



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

FELIPE ARAÚJO CAVALCANTE

Conforto acústico em salas de aula no Campus Palmas do IFTO

Palmas
2019

FELIPE ARAÚJO CAVALCANTE

Conforto acústico em salas de aula no Campus Palmas do IFTO

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Palmas.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Liliane Flávia
Guimarães da Silva

Palmas
2019

FOLHA DE APROVAÇÃO

FELIPE ARAÚJO CAVALCANTE

CONFORTO ACÚSTICO EM SALAS DE AULA NO CAMPUS PALMAS DO IFTO

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Coordenação do curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas, como exigência à obtenção do grau em Engenheiro Civil.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA AVALIADORA

Prof^a. Dr^a. Lilliane Flávia Guimarães da Silva
Orientadora

Prof^a. Dr^a. Elen Oliveira Vianna

Prof^a. Me. Danilo Gomes Martins

Aos meus pais, Aroldo A. Teixeira e Rosilene M. C. Araújo, minhas maiores referências.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer à Deus por ter me capacitado e proporcionado forças para que eu chegasse até aqui. Nada disto seria possível sem Ele. Ao final desta etapa, é necessário honrar as pessoas que estiveram ao meu lado, tornando a jornada acadêmica mais agradável e fácil de ser percorrida, dentre as quais agradeço:

Meus pais, Aroldo A. Teixeira e Rosilene M. C. Araújo, por terem me apoiado, suportado e aconselhado em todas as tensões vividas. Foram os responsáveis pela minha educação e hoje concluo esta etapa como forma de retribuir e reconhecer todo o esforço realizado por vocês. Obrigado pela paciência e amor incondicional.

À minha irmã Heryka A. Cavalcante e meu cunhado Neilson da S. Martins, pelo apoio, pelos conselhos e pelos diversos momentos de alegria e descontração.

Agradeço à minha namorada Vanêssa, por ter sido a melhor companheira, a melhor ouvinte e a maior encorajadora. Por ter compartilhado risos e lágrimas. Sem você, o caminho teria sido muito mais difícil.

Agradeço à professora Dra. Liliane Flávia Guimarães da Silva, minha orientadora, por ter aceitado este desafio, pela dedicação impressionante ao trabalho, pela ajuda inestimável, pelo enorme aprendizado e pela amizade. Que a sociedade tenha mais profissionais assim.

Aos professores componentes da banca avaliadora Prof.^a Dra. Ellen Vianna e Prof. Me. Danilo Martins por terem aceitado o convite e contribuírem de forma significativa com o trabalho.

A todos os meus amigos e companheiros de curso, em especial Rubens O. Felício e Wender T. de M. Filho. Que as tristezas e alegrias vividas possam ter fortalecido os laços de amizade e que o futuro nos reserve mais experiências juntos. Obrigado por toda a ajuda prestada e que esta parceria perdure.

Aos meus amigos e irmãos da Igreja de Cristo Novo Horizonte, que sempre mantiveram meu nome em suas orações e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

A acústica em edificações é um fator determinante no que se refere à qualidade de vida das pessoas nos ambientes construídos, uma vez que a inadequação desta provocará insatisfação e desconforto, podendo desenvolver também problemas de saúde. Partindo deste entendimento, adequar acusticamente os locais de maior utilização das pessoas se faz necessário, uma vez que reduzirá problemas desta natureza. As escolas e universidades se configuram como locais em que as pessoas passam boa parte do dia e as atividades que lá são desenvolvidas, geralmente, se utilizam da voz falada. Estes dois fatores determinam a necessidade de uma adequação acústica, de forma que a saúde seja preservada, bem como a boa execução das atividades que serão realizadas. O objetivo do trabalho foi analisar o comportamento acústico das salas de aula do Campus Palmas do IFTO, levando em consideração o isolamento acústico (ruído) e o condicionamento acústico (tempo de reverberação). Para a análise do isolamento foram realizadas medições de ruído com o auxílio de um decibelímetro. As medições foram realizadas em quatro blocos, nos três tipos de padrão de sala existentes. Em cada sala foram realizadas três medições e para cada medição foi calculada uma LAeq (Nível de pressão sonora equivalente ponderados em "A"). A LAeq resultante de cada sala consistiu na média da LAeq dos três pontos de medição. Esta foi o parâmetro utilizado na análise do isolamento acústico. As normas utilizadas foram a NBR 10151 (ABNT, 2000) que fala dos procedimentos de medição e a NBR 10152 (ABNT, 1987) que traz os parâmetros de conforto e limites aceitáveis de ruído, além do cálculo da LAeq. Os resultados obtidos mostraram que as salas possuem níveis de ruído acima do aceitável. Com relação ao condicionamento acústico, foram calculados os tempos de reverberação para cada padrão de sala, conforme a NBR 12179 (ABNT, 1992), considerando os tempos de reverberação ideais recomendados por De Marco (1982). Os resultados obtidos demonstraram inadequação dos tempos de reverberação existentes nas salas. Foram propostas intervenções com base na inserção de materiais absorventes nas superfícies, obtendo-se assim uma melhora considerável no condicionamento acústico das salas.

Palavras-chave: Conforto acústico. Isolamento acústico. Condicionamento acústico. Salas de aula. Tempo de reverberação.

ABSTRACT

Acoustics in buildings is a decisive factor in respect to the quality of people's lives in built environments, as its inadequacy will cause dissatisfaction and discomfort, and may also trigger health problems. Bearing that understanding in mind, it is necessary and relevant to adjust acoustically the environments with higher utilization by people, since the adjustment will reduce the beforementioned problems. Schools and universities constitute places where people spend great part of their day, and the activities carried out in those sites often use the spoken voice. These two factors determine the need of an acoustic suitability, so that health can be protected, as well as a better execution of the activities that will be performed. The objective of this work was to analyze the acoustic behavior of the IFTO Campus Palmas classrooms, considering the acoustic insulation (noise) and acoustic conditioning (reverberation time). For the analysis of the acoustic insulation, the noise was measured by a decibel meter. The measurements were accomplished in four buildings, in the three existing classroom pattern. In each classroom, there were performed three measurements and one LAeq (equal weighted sound pressure levels in "A") was calculated for each measurement. The resulting LAeq of each classroom was the average of LAeq of the three measuring points. The mentioned calculation was the parameter used in the acoustic insulation analysis. The standards used were the NBR 10151 (ABNT, 2000), which deals with the measuring procedures and the NBR 10152 (ABNT, 1987), which provides the comfort parameters and acceptable noise limits, besides the LAeq calculation. The obtained results demonstrated that the classrooms have noise levels above the acceptable one. In respect to the acoustic conditioning, the reverberation times for each classroom pattern were determined according to the NBR 12179 (ABNT, 1992), considering the ideal reverberation times recommended by De Marco (1982). The acquired results revealed inadequate reverberation times in the classrooms. There have been proposed some interventions appertaining to the insertion of absorbent materials on the surfaces, thus obtaining a considerable improvement in the acoustic conditioning of the classrooms.

