberação vale a fórmula de Sabine:

$$TR = \frac{0,161 \times V}{\sum_{i=1}^n S_n \times \alpha_n}$$

Onde:

TR - tempo de reverberação [s]

V - volume do ambiente em estudo'' [m^3]

S_n – área da superfície do material n [m^2]

α_n – coeficiente de absorção do material n [*adm.*]

Para o caso em questão, o volume calculado do ambiente é de 215,5m³. A elevação e caracterização das superfícies internas da envoltória do salão bem como as plantas de piso e forro estão representadas nos apêndices M, página 59 e N, página 60. Os apêndices O, página 61, e P, página 62, indicam um resumo geral dos quantitativos levantados para as duas situações: com elevação 6 original e com elevação 6 modificada, respectivamente, e o apêndice Q, página 63, os coeficientes de absorção de cada material empregado nas superfícies internas.

Foram desenvolvidos 2 cálculos para o coeficiente de reverberação. Em ambos os casos consideraram-se as janelas e portas frontais abertas, situação mais usual para essas esquadrias no funcionamento do restaurante, e para a elevação 6 (lateral direita) foi considerada a alternativa 2 (parede modificada) A variação que gerou dois valores do tempo de reverberação foi a abertura ou fechamento das janelas da elevação 6.

O apêndice R, página 64, traz os resultados dos cálculos do tempo de reverberação nas duas situações. Há ainda, no mesmo apêndice, um gráfico no qual, a partir do volume do ambiente em estudo e do TR calculado, no caso para a frequência de 500Hz, pode-se verificar se a condição do recinto é apropriada para a atividade que

abriga. Assim, lançando-se os valores de TR encontrados e o volume do salão pode-se constatar que o espaço do mesmo é pouco reverberante.

3.7 Perda acústica pela absorção dos materiais

Conforme já mencionado na seção 1.4 dessa monografia, uma última estratégia para se alcançar a redução do nível sonoro de um ambiente é o tratamento das superfícies internas com materiais acusticamente absorventes, de modo que o espaço interno resulte mais “surdo”, menos reverberante.

A avaliação do tempo de reverberação do salão, entretanto, evidencia que o ambiente, tal como concebido, já tem um nível razoável de absorção. Parte dessa condição é fruto da inserção do forro de madeira suspenso com manta de lã de vidro ensacada, do revestimento de vermiculite acústico das alvenarias da elev.1 conforme indicado no apêndice M, página 59, e dos demais materiais e mobiliário usados.

Ainda segundo Egan (1941), dobrando-se a capacidade de absorção de um ambiente alcança-se uma redução aproximada de 3 dBs do nível de ruído interno o que, no caso em questão, teria um custo muito significativo para o empreendedor uma vez que, conforme relatado, o ambiente já tem uma quantidade considerável de materiais de absorção acústica.

Assim, se a conclusão de que o nível de absorção sonora do espaço projetado é razoável, resta saber o que, efetivamente, ele significa em termos de redução do nível sonoro do ambiente. Para tanto Egan (1941) lança o conceito de perda por absorção (R_a) que é fruto da absorção total do recinto (A). Assim temos:

$$A = \sum[(S_1 \times \alpha_1) + (S_2 \times \alpha_2) + \dots] + \sum[(n_1 \times A_1) + (n_2 \times A_2) + \dots] + (X \times V) \text{ <sabine>}$$

$$R_a = 10 \times \log (A/S) \text{ <dB>}$$

Onde:

A - absorção total do recinto receptor <sabine>

S_i - é a área de cada material das superfícies da envoltória do recinto. <m²>

α_i - coeficiente de absorção de cada material <adm.>

n_i - é o número de objetos de um determinado tipo presente no recinto (mobiliário e/ou pessoas)

A_i - é o coeficiente de absorção de cada objeto <adm.>

X - é o coeficiente de absorção do ar, em determinadas condições de temperatura e umidade relativa <adm.>

V - é o volume do recinto < m^3 >

R_a - perda por absorção <dB>

S - área total da parede transmissora < m^2 >

Nota: Para o caso em questão, em função do pequeno volume, o terceiro termo da equação de A ($X \times V$) pode ser desprezado

O resultado dos cálculos referentes à absorção total do recinto e à perda por absorção para o salão de refeições podem ser vistos no apêndice S, página 65, para a solução com a elevação 6 original (alternativa 1) e no apêndice T, página 66, para a solução com a elevação 6 modificada (alternativa 2).

Nos respectivos apêndices é também indicado o índice de redução sonora do ambiente (R) que é resultante da somatória da perda por absorção (R_a) à perda acústica por transmissão composta (PTC). Assim temos:

$$R = R_a + PTC \text{ <dB>}$$

O valor R calculado para o caso em questão indica o decréscimo do nível do ruído produzido no salão de refeições que atravessa a elevação 6 (lateral direita) e que nessa trajetória sofre a influência da PTC gerada pela citada parede e da absorção interna do salão.

Os cálculos para A , R_a e R foram sempre feitos para duas situações: as esquadrias da elevação 6 abertas ou fechadas mas as da elevação frontal sempre abertas.

4 RESULTADOS

4.1 Uso dos exaustores eólicos

Considerando-se o volume do salão ($215,5\text{m}^3$) e as 22 trocas recomendadas pela A.S.H.R.A.E. é necessária a renovação de $4741\text{m}^3/\text{hora}$ de ar o que corresponde à atuação de dois exaustores já que, conforme descrito, os exaustores das empresas consultadas têm uma performance estimada de $2500\text{m}^3/\text{hora}$ para uma velocidade do vento próxima à média registrada em Belo Horizonte.

Conforme já descrito na seção 1.3 desta monografia há uma 3ª unidade adicional colocada com a função de promover a renovação do colchão de ar entre o telhado e o forro existente. Esse exaustor traz ainda a particularidade de ter a ele acoplado um exaustor axial elétrico e, por isso, recebe a designação Eo-Elétrico. Sozinho, mas contando com a atuação do vento e/ou do efeito chaminé, ele é suficiente para promover a renovação do colchão de ar do telhado cujo volume é de $92,5\text{m}^3$. O exaustor axial elétrico é um recurso extra previsto para atuar somente em situações onde a falta total de ventilação comprometa o conforto do espaço. Nestes momentos, ele pode ser acionado e seu desempenho, que promove uma vazão de $8400\text{m}^3/\text{h}$ segundo catálogo do fabricante Rotiv, é suficiente para promover mais do que as 22 renovações solicitadas para todo o volume de ar do ambiente em estudo incluindo o salão e o colchão de ar do telhado. O único inconveniente de sua atuação é, além do gasto de energia elétrica, o ruído que produz. Para fazer frente a esse segundo aspecto, como o exaustor axial elétrico está protegido pelo forro podem ser criadas barreiras acústicas para atenuar o ruído gerado pelo seu funcionamento sem qualquer prejuízo estético.

4.2 Avaliação final das estratégias de controle do nível acústico

A partir dos cálculos de perda acústica desenvolvidos e da estimativa do nível acústico gerado no salão de refeições são apresentadas, nos quadros 2 e 3, página 38, para a solução com a elevação 6 original (alternativa 1) e nos quadros 4 e 5, página 39, para a solução com a elevação 6 modificada (alternativa 2), as estimativas do nível de ruído que atingirão o receptor (casa vizinha). Assim, para cada faixa espectral, subtraiu-se do nível de ruído gerado no salão (estimado) o

índice de redução sonora do ambiente (R). Nos mesmos quadros foi, ainda, contemplada a possibilidade de atuação da barreira acústica nos cálculos de atenuação. Todos os cálculos foram desenvolvidos considerando-se as esquadrias da elevação frontal abertas e as esquadrias da elevação 6 em duas situações distintas: abertas, ou fechadas.

Quadro 2 - Avaliação da atenuação do ruído que, gerado no salão de refeições, atinge a casa vizinha atravessando a elev.6 original c/ janelas fechadas e a barreira acústica presente ou não.

	Frequência, em [Hz]					
	125	250	500	1k	2K	4k
Nível de ruído gerado (estimado)	83,9	80,8	82,9	80,6	80,5	74,9
R (índice redução sonora ambiente)	29,5	35,7	41,9	48,0	54,0	59,6
Barreira acústica	8,5	10,0	11,7	14,1	17,2	20,2
Nível de ruído no receptor c/ barreira	45,9	35,1	29,3	18,5	9,3	-4,9
Nível de ruído no receptor s/ barreira	54,4	45,1	41,0	32,6	26,5	15,3

Fonte: elaborado pelo autor, 2011

Quadro 3 - Avaliação da atenuação do ruído que, gerado no salão de refeições, atinge a casa vizinha atravessando a elev.6 original c/ janelas abertas e a barreira acústica presente ou não.

	Frequência, em [Hz]					
	125	250	500	1k	2K	4k
Nível de ruído gerado (estimado)	83,9	80,8	82,9	80,6	80,5	74,9
R (índice redução sonora ambiente)	10,5	10,8	10,9	11,0	11,1	10,6
Barreira acústica	8,5	10,0	11,7	14,1	17,2	20,2
Nível de ruído no receptor c/ barreira	64,9	60,0	60,3	55,5	52,2	44,1
Nível de ruído no receptor s/ barreira	73,4	70,0	72,0	69,6	69,4	64,3

Fonte: Elaborado pelo autor, 2011

Quadro 4 - Avaliação da atenuação do ruído que, gerado no salão de refeições, atinge a casa vizinha atravessando a elev.6 modificada c/ janelas fechadas e a barreira acústica presente ou não.

	Frequência, em [Hz]					
	125	250	500	1k	2K	4k
Nível de ruído gerado (estimado)	83,9	80,8	82,9	80,6	80,5	74,9
R (índice redução sonora ambiente)	25,5	32,3	37,6	45,7	44,8	40,4
Barreira acústica	8,5	10,0	11,7	14,1	17,2	20,2
Nível de ruído no receptor c/ barreira	49,9	38,5	33,6	20,8	18,5	14,3
Nível de ruído no receptor s/ barreira	58,4	48,5	45,3	34,9	35,7	34,5

Fonte: elaborado pelo autor, 2011

Quadro 5 - Avaliação da atenuação do ruído que, gerado no salão de refeições, atinge a casa vizinha atravessando a elev.6 modificada c/ janelas abertas e a barreira acústica presente ou não.

	Frequência, em [Hz]					
	125	250	500	1k	2K	4k
Nível de ruído gerado (estimado)	83,9	80,8	82,9	80,6	80,5	74,9
R (índice redução sonora ambiente)	10,5	10,6	10,8	10,9	11,0	10,5
Barreira acústica	8,5	10,0	11,7	14,1	17,2	20,2
Nível de ruído no receptor c/ barreira	64,9	60,2	60,4	55,6	52,3	44,2
Nível de ruído no receptor s/ barreira	73,4	70,2	72,1	69,7	69,5	64,4

Fonte: Elaborado pelo autor, 2011

Para a confirmação da propriedade dos resultados frente à legislação do município de Belo Horizonte fez-se uso do gráfico de curvas isofônicas desenvolvido por Fletcher e Mundson. As curvas isofônicas correspondem à percepção psicológica que o ser humano tem do som já que, segundo Carvalho (2010, p.35), “O ouvido humano não percebe sons de frequências diferentes de forma igual.”

Assim foi sobreposto ao gráfico de curvas isofônicas os valores calculados para o nível de ruído estimado no receptor nas diferentes situações: parede original ou parede modificada e janelas da elevação 6 abertas ou fechadas.