Keywords: Acoustic comfort. Sound insulation. Acoustic conditioning. Classrooms. Reverberation time.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de impedância para diferentes meios.....	27
Tabela 2 – Coeficientes de absorção do som no feltro, em função da frequência. ...	30
Tabela 3 – Níveis máximos de ruídos de sons puros.....	40
Tabela 4 – Tempo máximo de exposição para níveis sonoros.....	43
Tabela 5 – Correções em função do ruído.	45
Tabela 6 – Valores para NCA – ambientes externos.	45
Tabela 7 – Dados de medição do nível de pressão sonora incidente nas salas do Bloco 14, realizadas entre 28 fev. e 1 mar. 2019.....	56
Tabela 8 – Dados de medição do nível de pressão sonora incidente nas salas do Bloco 15, realizadas entre 19 e 28 fev. 2019.....	57
Tabela 9 – Dados de medição do nível de pressão sonora incidente nas salas do Bloco 16, realizadas em 28 fev. 2019.....	58
Tabela 10 – Dados de medição do nível de pressão sonora incidente nas salas do Bloco 17, realizadas em 28 fev. 2019.....	59
Tabela 11 – Nível de pressão sonora equivalente ponderado em A (LA_{eq}) para as salas do Bloco 14.....	60
Tabela 12 – Nível de pressão sonora equivalente ponderado em A (LA_{eq}) para as salas do Bloco 15.....	60
Tabela 13 – Nível de pressão sonora equivalente ponderado em A (LA_{eq}) para as salas do Bloco 16.....	60
Tabela 14 – Nível de pressão sonora equivalente ponderado em A (LA_{eq}) para as salas do Bloco 17.....	60
Tabela 15 – Tempo ótimo de 0,7s corrigido para as frequências de estudo.	65
Tabela 16 – Tempos de reverberação salas padrão 1.	66
Tabela 17 – Tempos de reverberação salas padrão 2.	67
Tabela 18 – Tempos de reverberação salas padrão 3.	68
Tabela 19 – Proposta de intervenção para salas padrão 1.	74
Tabela 20 – Proposta de intervenção para salas padrão 2.	75
Tabela 21 – Proposta de intervenção para salas padrão 3.	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Fontes bibliográficas dos coeficientes de absorção sonora utilizados....	63
Quadro 2 – Referências bibliográficas dos coeficientes dos materiais utilizados na proposta de intervenção.	72

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tempos ótimos de reverberação.....	35
Figura 2 – Vista aérea do Campus Palmas do IFTO (destaque para os blocos que serão estudados)	50
Figura 3 – Vista interna das salas de aula e vista externa dos blocos 14 a 17 do Campus Palmas do IFTO.	50
Figura 4 – Planta baixa dos blocos 14 a 17 do IFTO – Campus Palmas.	51
Figura 5 – Locação dos pontos de medição para os três padrões de salas.....	52
Figura 6 – Decibelímetro utilizado na pesquisa.....	54
Figura 7 – Interface <i>Noiselogger Communication Tool</i>	55
Figura 8 – Unidade condensadora disposta em frente à esquadria e canto de esquadria com vidro cortado para a passagem de tubulação.....	62
Figura 9 – Tempo ótimo de reverberação para as salas padrão 1, 2 e 3.	64
Figura 10 – Gráfico para correção dos tempos de reverberação.	65
Figura 11 – Lajes abaixo das esquadrias (Bloco 16).....	70
Figura 12 – Locais apropriados para a instalação das condensadoras (Bloco 15). ..	71
Figura 13 – Placa acústica Sonex Illtec Plano.....	72
Figura 14 – Placa de Eucatex.	73
Figura 15 – Planta baixa e planta do forro – Salas padrão 1.	77
Figura 16 – Paginação parede 2 – Salas Padrão 1.....	77
Figura 17 – Paginação parede 3 – Salas Padrão 1.....	78
Figura 18 – Quantitativo dos materiais da proposta de intervenção – Salas Padrão 1.	78
Figura 19 – Planta baixa – Salas Padrão 2.	79
Figura 20 – Planta de Forro – Salas Padrão 2.	79
Figura 21 – Paginação Parede 1 – Salas Padrão 2.	80
Figura 22 – Paginação Parede 2 – Salas Padrão 2.	80
Figura 23 – Quantitativo dos materiais da proposta de intervenção – Salas Padrão 2.	80
Figura 24 – Planta baixa – Salas Padrão 3.	81
Figura 25 – Planta de Forro – Salas Padrão 3.	82
Figura 26 – Paginação Parede 1 – Salas Padrão 3.	82
Figura 27 – Paginação Parede 2 – Salas Padrão 3.	82
Figura 28 – Paginação Parede 3 – Salas Padrão 3.	83
Figura 29 – Quantitativo de materiais da proposta de intervenção – Salas Padrão 3.	83

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CRA	Critério de Ruído Alternativo
CR	Critério de ruído
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IFTO	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
ITB	Instituto Trata Brasil
LAeq	Nível de pressão sonora equivalente, em decibels ponderados em “A” (dB (A))
Lb	Nível de pressão sonora para correção
Lc	Nível de pressão sonora corrigido
NBR	Norma Brasileira
NBS	Nível de pressão sonora
NCA	Nível de critério de Avaliação
NC	<i>Noise Criteria</i>
NIC	Nível de interferência na conversação
NIS	Nível de intensidade sonora
NSI	Nível sonoro de intensidade
NWS	Nível de potência sonora
OMS	Organização Mundial da saúde
RBC	Rede Brasileira de Calibração
T60	Tempo de reverberação
T _R	Tempo de reverberação
T _R 's	Tempos de reverberação
Wabs	Energia sonora absorvida

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Problema da pesquisa.....	14
1.2	Justificativa.....	15
1.3	Objetivos	17
1.3.1	Objetivo Geral.....	17
1.3.2	Objetivos Específicos	17
2	O SOM	18
2.1	Características Físicas Gerais do Som	18
2.1.1	O som e as características de seu movimento	18
2.1.2	Onda sonora.....	19
2.1.3	Frequência.....	20
2.1.4	Intensidade sonora	21
2.2	Psico-fisiologia do Som	22
2.2.1	Tridimensionalidade do som	22
2.2.2	Aparelho auditivo – Aspectos fisiológicos.....	22
2.2.3	Problemas relacionados à psicoacústica.....	23
2.3	A Transmissão Sonora.....	24
2.3.1	Comportamento da onda no ar	24
2.3.2	Compressibilidade	25
2.3.3	Sensação auditiva	25
2.3.4	Impedância acústica.....	27
2.3.5	Reflexão e refração sonora	28
2.3.6	Difração	29
2.3.7	Absorção do som.....	30
2.3.8	Elementos que interferem na absorção sonora	31
2.3.9	Interferência.....	32
2.3.10	Batimento	32
2.3.11	Ressonância.....	33
2.3.12	Distorção	33
2.3.13	Reverberação	33
3	RUÍDO.....	37
3.1	Definições	37
3.2	Origem dos ruídos.....	38
3.3	Critérios de ruído.....	39
3.4	Critérios de danos à audição.....	39

3.5	Intensidade de sons e ruídos mais comuns	40
3.6	Interferência do ruído na inteligibilidade da fala	40
3.7	Controle dos ruídos	41
4	CONFORTO ACÚSTICO	46
4.1	Isolamento acústico.....	46
4.2	Condicionamento acústico	47
5	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	49
5.1	Revisão bibliográfica	49
5.2	Levantamento dos dados de campo	49
5.3	Análise e tratamento dos dados	52
5.4	Discussão a respeito dos valores obtidos	53
5.5	Instrumentos	53
6	RESULTADOS	54
6.1	Isolamento acústico.....	54
6.1.1	Dados das medições	55
6.1.2	Determinação dos LA_{eq}	59
6.1.3	Análise dos dados e discussão dos resultados	61
6.2	Condicionamento acústico	63
6.2.1	Método de cálculo do tempo de reverberação.....	64
6.2.2	Tempo de reverberação ideal	64
6.2.3	Cálculos dos tempos de reverberação (T_R)	66
6.3	Análise dos dados e discussão dos resultados	68
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
7.1	Propostas de intervenção.....	69
7.1.1	Isolamento acústico	69
7.1.2	Condicionamento Acústico	71
7.2	Conclusão	85
7.3	Sugestão para trabalhos futuros	87
	REFERÊNCIAS	88
	ANEXO A – TABELAS COM VALORES PARA COEFICIENTES DE ABSORÇÃO ..	90
	ANEXO B – NÍVEIS LIMITES PARA CONFORTO ACÚSTICO E LIMITES ACEITÁVEIS PARA DIVERSOS AMBIENTES.	92
	ANEXO C – CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO DECIBELÍMETRO.	93

1 INTRODUÇÃO

A qualidade de vida das pessoas nos grandes centros urbanos ou até mesmo em cidades menores, depende de diversos fatores que contribuem para que a saúde e o bem-estar dos habitantes sejam adequados para uma vida longínqua. Para alcançar a qualidade de vida nos ambientes construídos, aspectos como luminosidade, espaço, conforto térmico, conforto acústico etc., devem ser observados nas construções, visando a satisfação completa de quem as frequenta.

Um dos aspectos de grande relevância no conforto das edificações, mas que na maioria das vezes é negligenciado, é o conforto acústico. A acústica dos ambientes irá influenciar diretamente na satisfação e na saúde das pessoas que realizam atividades nos locais. Bistafa (2011) revela que uma exposição a ruídos em excesso pode provocar graves problemas de saúde, tais como: aumento da pressão arterial, perturbação do sono, perda da audição, stress etc. Segundo a Associação Brasileira para a Qualidade Acústica (PROACÚSTICA, 2018), a Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou que a poluição sonora é um problema de saúde pública, e afirmou ainda que 10% da população mundial está exposta à níveis de ruídos que são possíveis causadores de problemas sérios de saúde. Com base nessas informações, se faz necessário que a acústica das edificações seja trabalhada de maneira correta e eficiente.

Com o avanço das construções populares, desenvolvidas por meio de planos do governo federal, a utilização de sistemas construtivos leves e de custo mais baixo comprometeram significativamente o desempenho das edificações, comprometendo, consequentemente, o desempenho acústico. Com o objetivo de sanar tal comprometimento, a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), desenvolveu a NBR 15.575 – Edificações Habitacionais – Desempenho (ABNT, 2013), que é a norma que trata do desempenho de edificações habitacionais em diversos aspectos, incluindo acústicos. Neste sentido, o objetivo da norma é garantir que o tratamento acústico das habitações seja adequado às características acústicas locais, atingido um desempenho mínimo aceitável.

O tratamento acústico é de grande importância no conforto e na saúde das pessoas. Apesar disso, é um aspecto que normalmente não é pensado previamente nos projetos, o que acarreta uma série de medidas que acabam tendo que ser tomadas posteriormente às obras estarem concluídas. Ao invés de se projetar

planejando o correto desempenho acústico, evitando assim os transtornos, a acústica só é lembrada quando os problemas surgem, o que faz com que os custos sejam maiores, bem como as soluções, mais difíceis.

As escolas, universidades e institutos de ensino representam hoje locais em que crianças, jovens e adultos passam boa parte do seu tempo, seja estudando ou trabalhando. Partindo desta realidade, os ambientes devem ser adequados ao conforto e saúde dos que os frequentam. As salas de aula são os locais em que a atenção deve ser intensificada, no que se refere ao conforto acústico, uma vez que serão os locais onde se realizarão a maioria das atividades escolares e que estas atividades, dependerão de tal conforto.

As atuais normas de desempenho existentes, que tratam a respeito de conforto acústico, trazem consigo parâmetros que foram baseados na NBR 10152 (ABNT, 1987), que é a norma brasileira que define os níveis de ruído para o conforto acústico nos ambientes. Além de definir tais níveis para edificações habitacionais, a referida norma traz consigo definições de níveis para diversos ambientes, como hospitais, auditórios, igrejas, escritórios, escolas etc.