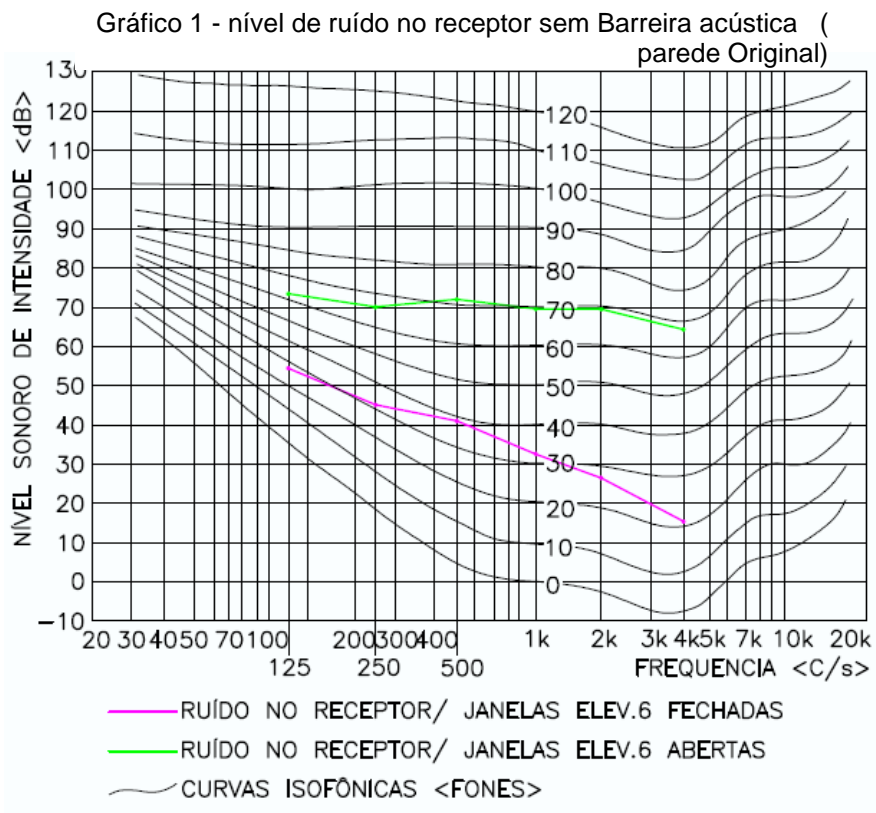
A partir daí puderam ser tecidas várias considerações a respeito das alternativas propostas.

Antes, porém, é interessante ser explicada a idéia básica que norteou a concepção do projeto no que diz respeito à interação ventilação natural e conforto acústico:

A idéia primordial foi a de que a abertura das esquadrias da elevação lateral direita estaria vinculada aos períodos indicados na legislação municipal. Assim, estimou-se que, no período diurno (7 às 19:00hs), essas esquadrias poderiam permanecer abertas. Nos períodos posteriores, seriam fechadas deixando para as esquadrias da elevação frontal (dependendo do sentido de deslocamento dos ventos) e para as aberturas dos dispositivos acústicos a função de prover o espaço da entrada de ar necessária para o conforto térmico do mesmo. Essa entrada de ar a partir dos dispositivos de controle acústico, entretanto, estaria condicionada, também, à abertura da veneziana em madeira instalada em suas faces internas de modo que, em períodos de frio intenso, pudesse ser bloqueada a entrada de ar com o seu fechamento. Considerou-se, também, que o restaurante encerraria suas atividades às 24:00hs. Com relação à barreira acústica proposta, a sua existência, inevitavelmente, reduzirá a entrada de ventilação pelas janelas que ela protege, ainda que o uso dos exaustores eólicos gere, no interior do salão, uma pressão negativa que tende, por sucção, a provocar a entrada de ar pelas aberturas. Com base no que foi exposto e a partir da análise dos gráficos desenvolvidos é que poderão ser escolhidas as soluções mais apropriadas a serem implementadas.

A seguir são representados os gráficos mencionados e as considerações a respeito da eficiência e limitações de cada situação considerada:

4.2.1 Avaliação do nível de ruído no receptor com janelas fechadas/ abertas e sem barreira acústica (parede original)



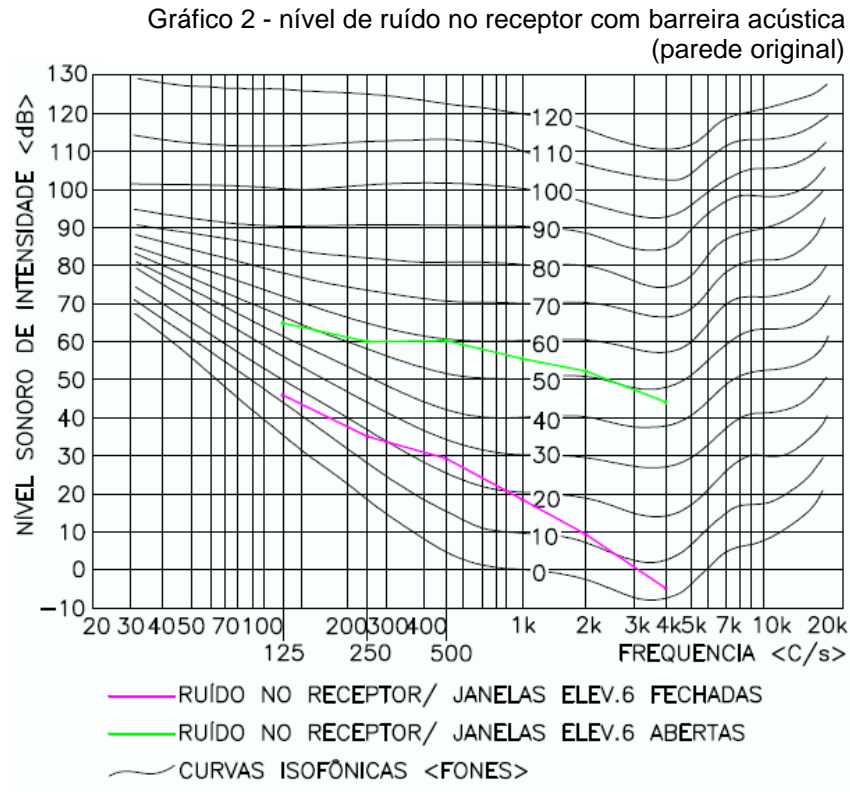
Fonte: elaborado pelo autor, 2011

Para este 1º gráfico que avalia a parede original sem o uso da barreira acústica temos:

- Com janelas fechadas não há impedimento ao funcionamento do restaurante em qualquer período do dia ou da noite no que diz respeito aos impactos acústicos que seu funcionamento gera na vizinhança; entretanto o conforto térmico fica comprometido;

-Com as janelas abertas praticamente apenas no período diurno (até 19:00hs) é viável o funcionamento do restaurante.

4.2.2 Avaliação do nível de ruído no receptor com janelas fechadas/ abertas e com barreira acústica (parede original)



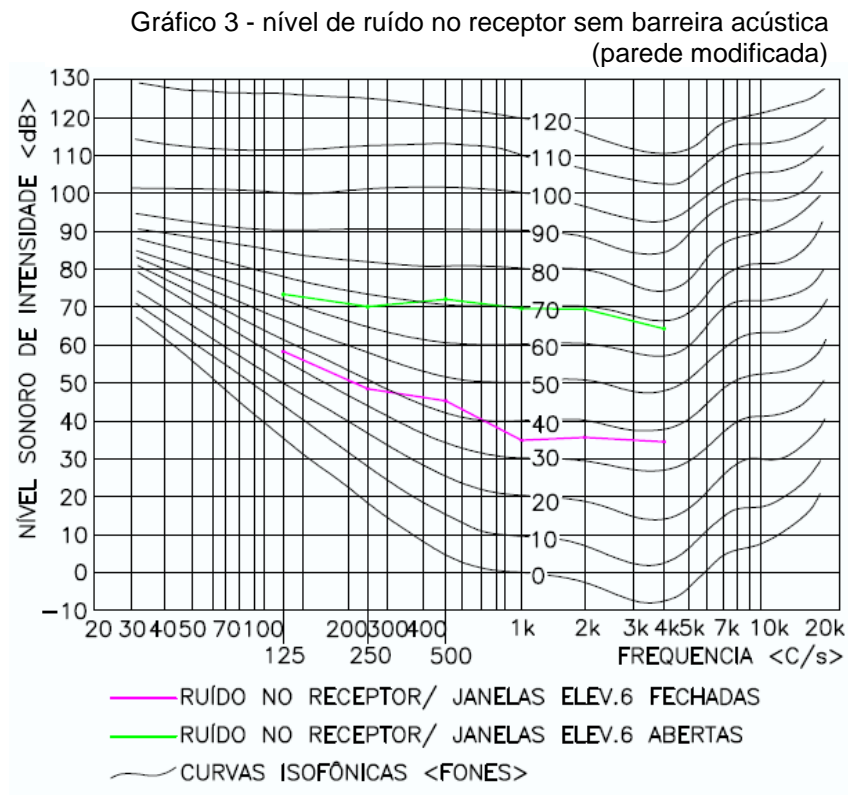
Fonte: elaborado pelo autor, 2011

Para este 2º gráfico que avalia a parede original com o uso da barreira acústica temos:

- Com janelas fechadas não há impedimento ao funcionamento do restaurante em qualquer período do dia ou da noite no que diz respeito aos impactos acústicos que seu funcionamento gera na vizinhança; entretanto o conforto térmico fica comprometido;

-Com as janelas abertas o funcionamento do restaurante pode se estender até o período vespertino (até 22:00hs).

4.2.3 Avaliação do nível de ruído no receptor com janelas fechadas/ abertas e sem barreira acústica (parede modificada)



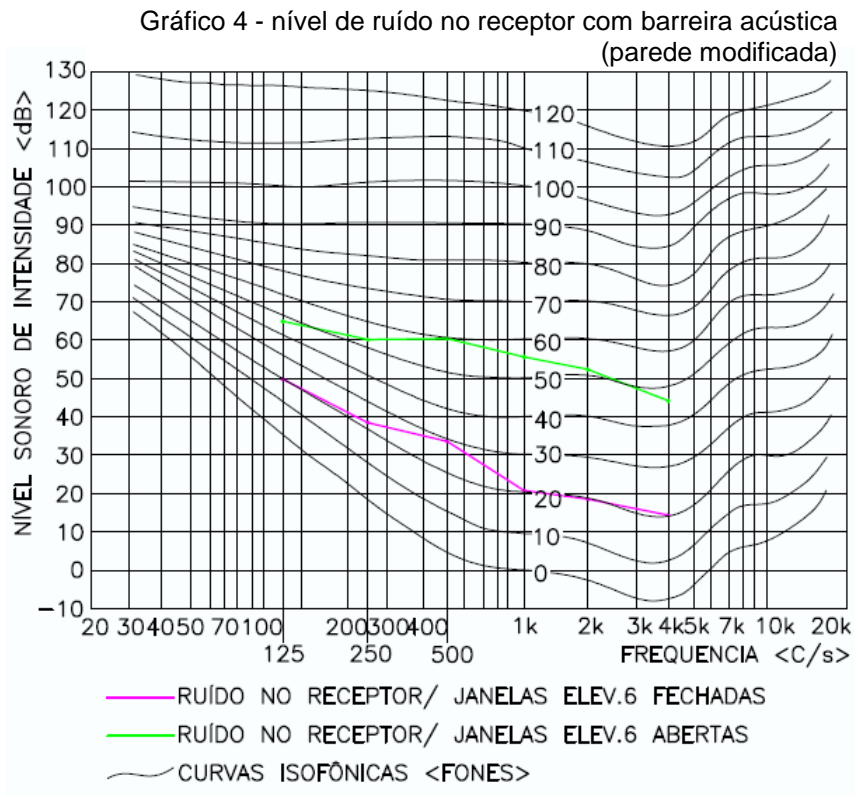
Fonte: elaborado pelo autor, 2011

Para este 3º gráfico que avalia a parede modificada sem o uso da barreira acústica temos:

- Com janelas fechadas não há impedimento ao funcionamento do restaurante em qualquer período do dia ou da noite no que diz respeito aos impactos acústicos que seu funcionamento gera na vizinhança e é garantida a entrada de ar através do dispositivo acústico;

-Com as janelas abertas o funcionamento do restaurante pode se estender dentro do período diurno (até 19:00hs).

4.2.4 Avaliação do nível de ruído no receptor com janelas fechadas/ abertas e com barreira acústica (parede modificada)



Fonte: elaborado pelo autor, 2011

Para este 4º gráfico que avalia a parede modificada com o uso da barreira acústica temos:

- Com janelas fechadas não há impedimento ao funcionamento do restaurante em qualquer período do dia ou da noite no que diz respeito aos impactos acústicos que seu funcionamento gera na vizinhança e é garantida a entrada de ar através do dispositivo acústico;

-Com as janelas abertas o funcionamento do restaurante pode se estender até o período vespertino (até 22:00hs).

5 CONCLUSÃO

O trabalho desenvolvido buscou investigar a viabilidade de se promover a integração da ventilação natural e controle acústico em uma edificação. Para tanto, partiu de um caso de estudo, o salão de refeições do projeto de um restaurante.

Assim, a partir do reconhecimento das soluções usualmente empregadas e das técnicas desenvolvidas para se fazer a avaliação qualiquantitativa dessas soluções, o projeto do salão de refeições foi objeto de estudos que culminaram no planejamento e proposição de intervenções que permitiram viabilizar o objetivo almejado.

No desenvolvimento do projeto, um fato importante a se destacar foi a necessidade de se promover o reforço da circulação do ar, no salão, através do uso dos exaustores eólicos, para compensar não somente a ausência de aberturas de exaustão, mas também fazer frente aos impedimentos intencionalmente impostos à livre entrada do ar, a partir da fachada lateral direita, sem os quais ficaria comprometido o controle dos ruídos emitidos pelo salão. Desta forma, quando se optou pelo uso dos dispositivos atenuadores de ruído e se limitou a área de entrada de ar, nos momentos em que as janelas estão fechadas, fez-se necessário criar algum mecanismo que incrementasse a circulação de ar no ambiente. Do mesmo modo, a presença da barreira acústica é outro limitador da atuação dos ventos e reforça a necessidade de se criar artifícios compensatórios na melhoria do desempenho das trocas de ar.

Se duas das três estratégias usadas para controle acústico: barreira acústica, e dispositivos de atenuação de ruído, levam à redução da eficiência da circulação do ar, a terceira estratégia usada não interfere na ventilação. Trata-se do incremento da capacidade do próprio ambiente absorver parte do nível sonoro produzido no seu interior. Para tanto, fez-se o tratamento das superfícies internas com materiais absorventes, reduzindo-se o tempo de reverberação e evitando o reforço do ruído gerado pelas suas múltiplas reflexões que superfícies polidas e pouco absorvedoras produzem.

Com relação aos resultados alcançados para o caso de estudo frente aos critérios impostos pela legislação do município de Belo Horizonte e representados nos

gráficos 1 a 4 da seção 4.2, páginas 41 a 44, é interessante constatar que o comportamento das duas soluções apresentadas, Parede Original e Parede Modificada, no que se refere ao nível de ruído que atinge a casa vizinha, é muito semelhante. Esse aspecto fica bem evidente quando se constata que os horários viáveis para o funcionamento do restaurante para ambas as soluções com janelas abertas ou fechadas, respectivamente, é o mesmo. O que, efetivamente, faz a diferença entre as opções propostas é o fato de naquela onde há o dispositivo de atenuação de ruídos ser possível a entrada de ar, mesmo com as janelas fechadas, ao passo que, na outra alternativa, a entrada de ar só se viabiliza com a abertura das janelas.

Outro fato importante a ser destacado é que o nível de ruído estimado, correspondente ao nível acústico máximo medido em um restaurante similar, está majorado uma vez que o ambiente analisado, ainda que de capacidade próxima à do restaurante projetado, é mais amplo e possui revestimentos menos absorventes, configurando um espaço bem mais reverberante. Ainda assim foi feito uso dessa referência, já que, ao atender a um nível acústico mais elevado, o suposto erro serve como fator de segurança para os cálculos.

Finalmente, vale ressaltar que, no desenvolvimento dos trabalhos, ficou evidente a precisão dos conceitos e métodos estudados que tornam o lidar com questões acústicas menos intuitivo e o processo passa a ter um respaldo matemático/científico. No entanto, é também importante uma vivência mais prática: a Academia deve se aproximar do mercado produtivo. Tal aproximação traria ganhos bilaterais e seria contínuo o aperfeiçoamento dos métodos e experiências. Esse aspecto ficou evidente quando o procedimento para a idealização de um dispositivo de atenuação de ruídos evidenciou essa distância: o produto do mercado tem um desempenho superior ao daquele gerado a partir de modelos matemáticos. Não obstante, o trabalho desenvolvido evidencia que é possível conciliar ventilação natural e isolamento acústico. Cada um dos parâmetros deve se ajustar, sofrendo concessões em prol da totalidade. Assim ao arquiteto cabe fazer o balanço dessas concessões, priorizando as condições fundamentais para o melhor desempenho da edificação.

REFERÊNCIAS

BERANECK, L. L. In: Noise and Vibration Control. Washington, INCE, 1988

CARVALHO, Régio Paniago. Acústica Arquitetônica. 2. ed. Brasília: Thesaurus, 2010. 238p.

De MARCO, Conrado Silva. Elementos de Acústica Arquitetônica. 1. ed. São Paulo: Nobel, 1940. 129p.

EGAN, M David. Sound Absorption. In: Architectural Acoustics. U.S.A.: J. Ross Publishing, 1941. p. 37-80.

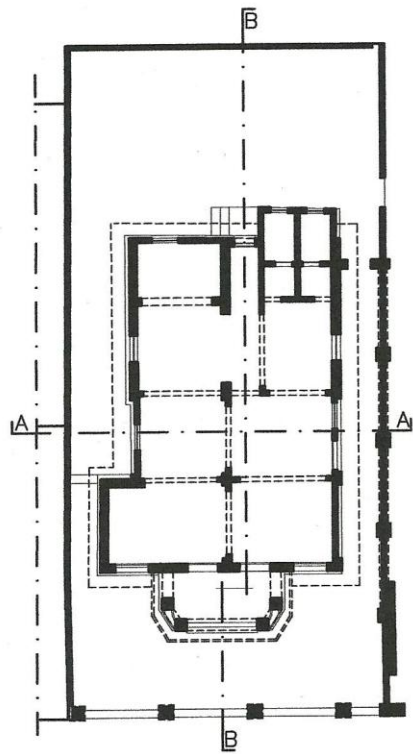
EGAN, M David. Noise reduction between rooms. In: Architectural Acoustics. U.S.A.: J. Ross Publishing, 1941. p. 192-196.

GERGES, Samir Nagi Yousri. Isolamento de ruído. *In: Ruído: Fundamentos e Controle. Florianópolis: NR Editora, 2000. p. 187-224.*

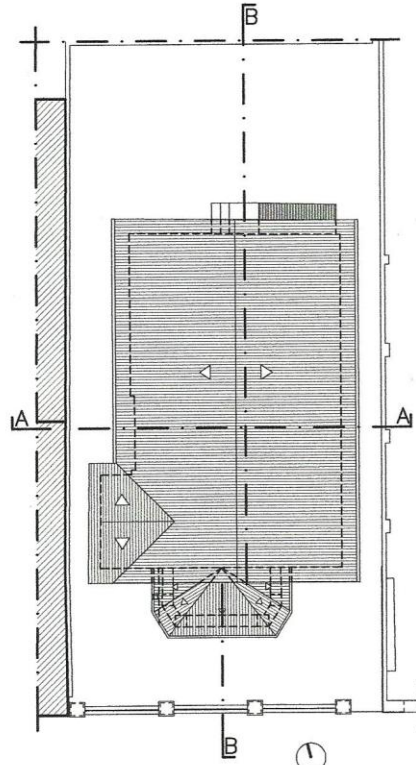
GERGES, Samir Nagi Yousri. Controle de Ruído das Máquinas. *In: Ruído: Fundamentos e Controle. Florianópolis: NR Editora. 2000. p.505-517.*

GEROLLA, Gioanny. Contenção Acústica. *Téchne, São Paulo, n.173, p.44-51, ago.2011.*

SILVA, Péricles. Acústica Arquitetônica & Condicionamento de ar. 5. ed. Belo Horizonte: EDTAL, 2005. p. 1-192.

APÊNDICE A – LEVANTAMENTO CONSTRUÇÃO EXISTENTE

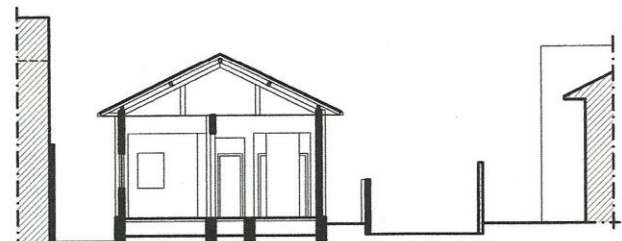
PAVTO. TÉRREO
0 5



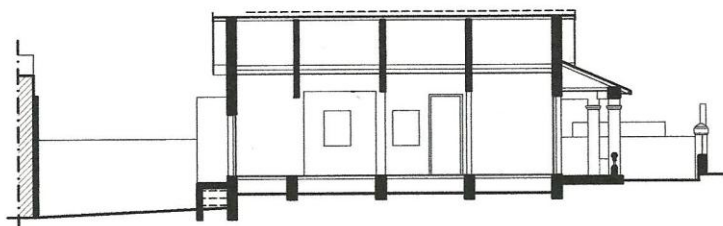
COBERTURA



FACHADA FRONTAL

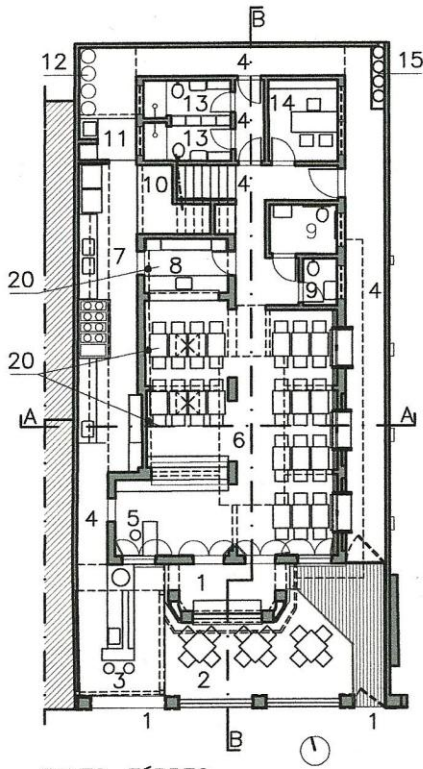


SEÇÃO AA



SEÇÃO BB

APÊNDICE B – PROJETO RESTAURANTE



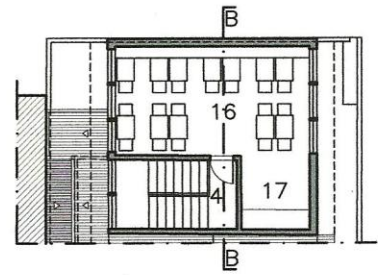
PAVTO. TÉRREO

1. Acesso
 2. Pátio descob.
 3. Lanchonete
 4. Circulação
 5. Caixa
 6. Salão
 7. Cozinha
 8. Copa/bebidas
 9. I.S.
 10. Dep. Bebidas
 11. Serviço
 12. Lixo
 13. Vestiário
 14. Administração
 15. Gás
 16. Sala privativa
 17. Apoio
 18. Exaustor "eo-elétrico"
 19. Exaustor eólico
 20. 'Rasgo' forro p/entrada ar vazio telhado
- ☒ Grelha exaustão ar