A NBR 10152 (ABNT, 1987) define os limites dos níveis de pressão sonora para conforto em escolas, bem como os limites aceitáveis para estas. Em salas de aula, a inteligibilidade da fala é o principal fator que deve ser levado em consideração quanto ao aspecto acústico das mesmas. De Marco (1982) afirma que o ruído de fundo em escolas, geralmente, é o resultado do agrupamento dos ruídos gerados nas próprias salas de aula, mas que, se a sala possuir um tempo de reverberação (o tempo em que o som permanece no recinto após sua emissão) adequado, estará bem acusticamente, uma vez que a inteligibilidade da fala estará garantida. Portanto, é importante avaliar em ambientes escolares, tanto os limites dos níveis de pressão sonora, respeitando os parâmetros normativos, como o tempo de reverberação adequado, como recomendado pela literatura (DE MARCO, 1982). Contudo, a realidade é que nenhum dos dois parâmetros são tratados com a devida importância, sendo na maioria das vezes esquecidos, como veremos a seguir.

1.1 Problema da pesquisa

A emissão de ruídos gerados pelo estilo de vida moderno tem trazido uma série de problemas para a população dos espaços urbanos. Os problemas relacionados

aos ruídos vão desde aqueles emitidos por estabelecimentos comerciais ou residências em horários inadequados, até os oriundos do tráfego urbano, bem como os gerados pelas indústrias etc., que resultam em danos à saúde e ao conforto. Nas escolas não é diferente. Os ruídos são gerados, principalmente, pelo somatório dos sons presentes nas salas, no entanto, devemos considerar também que conversas nos corredores, práticas esportivas, atividades de limpeza, chuva etc., são fontes geradoras de ruídos. Estas fontes podem comprometer a inteligibilidade da fala do professor nas salas de aula. Partindo desse cenário, se faz necessário que sejam projetadas salas de aula que atendam aos critérios estabelecidos por norma, no que se refere ao isolamento acústico e ao controle dos sons no interior do recinto, caso contrário, as escolas sofrerão com aulas pouco produtivas ou até mesmo ineficazes.

Ao considerar a audição como um elemento essencial no processo de aprendizagem, se faz necessário que seja garantida a qualidade da mesma nas salas de aula. Segundo Andrade (2009), o ruído afeta as capacidades intelectuais que são necessárias para o aprendizado. Partindo desse pressuposto, alunos que frequentam salas de aula onde o ruído de fundo é intenso e o tempo de reverberação não está adequado têm suas capacidades intelectuais prejudicadas, o que faz com que, de maneira geral, a formação acadêmica seja comprometida.

Outro fator importante que determina a importância da adequada condição acústica das salas é a saúde vocal dos docentes. Quando o ruído de fundo é muito intenso, o professor tende a aumentar a intensidade de sua emissão vocal, provocando como consequência deste ato, o stress vocal. Segundo Diniz (2011), os problemas de saúde relacionados ao aparelho fonador do profissional da educação causam relevantes impactos sociais, econômicos, profissionais e pessoais.

Partindo do entendimento desses problemas, faz-se necessário que exista uma atenção maior às questões acústicas nas salas de aula, como explicado a seguir.

1.2 Justificativa

De acordo com a explanação feita a respeito do problema da pesquisa, nota-se a importância da elaboração de estudos e avaliações dos aspectos acústicos em salas de aula, de forma que as construções das mesmas sejam bem pensadas acusticamente e as obras já edificadas sejam adaptadas a uma boa funcionalidade acústica.

Nesse sentido, a NBR 15.575 (ABNT, 2013) trouxe parâmetros relevantes para a avaliação de desempenho acústico em edificações, mas é aplicada a habitações, não a escolas e demais estabelecimentos comerciais e industriais. Além disso, os parâmetros exigidos pela norma exigem um levantamento de dados laboratoriais e equipamentos de alto custo, dificultando sua aplicação prática.

Em ambientes escolares, o isolamento acústico, bem como o tratamento acústico no interior dos recintos, são medidas que irão garantir a qualidade auditiva no interior dos mesmos, fazendo com que tais medidas sejam indispensáveis na etapa de planejamento e projeto das obras, uma vez que ausentes, irão tornar as soluções mais caras e difíceis. O custo–benefício deve ser levado em conta no momento de se pensar em acústica, uma vez que se torna inviável economizar em materiais de fechamento, se posteriormente haverá problemas de saúde oriundos da propagação dos ruídos através destes.

A avaliação dos aspectos acústicos em obras já edificadas irá servir para identificar as falhas nos sistemas de isolamento acústico, bem como analisar como o som está se comportando dentro dos ambientes, de forma que se identificados desempenhos ruins para estas características, soluções poderão ser pensadas de acordo com os estudos desenvolvidos. Verificar acusticamente uma sala de aula, consiste em uma ação de busca de melhoria da qualidade das aulas, uma vez que o comportamento do som irá influir diretamente na inteligibilidade da fala ministrada. Desta forma, se fazem necessários, para as salas de aula, níveis para isolamento acústico adequados e um tempo de reverberação ideal para a voz falada.

Outro fator que deve ser levantado como importante, é a escassez de trabalhos científicos relacionados à análise do conforto acústico nas edificações. Vista a importância do assunto e os prejuízos que a falta de adequação acústica em salas de aula pode causar, estudos que avaliam tal conforto se tornam relevantes e possuem valor tanto para a instituição de ensino que o recebe, quanto para a sociedade que terá acesso ao mesmo.

Palmas é uma cidade nova, planejada, com construções relativamente novas e que possui bons índices no que se refere a saneamento básico (ITB, 2018). Apesar disto, em se tratando de acústica, são poucos os estudos que analisam o comportamento das edificações palmenses. Não existe também, por parte das empresas e construtoras, um cuidado específico relacionado a este tema no momento

da elaboração dos projetos, bem como na execução dos mesmos. Aparentemente, nas obras, a acústica nos ambientes é “resolvida” com a utilização de um ou outro material, denominados “acústicos”, mas que não atendem totalmente às necessidades acústicas das edificações, em função dos níveis sonoros atuantes e das frequências específicas de cada caso.

Por ser uma cidade que está em constante crescimento, com diversas construções sendo iniciadas todos os dias, Palmas necessita de estudos que norteiem os projetos e as decisões acústicas nas edificações, bem como estudos que avaliem o desempenho de edificações já construídas. Dessa forma, a cidade não crescerá com problemas acústicos sendo semeados, de modo que as edificações futuras possuam condições de receber os ruídos característicos de um grande centro urbano, sem maiores problemas e as edificações já construídas poderão ser melhoradas acusticamente.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho acústico das salas de aula dos blocos que representam o novo padrão do IFTO – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Palmas (Blocos 14 a 17), no que diz respeito ao isolamento e ao condicionamento acústico, de acordo com os parâmetros exigidos na NBR 12179 (ABNT, 1992), 10152 (ABNT, 1987), 10151 (ABNT, 2000) e na literatura especializada.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar os parâmetros exigidos nas normas de conforto, avaliação e tratamento acústico;
- Avaliar o tempo de reverberação nas salas de aula selecionadas, considerando as diferenças entre sala cheia e sala vazia;
- Obter os valores dos níveis de pressão sonora incidentes nas salas selecionadas;
- Calcular os níveis de pressão sonora equivalente ponderados em “A” (LAeq) para cada sala selecionada;
- Propor intervenções, se necessárias, para adequar o conforto acústico das salas.

2 O SOM

2.1 Características Físicas Gerais do Som

2.1.1 O som e as características de seu movimento

O som está presente nas nossas vidas desde que nascemos (ou até mesmo antes, durante a gestação), seja por meio da fala, por meio da música, por meio dos ruídos, etc. Este fenômeno pode representar muito na vida das pessoas, seja de maneira positiva (música, etc.), seja de maneira negativa (ruídos).

De acordo com De Marco (1982), o som pode ser definido fisicamente como uma perturbação que se propaga através de caminhos materiais e pode ser percebida pelo ouvido humano. Esta agitação é gerada por um corpo que vibra e é transmitida para os meios que a rodeiam. As moléculas de som sofrem de maneira alternada compressões e rarefações que irão acompanhar o movimento do corpo.

O som pode transmitir-se ao meio de maneira uniforme. Segundo Costa (2003), esta distribuição uniforme acontecerá se o meio for isótropo. É denominado isótropo, o meio que possui as mesmas propriedades elásticas em qualquer dos seus pontos.

As moléculas do meio cuja perturbação está sendo transmitida não se deslocam, mas oscilam em torno da sua posição de equilíbrio. O que se propaga é o movimento oscilatório. Cada uma das moléculas irá repetir o seu movimento oscilatório em um determinado tempo (T), de maneira cíclica. O número de repetições de movimento em um determinado tempo é chamado de frequência (DE MARCO, 1982).

O movimento oscilatório pode ser representado graficamente colocando-se no eixo das abcissas o tempo (T) e no das ordenadas a variação do movimento em torno do equilíbrio. O valor que é obtido em um determinado período é chamado de amplitude (DE MARCO, 1982). A amplitude pode ser ainda definida como o menor ou o maior deslocamento, alcançado pelas partículas, ocasionado pelas oscilações (COSTA, 2003).

De acordo com Costa (2003) no movimento sonoro existe uma energia, como em todo movimento material. Quando esta energia encontra uma resistência oposta ao seu deslocamento, seja por meio da viscosidade do meio, do atrito, de obstáculos, etc., esta energia é retornada ao meio. O retorno da energia ao meio pode ser de duas

maneiras: a onda entra em contato com um obstáculo sólido ou fluido elástico de densidade diferente e doa parte de sua quantidade de movimento, doando assim também energia, fazendo com que o obstáculo vibre; a segunda maneira, é através da transformação de energia cinética em calor.

O meio elástico irá receber as vibrações e irá passar estas vibrações para a suas partículas adjacentes, até que a energia mecânica disponível diminua, fazendo com que a vibração cesse, cessando assim também o som à uma determinada distância da fonte (COSTA, 2003).

2.1.2 Onda sonora

As ondas sonoras são os elementos que irão representar a movimentação do som. É a partir da análise da onda que as características principais do som são conhecidas, características estas que estão relacionadas com a forma da onda e como ela se comporta no meio em que o som está sendo transmitido.

De acordo com Costa (2003), é a partir de qualidades da onda que podemos caracterizá-la totalmente. As três qualidades da onda que devem ser destacadas são a altura, o timbre e a intensidade. A altura está relacionada à sequência das vibrações, ou seja, relacionada à frequência, e irá determinar se um som é mais grave ou mais agudo. O timbre está relacionado com a forma da onda, fazendo com que esta característica torne possível a identificação da origem do som. Por fim, a intensidade está relacionada com a amplitude da onda, é medida em potência sonora e se propaga através de unidades de superfície, podendo ser chamada de intensidade energética (COSTA, 2003).

Segundo De Marco (1982), a velocidade com que a onda se propaga não depende da amplitude e nem da frequência da mesma, mas sim de características específicas do meio em que a onda se propaga. As características que interferem no parâmetro velocidade da onda são a umidade, a temperatura e a pressão. Estima-se que a velocidade média de uma onda em um ambiente de temperatura igual à 22°C é de 345 m/s.

De Marco (1982), afirma ainda que a temperatura é a característica do meio que mais interfere no comportamento da onda no que se refere à velocidade. A variação da velocidade em função da temperatura é dada pela Equação 1:

$$C = (331,4 + 0,607t) \quad (1)$$

Onde:

- $C \rightarrow$ Velocidade (m/s);
- $t \rightarrow$ temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$).

Fonte: De Marco (1982, p. 10)

A velocidade de propagação do som no meio, tem valor igual ao tempo necessário para que a transmissão de pressões percorra determinada distância (COSTA, 2003).

2.1.3 Frequência

A frequência corresponde ao número de oscilações por segundo do movimento vibratório do som, ou seja, para uma onda em propagação, é o número de ondas que irá passar por determinado referencial em um intervalo de tempo (FERNANDES, 2005). A unidade utilizada na medição das frequências é o Hertz (Hz), que corresponde ao número de ciclos completos por segundo. O ciclo é iniciado em zero, ocorrendo em seguida todos os valores positivos e negativos para o movimento, terminando novamente em zero. A frequência da onda sonora será igual à frequência da fonte que emite a onda (COSTA, 2003). Os sons graves são os de baixa frequência e os agudos são os de alta frequência. Estão compreendidos entre 30 e 5.000 Hz os sons musicais (COSTA, 2003).

O ouvido humano é limitado no que se refere à audição de frequências. Costa (2003) afirma que a faixa de frequências que um ouvido humano é capaz de ouvir vai de 16 a 30.000 Hz. Esta percepção pode variar de pessoa para pessoa. As frequências inferiores e superiores ao intervalo são denominados infrassons e ultrassons, os quais o ouvido humano não identifica como som (DE MARCO, 1982).