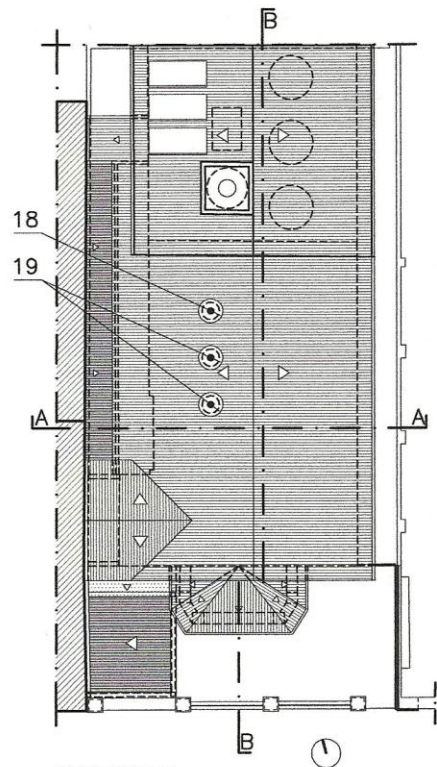
0 5



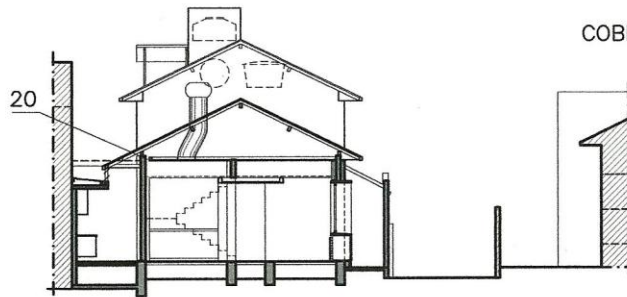
FACHADA FRONTAL



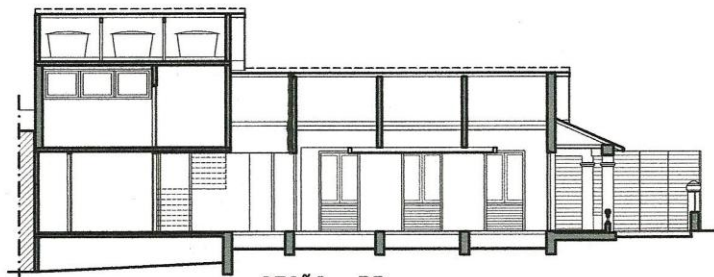
NÍVEL SUPERIOR



COBERTURA



SEÇÃO AA

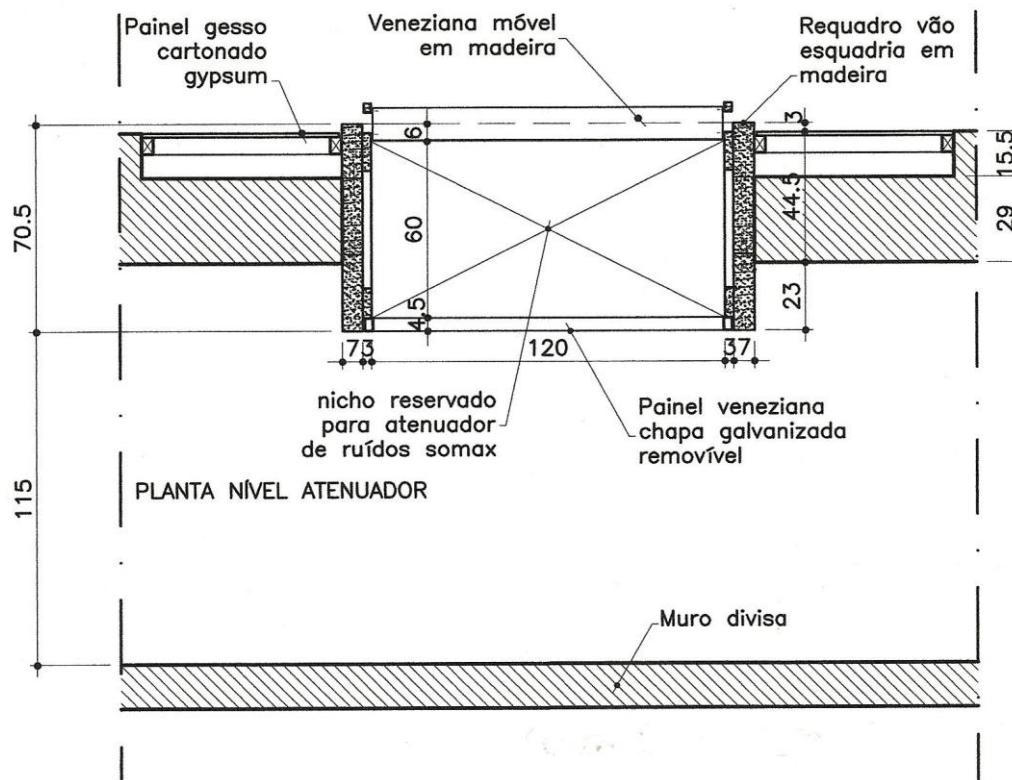
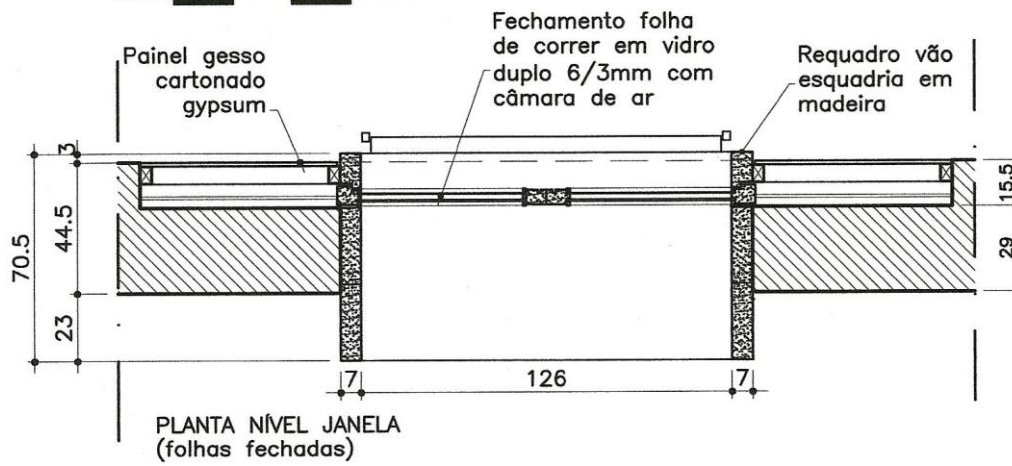
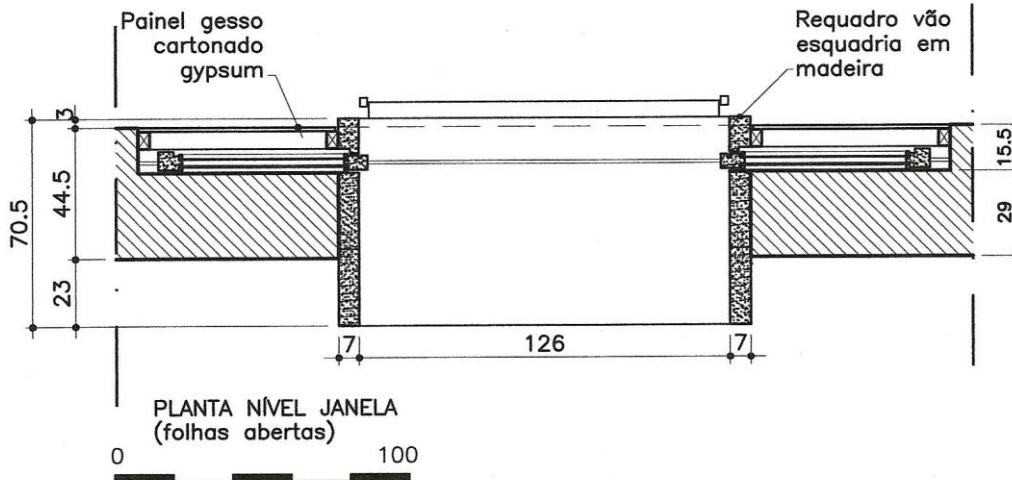