O tempo necessário para que uma onda sonora execute seu ciclo completo é chamado de período, sendo este inverso à frequência. Desta forma: $f = \frac{1}{T}$ ou seja, quanto maior o tempo que determina o ciclo, menor será a frequência (DE MARCO, 1982). Relacionando a velocidade de propagação do som com a sua frequência, pode-se determinar o que chamamos de comprimento de onda (COSTA, 2003) (Equação 2).

$$\lambda = \frac{V}{f} \quad (2)$$

Onde:

- $\lambda \rightarrow$ Comprimento de onda (m);
- $V \rightarrow$ Velocidade de propagação do som (m/s);
- $f \rightarrow$ Frequência (Hz).

Fonte: Costa (2003, p. 5)

Os sons podem possuir características de irritabilidade, bem como podem ser extremamente agradáveis aos que os ouvem. Achar um som incômodo, ou agradável, é algo que pode ser subjetivo e vai variar de acordo com a percepção individual das pessoas, mas via de regra, sons de alta frequência e intensidade, costumam ser mais incômodos. Os sons, que normalmente são agradáveis aos nossos ouvidos, são os sons comuns.

O resultado da superposição de sons simples é a origem dos sons comuns. Estes são compostos por um som principal, cuja intensidade é maior e a sua frequência determinará a altura do som, e por sons secundários, cujas intensidades são menores e suas frequências são múltiplas da frequência do som principal. Os sons secundários são chamados de harmônicos (COSTA, 2003).

Na fala humana, as consoantes se comportam como ruído e as vogais como sons. Sempre haverá uma frequência que será a dominante. Esta será acompanhada de harmônicos que darão à pessoa que fala o timbre característico de sua voz (COSTA, 2003).

2.1.4 Intensidade sonora

A característica do som que faz com que se perceba “volume” no mesmo, é a intensidade. Esta irá depender da fonte emissora, que poderá ser mais potente ou menos potente. Por exemplo, a fala humana, sem a utilização de equipamentos de amplificação, microfones, etc., possuirá menor intensidade se comparada a um aparelho de som que toca música.

De Marco (1982) diz que a intensidade do som (Watt/m^2) é a quantidade de energia que a onda carrega ao chegar em determinado ponto. É dada pela relação da energia com a superfície em que essa se propaga. A partir deste raciocínio é que se tem a ideia intuitiva de que quanto mais próximo estivermos da fonte sonora, maior a

intensidade do som será percebida. De maneira análoga, quanto mais distante da fonte sonora, menor será a intensidade sonora. Dessa forma, a distância à superfície é inversamente proporcional à intensidade sonora.

Se considerado o ponto de vista físico, a energia presente em um fenômeno sonoro é desprezível. Se um estádio de futebol inteiro, lotado, gritasse “gol”, a energia sonora presente mal daria para aquecer uma xícara de café (FERNANDES, 2005).

De Marco (1982) expressa a intensidade sonora como o NSI – nível sonoro de intensidade, medido em decibéis, que advém da relação entre a intensidade sonora do som em questão, com a intensidade de referência. No entanto, a nomenclatura mais atual é o NIS – Nível de Intensidade Sonora, conforme Fernandes (2005). É uma função logarítmica, ou seja, multiplicar a intensidade do som por 10 significa adicionar 10 dB e multiplicar por 100 significa adicionar 20 dB (DE MARCO, 1982).

2.2 Psico–fisiologia do Som

2.2.1 Tridimensionalidade do som

O som pode ser dividido em três eixos principais, que são as suas três dimensões. Estas irão possibilitar a sua representação gráfica a partir de coordenadas ortogonais entre si. Os eixos são a intensidade da perturbação, a frequência e o tempo (DE MARCO, 1982).

Segundo De Marco (1982), o ouvido humano não percebe da mesma forma sons de igual intensidade e diferentes frequências. Para que este fenômeno seja compreendido, se faz necessário o estudo do funcionamento do aparelho auditivo humano.

2.2.2 Aparelho auditivo – Aspectos fisiológicos

O aparelho auditivo é a ferramenta do corpo humano que irá trabalhar com o objetivo de perceber o som e fazer com que este seja compreendido por nós. Este aparelho é constituído por partes anatômicas específicas, cada uma com uma função no processo de percepção do som. É basicamente dividido em três grupos, o ouvido externo, o ouvido médio e o ouvido interno.

Conforme De Marco (1982), para que o som seja transportado ao cérebro como uma informação, deve acontecer uma transformação de variação de pressão em

variação de tensão elétrica. Ocorrida a transformação, os nervos se encarregarão de transportar essa variação de tensão elétrica para o cérebro como uma informação. O ouvido é o responsável por realizar essa transformação.

A partir de experiências com a interação do ouvido humano submetido a diferentes intensidades sonoras e frequências, foram definidas as Curvas Isofônicas, de Fletcher e Munson. Estas curvas representam graficamente os limites de audibilidade e limiar de dor para as intensidades sonoras, ligadas à diferentes frequências (DE MARCO, 1982).

2.2.3 Problemas relacionados à psicoacústica

A percepção sonora do ser humano pode ser alterada de acordo com o comportamento do som nos ambientes em que ele se propaga. Os problemas relacionados a esta percepção recebem o nome de problemas psicoacústicos.

Um dos problemas psicoacústicos mais conhecidos é o eco. O eco acontece quando o ouvido recebe um som sucessivamente repetido e com certa fidelidade um instante depois. O ouvido necessita de no mínimo 50 milissegundos entre um som e outro para percebê-los como diferentes. Este tempo é o necessário para que a membrana basilar (parte anatômica que vibra conforme a onda sonora e transmite a mensagem da mesma) descansa e possa perceber um novo som. Sendo assim, o eco ocorre quando há este descanso (DE MARCO, 1982).

Segundo De Marco (1982), o ser humano consegue ter uma percepção espacial do som. Esta percepção é possibilitada pela presença dos dois ouvidos. Um ouvido irá receber o som primeiro que o outro, bem como receberá maior intensidade. Este fato, faz com que seja percebida a origem o som, dando ao ouvinte a percepção espacial do som. Isto irá ocorrer mesmo que a diferença entre o tempo e a intensidade sejam mínimas.