SEÇÃO BB

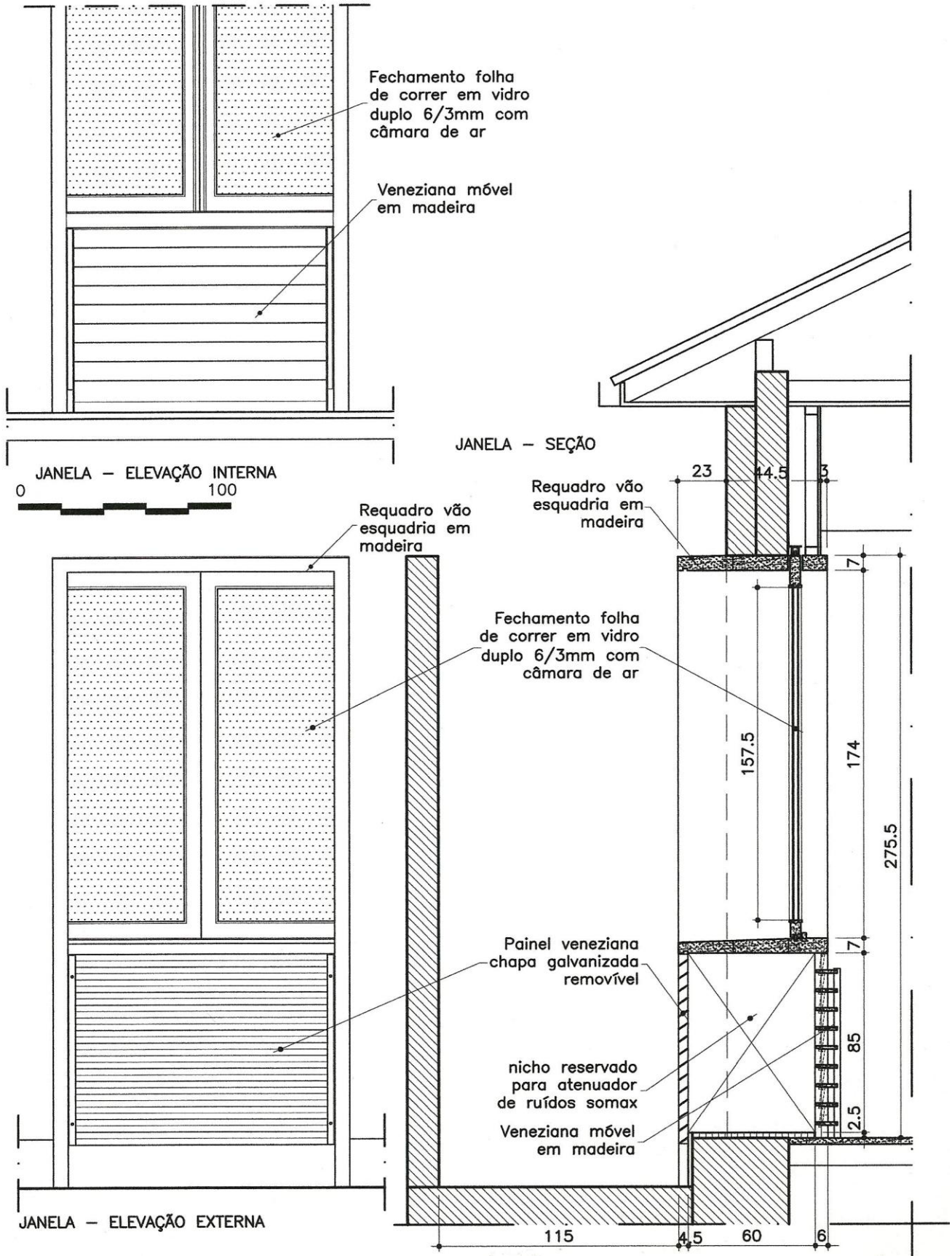
APÊNDICE C – PERSPECTIVAS PROJETO RESTAURANTE



APÊNDICE D – PROJ. ESQUADRIAS FACHADA LATERAL DIREITA - ELEV.6



APÊNDICE E – PROJ. ESQUADRIAS FACHADA LATERAL DIREITA - ELEV.6



APÊNDICE F - PERDA POR TRANSMISSÃO ACÚSTICA DE ALGUNS ELEMENTOS

Densidade (D) de materiais empregados:

Tijolo cerâmico	1800 Kg/m ³	Vidro	2500 Kg/m ³
Madeira (ipê)	1100 Kg/m ³	Reboco/ argamassa	1600 Kg/m ³
Gesso cartonado	800 Kg/m ³		

Massa de alguns componentes - $M = D \times e$ <Kg/m²> onde "D" - densidade e "e" - espessura

Parede 15cm (2,5cm reboco + 10cm tijolo maciço + 2,5cm reboco)	260 Kg/m ²
Parede 29cm (2,5cm reboco + 10cm tijolo maciço + 4cm argamassa + 10cm tijolo maciço + 2,5cm de reboco)	504 Kg/m ²
Parede 44,5cm (2,5cm reboco + 39,5cm tijolo maciço + 2,5cm reboco)	791 Kg/m ²
Vidro 3mm	7,5 Kg/m ²
Vidro 6mm	15 Kg/m ²
Madeira maciça - ipê - espessura 3cm	33 Kg/m ²
Madeira maciça - ipê - espessura 5cm	55 Kg/m ²
Madeira maciça - ipê - espessura 70,5cm	775,5 Kg/m ²
Gesso cartonado Gypsum - espessura 1,25cm	10 Kg/m ²

Perda por transmissão acústica em termos espectrais de componentes $PT = 20 \times \log(M \times f) - 47,4$ <dB> onde M - massa e f - frequência

Material/ componente	Massa Kg/m ²	Frequência, em [Hz]					
		125	250	500	1k	2K	4k
Parede 15cm	260	42,8	48,8	54,8	60,8	66,8	72,8
Parede 29cm	504	48,6	54,6	60,6	66,6	72,6	78,6
Parede 44,5cm	791	52,5	58,5	64,5	70,5	76,5	82,5
Vidro 3mm	7,5	12,0	18	24	30	36	42
Vidro 6mm	15	18	24	30	36	42	48
Madeira 3cm	33	25	31	37	43	49	55
Madeira 5cm	55	29,3	35,3	41,3	47,3	53,3	59,3
Madeira 70,5cm	775,5	52,3	58,3	64,3	70,3	76,3	82,3
Gesso cartonado	10	14,5	20,5	26,5	32,5	38,5	44,5

APÊNDICE G - PERDA POR TRANSMISSÃO ACÚSTICA DE ALGUNS ELEMENTOS – CONTINUAÇÃO

Perda por transmissão acústica em termos espectrais p/ sistemas massa + câmara de ar + massa

sistema	Massa Kg/m ²	Frequência, em [Hz]					
		125	250	500	1k	2K	4k
vidro 3mm/ c.ar 20mm/ vidro 6mm (Sist. A)	7,5	21,6	27,3	45,3	63,3	81,3	96
	15	# fi =	## 5,73	## fmam =	## 187,62	## fs =	### 2730,89
gesso 1,25 cm/ c.ar 14,25cm/ pde. 29cm (Sist. B)	10	59,4	77,4	93,1	105,1	117,1	129,1
	504	## fi =	## 0,25	### fmam =	### 50,19	### fs =	### 383,28

$$f_i = \{(\rho \times c) / [\pi \times (M_1 + M_2)]\}$$

$$f_{mam} = [c / (2 \times \pi)] \times \{(\rho/d) \times [(M_1 + M_2) / (M_1 \times M_2)]\}^{-2}$$

$$f_s = [c / (2 \times \pi \times d)]$$

c (velocidade do som) = 343m/s

ρ (densidade do ar) = 1,18Kg/m³

d (espessura câmara de ar)

Para $f_i < f < f_{mam}$ $PT = 20 \times \log[(M_1 + M_2) \times f] - 47,4 <dB>$

Para $f_{mam} < f < f_s$ $PT = PT_1 + PT_2 + 20 \times \log(4 \times \pi \times d \times f/c) <dB>$

Para $f > f_s$ $PT = PT_1 + PT_2 + 6 <dB>$

f_i - frequência inferior

f_{mam} - frequência Média

f_s - frequência superior

M_1 - massa da parede 1

M_2 - massa da parede 2

Perda por transmissão acústica em termos espectrais p/ dispositivos atenuadores de ruídos que permitem passagem de ar. <dB>

	Frequência, em [Hz]					
	125	250	500	1k	2K	4k
Dispositivo somax Linha RAS-2F <dB>	13	20	24	32	31	27
Dispositivo 1 <dB> por metro linear (profundidade)	1,7 De=	3,7 1,08 m	8,9 S=	11,9 0,07 m ²	x	x
Dispositivo 1 <dB> 0,6m de profundidade	1,0	2,2	5,3	7,1	x	x
Dispositivo 2 <dB> por metro linear (profundidade)	2,7 De=	5,8 0,67 m	13,8 S=	18,5 0,03 m ²	x	x
Dispositivo 2 <dB> 0,6m de profundidade	1,6	3,5	8,3	11,1	x	x

Para dispositivos 1 e 2:

$$AT = 1,05 \times \alpha^n \times (De/S) \quad \text{onde:}$$

AT - Atenuação <dB>

α - é o coeficiente de absorção do revestimento <adm.>

n = 1,4 <adm.>

De - é o perímetro de revestimento interno das câmaras de passagem de ar do dispositivo <m>

S - é a área da seção interna vazada da câmara <m²>

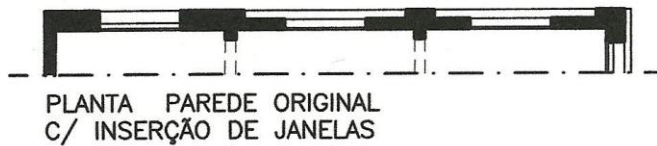
APÊNDICE H - PERDA POR TRANSMISSÃO ACÚSTICA COMPOSTA

PTC (perda por transmissão composta) = $10 \times \log \left\{ \frac{\sum (s_1 + s_2 + \dots)}{\sum [(s_1 \times t_1) + (s_2 \times t_2) + \dots]} \right\}$ <dB>
 t_1 (transmissividade do material 1) = 10^n onde $n = (-PT/10)$
 PT - perda por transmissão do material considerado <dB>
 s_1 - área da superfície 1 <m²>

Transmissividade dos elementos em termos espectrais

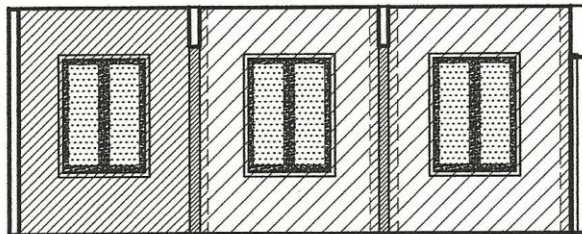
elemento edificação	paramet. acústico	Faixas de frequência, em [Hz]					
		125	250	500	1k	2K	4k
Parede 15cm	PT <dB>	42,8	48,8	54,8	60,8	66,8	72,8
	t <adm.>	5,2E-05	1,31E-05	3,28E-06	8,25E-07	2,07E-07	5,2E-08
Parede 29cm	PT <dB>	48,6	54,6	60,6	66,6	72,6	78,6
	t <adm.>	1,38E-05	3,48E-06	8,74E-07	2,19E-07	5,51E-08	1,38E-08
Parede 44,5cm	PT <dB>	52,5	58,5	64,5	70,5	76,5	82,5
	t <adm.>	5,62E-06	1,41E-06	3,55E-07	8,91E-08	2,24E-08	5,62E-09
Vidro 3mm	PT <dB>	12,0	18,0	24,0	30,0	36,0	42,0
	t <adm.>	0,062526	0,015706	0,003945	0,000991	0,000249	6,25E-05
Vidro 6mm	PT <dB>	18,1	24,1	30,1	36,1	42,1	48,1
	t <adm.>	0,015631	0,003926	0,000986	0,000248	6,22E-05	1,56E-05
Madeira 3cm	PT <dB>	24,9	30,9	36,9	42,9	48,9	54,9
	t <adm.>	0,00323	0,000811	0,000204	5,12E-05	1,29E-05	3,23E-06
Madeira 5cm	PT <dB>	29,3	35,3	41,3	47,3	53,3	59,3
	t <adm.>	0,001163	0,000292	7,34E-05	1,84E-05	4,63E-06	1,16E-06
Madeira 70,5cm	PT <dB>	52,3	58,3	64,3	70,3	76,3	82,3
	t <adm.>	5,85E-06	1,48E-06	3,72E-07	9,33E-08	2,34E-08	5,89E-09
vidro 3mm/ c.ar 20mm/ vidro 6mm (Sist.A)	PT <dB>	21,6	27,3	45,3	63,3	81,3	96,0
	t <adm.>	0,006947	0,001882	2,98E-05	4,73E-07	7,49E-09	2,51E-10
pde. 29cm c.ar 14,25cm/ gesso 1/2" (Sist.B)	PT <dB>	59,4	77,4	93,1	105,1	117,1	129,1
	t <adm.>	1,14E-06	1,82E-08	4,9E-10	3,09E-11	1,95E-12	1,23E-13
Dispositivo Somax RAS-2F	PT <dB>	13	20	24	32	31	27
	t <adm.>	0,050119	0,01	0,003981	0,000631	0,000794	0,001995
Disposit. 1 0,6m prof.	PT <dB>	1,9	4,2	10,0	13,4	x	x
	t <adm.>	0,641857	0,378857	0,099362	0,045596	x	x
Disposit. 2 0,6m prof.	PT <dB>	2,4	5,2	12,4	16,6	x	x
	t <adm.>	0,578081	0,30129	0,057615	0,021999	x	x