Conforme De Marco (1982), outro problema psicoacústico muito conhecido é o Flutter eco, que pode ser definido como a prolongação do som devido à reflexão repetida do mesmo em outra superfície. Acontece normalmente em lugares estreitos, com paredes paralelas (Corredores, etc.).

2.3 A Transmissão Sonora

A transmissão sonora irá variar de acordo com o meio em que ocorrerá, ou seja, de acordo com o caminho do som. Partindo deste entendimento, a transmissão sonora pode ser facilitada ou dificultada pelo meio. Esta facilidade ou possível dificuldade, irá depender das características físicas do meio.

Como dito anteriormente, o som se propaga por meio de vibrações elásticas (mecânicas) em corpos aeriformes, sólidos ou líquidos. Diferente da luz, das ondas eletromagnéticas e da eletricidade, as ondas sonoras não se propagam no vácuo (COSTA, 2003).

Conforme Silva (2005), o meio natural de propagação sonora, que faz com que este chegue aos ouvidos, é o ar. Os sons deixarão de ser ouvidos caso não haja ar preenchendo o espaço envolto ao ouvido.

2.3.1 Comportamento da onda no ar

Via de regra as fontes sonoras não são pontuais, mas quando suas ondas se propagam num meio livre de superfícies refletoras (ar livre), estas tendem a possuir um formato esférico, a partir de comprimentos 1,5 vezes maior que o comprimento da onda gerada na fonte (DE MARCO, 1982).

Quando a fonte é pequena em dimensões, se comparada ao comprimento de onda que emite, a potência acústica desta fonte será distribuída de maneira igual em todas as direções. Quando isto ocorre, a fonte é denominada como “adirecional” ou “onidirecional”. Com base no raciocínio desenvolvido por De Marco (1982), a intensidade sonora é dada através da seguinte Equação 3:

$$I = \frac{W}{4.\pi.r^2} \quad (3)$$

Onde:

- $I \rightarrow$ Intensidade sonora (W/m^2);
- $W \rightarrow$ potência (Watts);
- $r \rightarrow$ raio (m).

Fonte: De Marco (1982, p. 25)

A partir do entendimento desta equação é que se pode concluir que a cada duplicação da distância, a intensidade é dividida por quatro. De Marco (1982), a partir

de operações que partem desta definição aliado a estudos com níveis sonoros, identificou que cada novo nível terá redução de 6 dB.

2.3.2 Compressibilidade

Entender o fenômeno da compressibilidade é fundamental no estudo do som, uma vez que as ondas sonoras se propagam realizando, também, movimentos de compressão. Esta compressão irá influenciar diretamente no comportamento da onda, caracterizando a mesma.

Costa (2003) a define como sendo a característica que um corpo tem de sofrer variações de volume sobre a ação de variações de pressão externa, que também pode ser chamada de elasticidade tridimensional.

O índice de compressibilidade é o que irá caracterizar o material quanto à sua capacidade de comprimir. Este índice é dado pela relação entre a variação de volume e a variação de pressão sofrida pela unidade de volume do corpo. A unidade de medida deste índice é m^2/N (metro quadrado por Newton). O módulo de elasticidade do material será o inverso do coeficiente de compressibilidade, sendo sua unidade de medida N/m^2 (COSTA, 2003).

2.3.3 Sensação auditiva

Como foi dito anteriormente, o aparelho auditivo é o sistema do corpo responsável pela captação e percepção sonora, por meio de suas partes anatômicas. Estas partes irão trabalhar ao entrarem em contato com as vibrações sonoras e nos trarão impressões.

Às impressões causadas no ouvido humano oriundas do som dá-se o nome de Sensação auditiva. A sensação auditiva cresce conforme cada frequência aumenta sua pressão sonora eficaz, indo de zero até o limiar de dor, de acordo com a lei que pode ser chamada de “característica da audição para a frequência dada”. Segundo Costa (2003), uma possível equação (Equação 4) para a obtenção da sensação auditiva é:

$$S = f(Pe) \text{ (fons)} \quad (4)$$

Onde:

- S = Sensação auditiva;

- f = Frequência (Hz);
- P_e = Pressão eficaz da onda sonora (N/m^2).

Fonte: Costa (2003, p.19)

A sensação auditiva é avaliada a partir da lei de Fechner Weber, que diz que, em todas as sensações, a menor variação de estímulo que será necessária para produzir uma sensação que será perceptível, será proporcional ao estímulo já existente. Esta lei só é válida para frequências que estão na faixa de 700 a 4.000 Hz. Devido ao fato da função logarítmica da intensidade sonora ser de cômoda utilização na avaliação da sensação auditiva do som, com as devidas correções, este método tornou-se usual na acústica técnica (COSTA, 2003).

Segundo Costa (2003), as sensações sonoras podem ser chamadas de NIS (Nível de intensidade sonora), NWS (Nível de potência sonora) e NBS (Nível de pressão sonora). A unidade de medida que representará a intensidade sonora é o decibel (dB).

De acordo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção – CBIC (2013), a onda de som que é propagada no ar, comprime os tímpanos fazendo com que o ouvido humano seja sensibilizado em uma escala logarítmica correspondente à pressão de 2×10^{-5} Pa, ou 0,000002 Kgf/m^2 .

O decibel, será a diferença de intensidade sonora que o ouvido percebe quando acontece um acréscimo de intensidade energética de som em 26%. Devido ao fato de um ouvido humano normal perceber variações de 10 a 12%, diz-se que a acuidade sonora do ouvido é de $\frac{1}{2}$ dB. A faixa de percepção sonora vai do zero até os 120 dB, que são o limiar de dor, isto para a frequência 1.000 Hz, que é a frequência de referência (COSTA, 2003).

Aparelhos modernos de medição tentam simular com precisão o comportamento do ouvido humano, constituídos de circuitos eletrônicos variáveis de acordo com a frequência. A avaliação destes aparelhos é dividida em circuitos de escalas ponderadas A, B, C e D, conforme a intensidade energética do som ou a pressão sonora. Sensações auditivas equivalentes inferiores a 40 fons (fon = unidade de medida de nível de audibilidade) são medidas pelo circuito de escala ponderada A. Os circuitos B e C, 70 e 100 fons respectivamente. O circuito D foi desenvolvido para ruídos muito altos, como os que ocorrem em aeroportos (COSTA, 2003).