APÊNDICE I – PROJETO DA ELEVAÇÃO INTERNA DA FACHADA LATERAL DIREITA DO SALÃO DE REFEIÇÕES E CARACTERIZAÇÃO DE SEUS COMPONENTES CONSTRUTIVOS



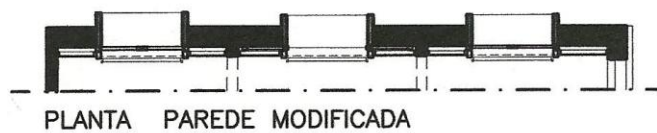
Lista de áreas c/janelas fechadas:

	Alvenaria esp.15cm	12,9m ²
	Alvenaria esp.29cm	8,8m ²
	Alvenaria esp.44,5cm	0,9m ²
	Vidro	4,4m ²
	Madeira esp.3cm	2,2m ²
	Área total	29,2m ²



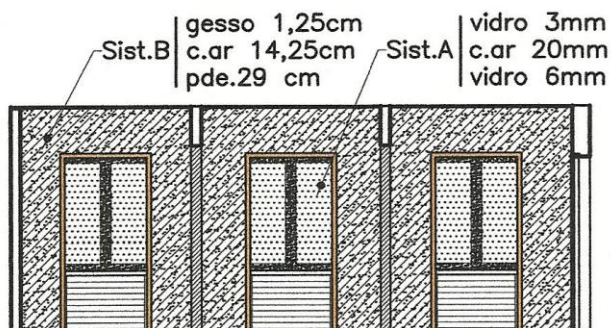
Lista de áreas c/janelas abertas:

	Alvenaria esp.15cm	12,9m ²
	Alvenaria esp.29cm	8,8m ²
	Alvenaria esp.44,5cm	0,9m ²
	Vão livre	6,6m ²
	Área total	29,2m ²



Lista de áreas c/janelas fechadas:

	Gesso cartonado s/ alvenaria esp. 29cm	16,6m ²
	Alvenaria esp.44,5cm	0,9m ²
	Vidro duplo	5,1m ²
	Madeira esp.5cm	1,4m ²
	Pórtico madeira (seção 7X70,5cm)	2,2m ²
	Dispositivo acústico	3,0m ²
	Área total	29,20m ²



Lista de áreas c/janelas abertas:

	Gesso cartonado s/ alvenaria esp. 29cm	16,6m ²
	Alvenaria esp.44,5cm	0,9m ²
	Vão livre	6,2m ²
	Madeira esp.5cm	0,3m ²
	Pórtico madeira (seção 7X70,5cm)	2,2m ²
	Dispositivo acústico	3,0m ²
	Área total	29,20m ²

APÊNDICE J – PERDA POR TRANSMISSÃO ACÚSTICA COMPOSTA

Composição parede original (elevação 6) com inserção de janelas (*)

Componente	Área
Parede tijolo maciço esp.15cm	12,9 m ²
Parede tijolo maciço esp.29cm	8,8 m ²
Parede tijolo maciço esp.44,5cm	0,9 m ²
Vidro esp.6mm	4,4 m ²
Madeira esp. 3cm	2,2 m ²
Área total	29,2 m ²

(*)As janelas propostas têm fechamento em vidro 6mm e requadro de madeira seção 3x8cm

PTC - Perda acústica por transmissão composta e transmissividade para parede original (elevação 6) em termos espectrais

		Frequência, em [Hz]					
		125	250	500	1k	2K	4k
ELEV.6	PTC<Db>	25,8	31,8	37,8	43,8	49,8	55,8
J.fechadas	t <adm.>	0,002626	0,00066	0,000166	4,16E-05	1,05E-05	2,63E-06
ELEV.6	PTC<Db>	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
J.abertas	t <adm.>	0,226055	0,226034	0,226029	0,226028	0,226028	0,226028

Composição parede modificada (elevação 6)

Componente	Área
Sist.B - Pde. tijolo maciço 29cm + câmara ar 14,25cm + + gesso cartonado esp.1/2"	16,6 m ²
Parede tijolo maciço esp.44,5cm	0,9 m ²
Sist.A - vidro 3mm + câmara ar + vidro 6mm	5,1 m ²
Madeira esp. 5cm	1,4 m ²
Pórtico madeira (seção 7x70,5cm)	2,2 m ²
Dispositivo acústico	3,0 m ²
Área total	29,2 m ²

PTC - Perda acústica por transmissão composta e transmissividade para parede modificada (Elevação 6) em termos espectrais

		Frequência, em [Hz]					
		125	250	500	1k	2K	4k
ELEV.6	PTC <dB:	21,9	28,6	33,8	41,8	40,9	36,9
(jan. fech.)	t <adm.>	0,00642	0,00137	0,000418	6,58E-05	8,18E-05	0,000205
ELEV.6	PTC <dB:	6,6	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7
(jan.aber.)	t <adm.>	0,217491	0,213359	0,212739	0,212394	0,21241	0,212534

APÊNDICE L – BARREIRA ACÚSTICA

$$N = 2 \times [(A' + B') - d'] / \lambda \quad \text{<dB>}$$

N - Número de Fresnel <adm>

A' - distância entre a fonte e o ponto mais elevado da barreira na direção fonte/ receptor <m>

B' - distância entre o ponto mais elevado da barreira e o receptor na direção fonte/ receptor <m>

d' - menor distância entre a fonte e o receptor <m>

$$\lambda = v/f \quad \text{<dB>}$$

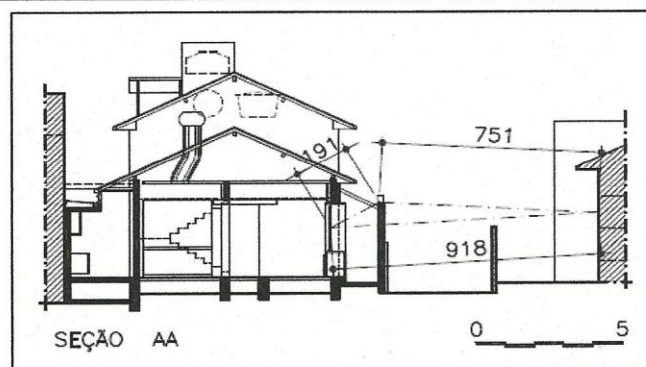
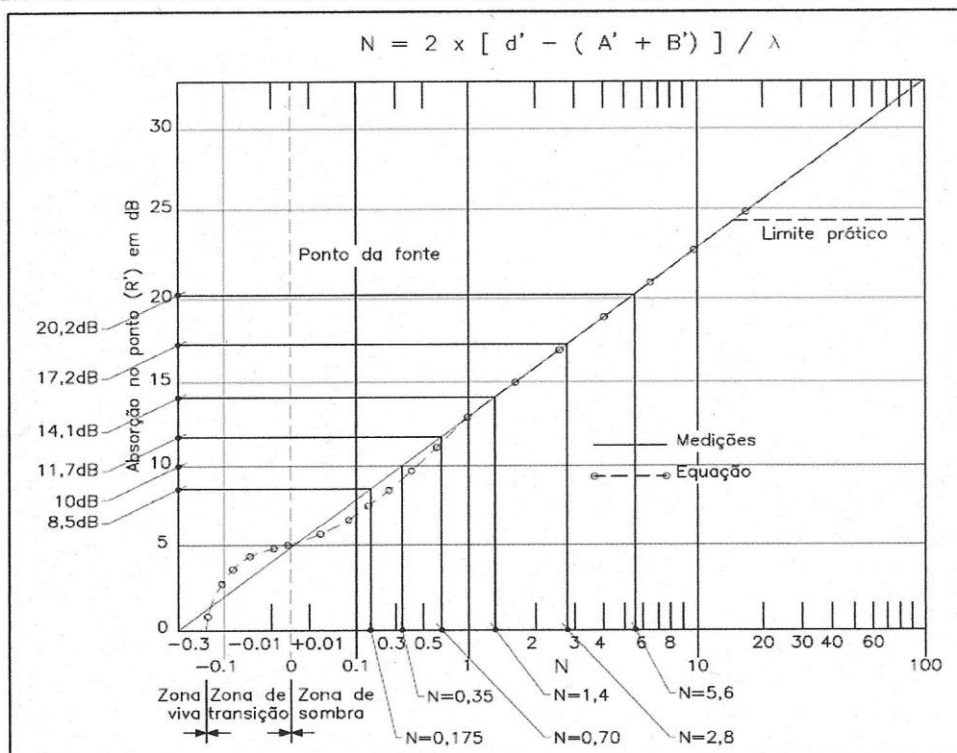
λ - comprimento da onda <m>

v - velocidade do som = 343 m/s

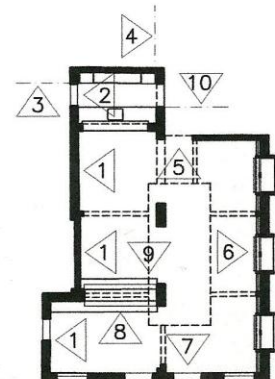
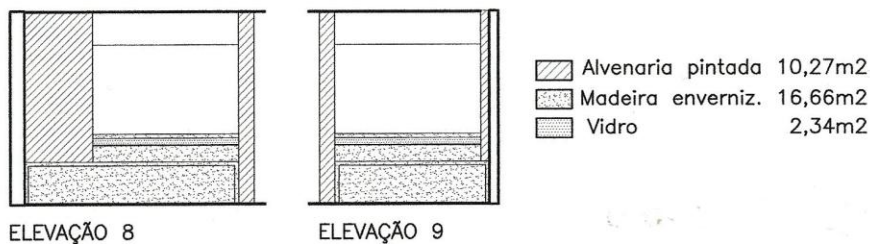
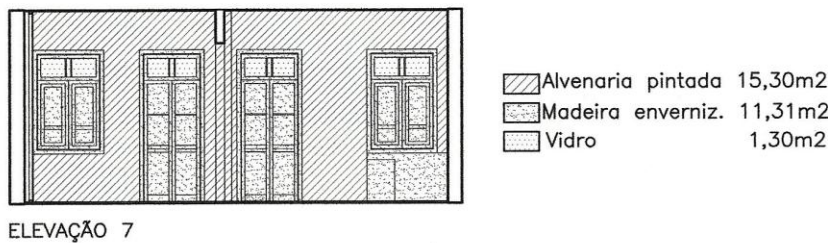
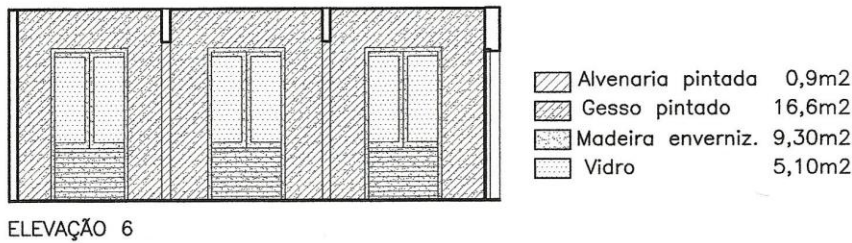
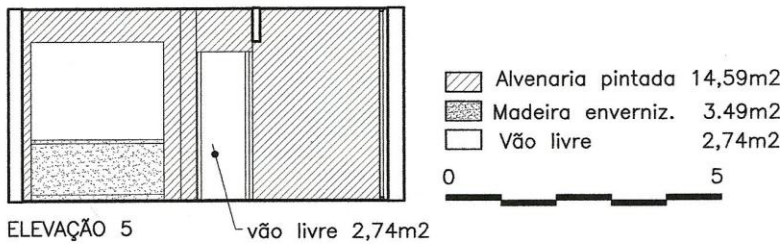
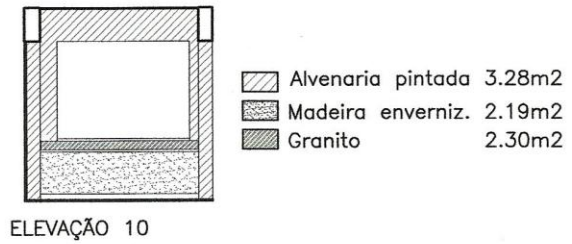
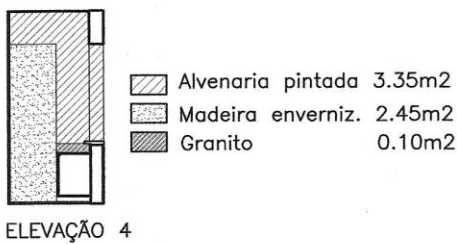
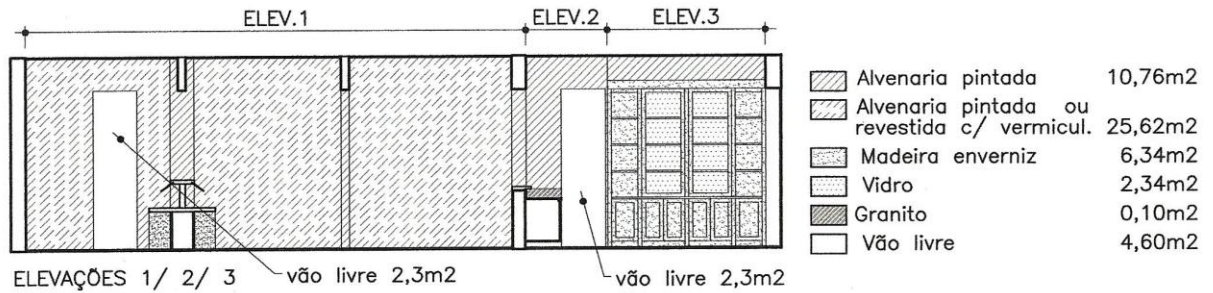
f - frequência <Hz>

Atenuação barreira acústica <dB> em termos espectrais

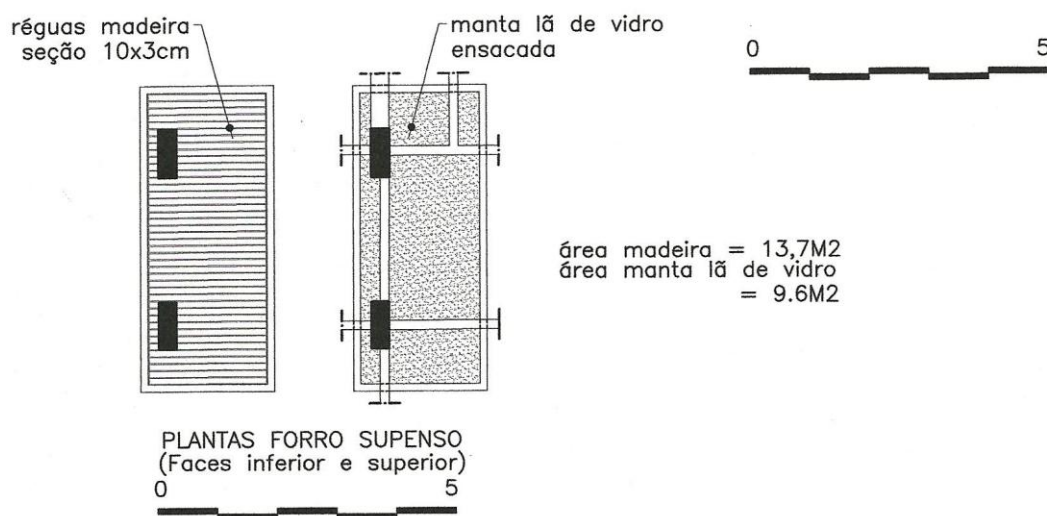
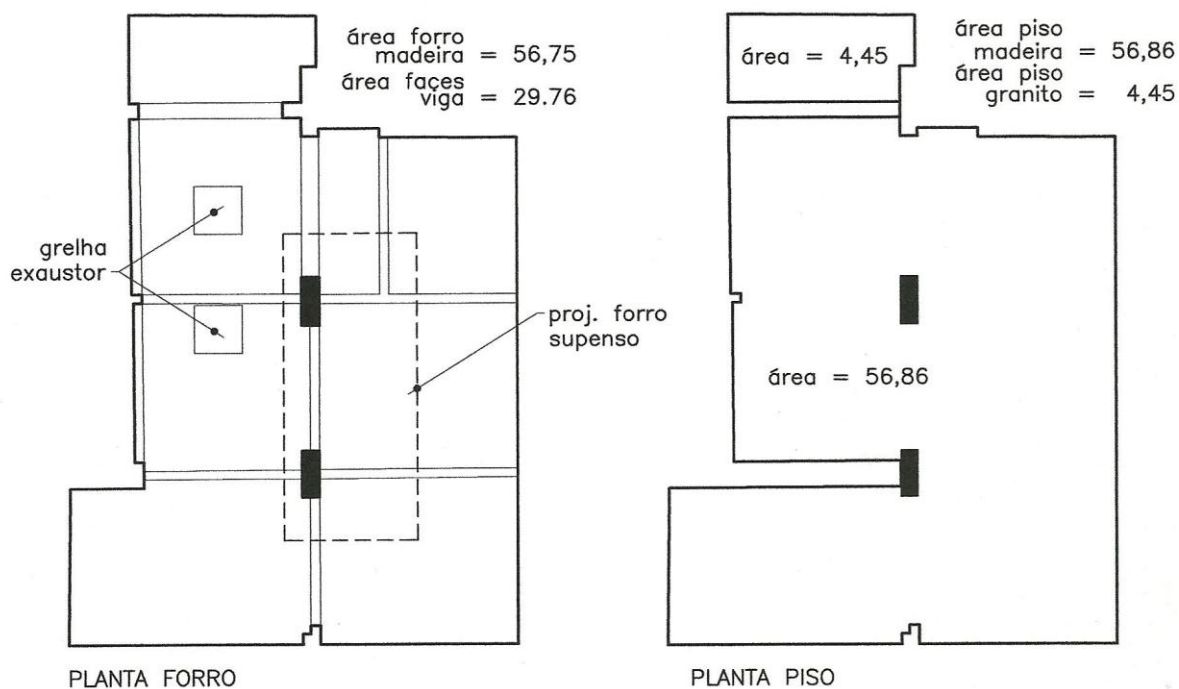
	Frequência, em [Hz]					
	125	250	500	1k	2K	4k
λ	2,74	1,37	0,69	0,34	0,17	0,09
N	0,17	0,35	0,70	1,40	2,80	5,60
Atenuação do ruído	8,5	10,0	11,7	14,1	17,2	20,2



APÊNDICE M – PROJETO DAS ELEVAÇÕES INTERNAS DAS ENVOLTÓRIAS DO SALÃO DE REFEIÇÕES E CARACTERIZAÇÃO DE SEUS ACABAMENTOS SUPERFICIAIS



APÊNDICE N – PROJETO PLANTAS DE PISO E FORRO DO SALÃO DE REFEIÇÕES



APÊNDICE O – QUADRO DE ÁREAS DOS COMPONENTES DA ENVOLTÓRIA DO SALÃO DE REFEIÇÕES COM ELEVAÇÃO 6 ORIGINAL

Áreas das superfícies internas dos elementos de fechamento < m²>

(incluídas as áreas de faces ortogonais à elevação considerada resultantes de recuos ou saliências do plano em estudo)

	Alvenaria	Alv. rev. vermiculite	Gesso	Madeira	Madeira Piso	Vidro	Granito	Vão livre
Elevação 1	5,07	25,62	x	x		x	x	2,30
Elevação 2	3,69	x	x	x		x	0,10	2,30
Elevação 3	2,00	x	x	6,34		2,34	x	x
Elevação 4	3,35	x	x	2,45		x	0,10	x
Elevação 5	14,59	x	x	3,49		x	x	2,74
Elevação 6	22,60	x	x	2,20		4,40	x	
Elevação 7	15,30	x	x	11,31		1,30	x	
Elevação 8/9	10,27	x	x	16,66		2,34	x	x
Elevação 10	3,28	x	x	2,19		x	2,30	x
Piso	x	x	x	x	56,86	x	4,45	x
Forro	x	x	x	56,75		x	x	x
Área total	80,15	25,62	0,00	101,39	56,86	10,38	6,95	7,34

Unidades/ áreas dos elementos internos do salão

Unidade/ elemento	área <m ² >
Forro suspenso em régua de madeira maciça esp.3cm	13,70
Manta de lã de vidro ensacada sobre forro suspenso	9,60
20 mesas 60x80cm em madeira maciça esp.4cm	19,20
Móvel caixa em madeira maciça envernizada	3,00
Pilar concreto/ alvenaria revestido em argamassa	5,96
41 cadeiras c/ pessoas assentadas	-----

Nota:

Para a confecção do quadro de áreas dos elementos de fechamento, consideraram-se todas as janelas e portas das elevações 6 e 7 fechadas. Assim, p/ o cálculo da absorção com as janelas e/ou portas abertas, deverão ser feitas as correções que se seguem:

1 - Quando as janelas da elevação 6 estiverem abertas, deverá ser acrescido o vão livre gerado pela abertura de suas folhas:

- Vão livre 6,60 m²

2 - Considerando-se que o restaurante funcionará com as janelas/ portas da elev. 7 abertas, deverá ser acrescido, para o cálculo da absorção total do recinto, a área dos vãos livres gerados na abertura das folhas das mencionadas esquadrias.

- Vão livre 7,27 m²

3 - As áreas de madeira e/ ou vidro correspondentes às folhas das esquadrias, ainda que abertas, devem ser consideradas , pois essas permanecem no interior do recinto.

APÊNDICE P – QUADRO DE ÁREAS DOS COMPONENTES DA ENVOLTÓRIA DO SALÃO DE REFEIÇÕES COM ELEVAÇÃO 6 MODIFICADA

Áreas das superfícies internas dos elementos de fechamento < m²>

(incluídas as áreas de faces ortogonais à elevação considerada resultantes de recuos ou saliências do plano em estudo)

	Alvenaria	Alv. rev. vermiculite	Gesso	Madeira	Madeira Piso	Vidro	Granito	Vão livre
Elevação 1	5,07	25,62	x	x		x	x	2,30
Elevação 2	3,69	x	x	x		x	0,10	2,30
Elevação 3	2,00	x	x	6,34		2,34	x	x
Elevação 4	3,35	x	x	2,45		x	0,10	x
Elevação 5	14,59	x	x	3,49		x	x	2,74
Elevação 6	0,90	x	16,60	9,30		5,10	x	
Elevação 7	15,30	x	x	11,31		1,30	x	
Elevação 8/9	10,27	x	x	16,66		2,34	x	x
Elevação 10	3,28	x	x	2,19		x	2,30	x
Piso	x	x	x	x	56,86	x	4,45	x
Forro	x	x	x	56,75		x	x	x
Área total	58,45	25,62	16,60	108,49	56,86	11,08	6,95	7,34

Unidades/ áreas dos elementos internos do salão

Unidade/ elemento	área <m ² >
Forro suspenso em régua de madeira maciça esp.3cm	13,70
Manta de lã de vidro ensacada sobre forro suspenso	9,60
20 mesas 60x80cm em madeira maciça esp.4cm	19,20
Móvel caixa em madeira maciça envernizada	3,00
Pilar concreto/ alvenaria revestido em argamassa	5,96
41 cadeiras c/ pessoas assentadas	-----

Nota:

Para confecção do quadro de áreas dos elementos de fechamento consideraram-se todas as janelas e portas das elevações 6 e 7 fechadas. Assim para o cálculo da absorção com as janelas e/ou portas abertas deverão ser feitas as correções que se seguem:

1 - Quando as janelas da elevação 6 estiverem abertas os itens "Madeira", "Vidro" e "Vão livre" sofrerão as correções de valores a seguir listadas:

- Madeira 8,20 m²
- Vidro 0,00 m²
- Vão livre 6,20 m²

2 - Considerando-se que o restaurante funcionará com as janelas/ portas da elev. 7 abertas, deverá ser acrescido, para o cálculo da absorção total do recinto, a área dos vãos livres gerados na abertura das folhas das mencionadas esquadrias. A área em madeira correspondente às folhas das esquadrias foi ainda considerada pois elas permanecem no interior do recinto em estudo.

Assim, deverá ser acrescido o valor indicado a seguir para o vão livre da Elev.7:

- vão livre 7,27 m²

APÊNDICE Q – COEFICIENTES DE ABSORÇÃO SONORA DE ALGUMAS SUPERFÍCIES

Tabela de coeficiente de absorção sonora

Material/ sistema	Frequência, em [Hz]					
	125	250	500	1k	2k	4k
Alvenaria pintada	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Alvenaria reboco 3 cm vermiculite acústico	0,23	0,30	0,37	0,42	0,48	0,46
Alvenaria reboco 3 cm vermiculite não acústico	0,12	0,10	0,07	0,09	0,07	0,07
Mármore/ granito	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Vidro	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02
Vidro, janela típica	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Forro de madeira / lambri	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05
Madeira maciça envernizada espessura 50mm	0,10		0,05		0,04	0,04
Tábuas madeira sobre vigas/ concreto	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07
Tábuas madeira c/ câmara de ar embutida vigas	0,40	0,30	0,20	0,17	0,15	0,10
Placa de gesso espessura 13 mm	0,29	0,10	0,05	0,04	0,07	0,09
Eurolon - material fono-absorvente - WLE 32/50	0,20	0,35	0,65	0,80	0,99	0,97
manta lã de vidro ensacada em véu preto fosco(*)	0,22	0,49	0,86	0,99	0,99	0,98
Pessoa sentada, média de 1/m ²	0,17	0,36	0,47	0,52	0,53	0,46

Fonte: EGAN, 1972; DE MARCO, 1983; GERGES, 1992; Carvalho,2006;(*)Hemeisolantes/ IPT; TCA-Somax

PÊNDICE R – TEMPO DE REVERBERAÇÃO

T (tempo de reverberação) = $0,161 \times V / A$ <s>

$A = \sum[(s_1 \times \alpha_1) + (s_2 \times \alpha_2) + \dots] + \sum[(n_1 \times A_1) + (n_2 \times A_2) + \dots] + (X \times V)$

A - absorção do som num local < Sabine métrico >

V - volume do local em estudo < m^3 >

s_1 - área da superfície aparente do material "1" usado < m^2 >

α_1 - coeficiente de absorção do material "1" <Sabine>

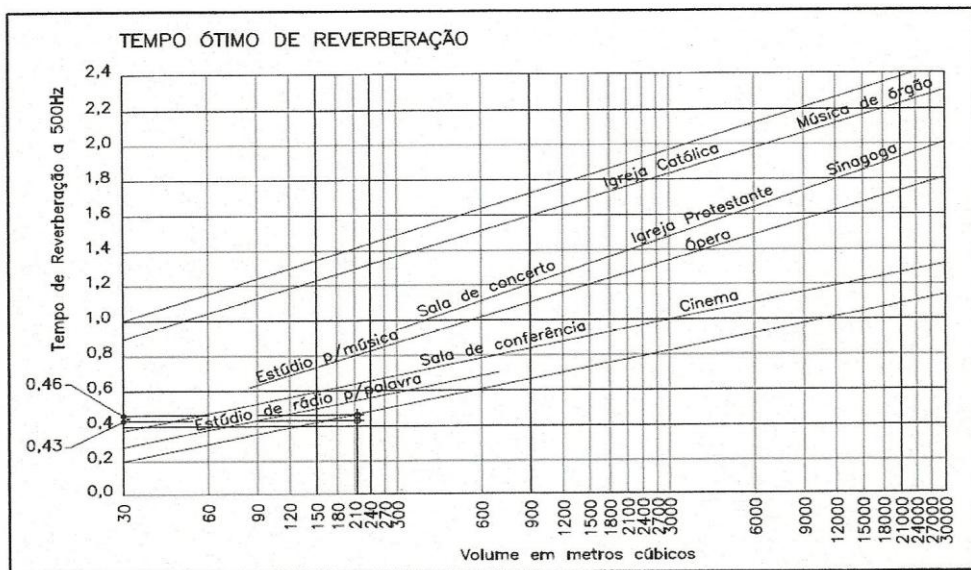
n_1 - quantidade de objetos de absorção A_1 usados

A_1 - absorção global de cada objeto <Sabine>

X - coeficiente de absorção do ar <Sabine/ m^3 >

T - tempo de reverberação <s> em termos espectrais

	Frequência, em [Hz]					
	125	250	500	1k	2K	4k
(Janelas da Elev.6 fech (Esquadrias da Elev.7 abert.)	0,47	0,47	0,46	0,45	0,44	0,49
(Janelas da Elev.6 aber (Esquadrias da Elev.7 abert.)	0,45	0,44	0,43	0,42	0,41	0,45



APÊNDICE S – ABSORÇÃO (COM ELEVAÇÃO 6 ORIGINAL)

A (absorção total do recinto) = $\sum[(s_1 \times \alpha_1) + (s_2 \times \alpha_2) + \dots] + \sum[(n_1 \times A_1) + (n_2 \times A_2) + \dots] + (X \times V)$ < Sabine
 s_i - é a área de cada material das superfícies da envoltória do recinto < m²>

α_i - é o coeficiente de absorção de cada material < adm.>

n_i - é o número de objetos de um determinado tipo presente no recinto (mobiliário e/ou pessoas)

A_i - é o coeficiente de absorção de cada objeto < adm.>

X - é o coeficiente de absorção do ar, em determinadas condições de temperatura e umidade relativa < adm.>

V - é o volume do recinto < m³>

A - Absorção total do recinto em termos espectrais < Sabine >

	Frequência, em [Hz]					
	125	250	500	1k	2K	4k
(Janelas da Elev.6 fech (Esquadrias da Elev.7 abert.)	67,9	72,0	74,9	77,1	77,5	69,5
(Janelas da Elev.6 abertas) (Esquadrias da Elev.7 abertas)	74,5	78,6	81,5	83,7	84,1	76,1

PERDA POR ABSORÇÃO (Ra)

R_a (perda por absorção) = $10 \times \log (A/S)$ < dB>

A - absorção total do recinto receptor < dB>

S - área total da parede transmissora < m²>

Ra - Perda por absorção < dB> em termos espectrais.

	Frequência, em [Hz]					
	125	250	500	1k	2K	4k
(Janelas da Elev.6 fech (Esquadrias da Elev.7 abert.)	3,7	3,9	4,1	4,2	4,2	3,8
(Janelas da Elev.6 aber (Esquadrias da Elev.7 abert.)	4,1	4,3	4,5	4,6	4,6	4,2

ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA DO AMBIENTE (R)

R (índice de redução sonora do ambiente) = $\sum(PTC) + R_a$ < dB>

PTC - perda por transmissão composta da superfície transmissora < dB>

R_a - perda por absorção < dB>

R - Índice de redução sonora do ambiente < dB> em termos espectrais

	Frequência, em [Hz]					
	125	250	500	1k	2K	4k
(Janelas da Elev.6 fech (Esquadrias da Elev.7 abert.)	29,5	35,7	41,9	48,0	54,0	59,6
(Janelas da Elev.6 aber (Esquadrias da Elev.7 abert.)	10,5	10,8	10,9	11,0	11,1	10,6

APÊNDICE T – ABSORÇÃO (COM ELEVAÇÃO 6 MODIFICADA)

A (absorção total do recinto) = $\sum[(s_1 \times \alpha_1) + (s_2 \times \alpha_2) + \dots] + \sum[(n_1 \times A_1) + (n_2 \times A_2) + \dots] + (X \times V)$ <sabine>
 s_i - é a área de cada material das superfícies da envoltória do recinto <m²>

α_i - é o coeficiente de absorção de cada material <adm.>

n_i - é o número de objetos de um determinado tipo presente no recinto (mobiliário e/ou pessoas)

A_i - é o coeficiente de absorção de cada objeto <adm.>

X - é o coeficiente de absorção do ar, em determinadas condições de temperatura e umidade relativa <adm>

V - é o volume do recinto <m³>

A - Absorção total do recinto em termos espectrais <sabine>

	Frequência, em [Hz]					
	125	250	500	1k	2K	4k
(Janelas da Elev.6 fech (Esquadrias da Elev.7 abert.)	73,3	74,1	75,8	77,9	78,7	70,9
(Janelas da Elev.6 abertas) (Esquadrias da Elev.7 abertas)	77,6	78,9	81,0	83,4	84,5	76,9

PERDA POR ABSORÇÃO (Ra)

R_a (perda por absorção) = $10 \times \log (A/S)$ <dB>

A - absorção total do recinto receptor <dB>

S - área total da parede transmissora <m²>

Ra - Perda por absorção <dB> em termos espectrais

	Frequência, em [Hz]					
	125	250	500	1k	2K	4k
(Janelas da Elev.6 fech (Esquadrias da Elev.7 abert.)	3,6	3,7	3,8	3,9	3,9	3,5
(Janelas da Elev.6 aber (Esquadrias da Elev.7 abert.)	3,9	3,9	4,0	4,2	4,2	3,8

ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA DO AMBIENTE (R)

R (índice de redução sonora do ambiente) = $PTC + R_a$ <dB>

PTC - perda por transmissão composta da superfície transmissora <dB>

R_a - perda por absorção <dB>

R - Índice de redução sonora do ambiente <dB> em termos espectrais

	Frequência, em [Hz]					
	125	250	500	1k	2K	4k
(Janelas da Elev.6 fech (Esquadrias da Elev.7 abert.)	25,5	32,3	37,6	45,7	44,8	40,4
(Janelas da Elev.6 aber (Esquadrias da Elev.7 abertas)	10,5	10,6	10,8	10,9	11,0	10,5