2.3.4 Impedância acústica

Segundo Costa (2003), a impedância acústica específica é obtida a partir da relação entre a pressão da onda sonora e a velocidade em que acontecem as vibrações das partículas. Em casos de ondas longitudinais planas, a equação para obtenção da impedância é a Equação 5:

$$Z = \rho \cdot c \quad (5)$$

Onde:

- $Z \rightarrow$ Impedância ($\text{kg/m}^2\text{s}$);
- $\rho \rightarrow$ Massa específica (Kg/m^3);
- $c \rightarrow$ Velocidade de vibração das partículas (m/s).

Fonte: Costa (2003, p. 29)

A Tabela 1, a seguir, traz valores de impedância acústica específica para diferentes meios.

Tabela 1 – Valores de impedância para diferentes meios.			
Impedância acústica específica dos diversos meios			
Meio	ρ (Kg/m^3)	c (m/s)	Z ($\text{Kg/m}^2\text{s}$)
Ar	1,2	344	412,8
Anidrido carbônico	1,98	268	530,64
Vapor de água	0,6	419	251,4
Aço	7800	4990	38922000
Alumínio	2710	5105	13834550
Chumbo	11300	1322	14938600
Vidro sódico	2500	5000	12500000
Rocha	2500	2500	6250250
Mármore	2600	3800	9880000
Alvenaria	2200	3480	7656000
Tijolos	1800	3650	6570000
Pinho (paralela à fibra)	840	3320	2788000
Pinho (perpendicular à fibra)	840	1013	850920
Cortiça	240	500	120000
Borracha	920	54	49680
Água do mar	1030	1504	1549210
Água destilada	1000	1461	1461000

Fonte: Costa (2013, p. 30, grifos nossos).

2.3.5 Reflexão e refração sonora

Na acústica dos ambientes, dois fatores importantes referentes ao comportamento do som no recinto são a reflexão e a rarefação. Estes fenômenos, quando conhecidos, poderão nortear a escolha dos materiais que serão utilizados nas superfícies dos ambientes, de forma que estes efeitos sejam “manipulados”. Ao realizar tal manipulação, obtêm-se a acústica desejada para o ambiente.

Quando ocorre o choque de uma onda de pressão sonora com um obstáculo, (por exemplo, uma parede), parte da energia retornará como onda refletida, outra parte irá causar vibrações no novo meio (paredes), como se a parede estivesse “absorvendo” parte da onda sonora. Uma parcela da energia será dissipada em forma de calor, devido ao atrito das moléculas no ato da movimentação ondulatória. Outra parcela de energia irá retornar e se somar com a onda refletida. Existirá também uma parcela de energia que atravessará o obstáculo, fazendo com que a parede se torne uma fonte sonora. A vibração presente na parede fará com que o ar do meio oposto vibre (DE MARCO, 1982).

De forma geral, quando o meio é ilimitado, toda a energia recebida por este será dissipada em forma de calor. Se o meio tiver espessura limitada, parte desta energia será transmitida a este através da refração. O que acontece em ambientes limitados, aparentemente, é que toda a energia que não é refletida, é absorvida (COSTA, 2003).

Desta forma, as intensidades podem ser obtidas pelas Equações 6 e 7:

$$\bullet \quad I_{\text{incidente}} = I_{\text{refletido}} + I_{\text{absorvido}} \quad (6)$$

$$\bullet \quad I_{\text{absorvido}} = I_{\text{dissipado}} + I_{\text{transmitido}} \quad (7)$$

Fonte: Costa (2003, p. 30)

Dividindo cada intensidade pela intensidade incidente, obtêm-se os coeficientes relativos à reflexão, à dissipação, à transmissão e à absorção (DE MARCO, 1982), na Equação 8:

$$\text{Sendo que } r + a = 1 \text{ e } r + d + t = 1 \quad (8)$$

Onde:

- $r \rightarrow$ Coeficiente de reflexão;

- $a \rightarrow$ Coeficiente de absorção;
- $d \rightarrow$ Coeficiente de dissipação;
- $t \rightarrow$ Coeficiente de transmissão.

Fonte: De Marco (1982, p. 27)

O ângulo de reflexão das ondas sonoras em superfícies planas será de acordo com o da fonte sonora, uma vez que a reflexão ocorrerá com um ângulo igual ao ângulo incidente. Para que a reflexão ocorra, é necessário que o espelho acústico possua uma superfície maior que o comprimento de onda do som emitido (SOUZA, 2012).

As superfícies côncavas tendem a concentrar as ondas sonoras, mas esta concentração não ocorre de maneira homogênea. São criadas zonas focais de alta concentração, bem como as zonas surdas, que são as zonas em que não existem ondas refletidas. As superfícies convexas tendem a dispersar suas reflexões, difundindo o som recebido (DE MARCO, 1982).

2.3.6 Difração

A difração é um fenômeno que acontece com as ondas sonoras, no encontro com superfícies que não possuem dimensão superior ao seu comprimento de onda. O que acontece é que não há formação de sombras sonoras, ou seja, o som chega até a superfície e a contorna. É comum dizer que o som “vira as esquinas”. Quando o som chega a uma parede que possui dimensão maior que seu comprimento de onda, o som passa pela parede, mas não a contorna. Com isto são formadas as sombras sonoras, onde não serão ouvidos os sons de maneira clara (DE MARCO, 1982). O fenômeno da difração acontece de maneira semelhante a uma onda de água que encontra um recife (COSTA, 2003). Com a experiência, é possível notar que elementos de dimensões pequenas não alteram a qualidade do som, uma vez que o som irá contornar estes elementos.

Costa (2003) afirma ainda que o som irá se propagar de maneira igual em todas as direções, do outro lado da abertura, em caso de janelas pequenas, vazios de ventilação, portas e janelas mal fechadas, etc. Em grandes aberturas, permanece a conservação do alinhamento da superfície da onda, ocorrendo uma leve difração nos bordos, encurvando as laterais das superfícies das ondas.

2.3.7 Absorção do som

A absorção dos sons em uma determinada superfície irá acontecer de acordo com a capacidade de absorver energia sonora do material que a recobre. Quando se objetiva isolamento sonoro, bem como o adequado acomodamento do som no interior dos recintos, a absorção sonora é o principal parâmetro a ser analisado no momento da escolha dos materiais que serão aplicados. Portanto, a escolha dos materiais de acordo com seus coeficientes de absorção, pensando na eficiência acústica, torna-se de suma importância.

Carvalho (2006) diz que o material que possui boa absorção acústica, é aquele cuja capacidade de reter ondas sonoras, transformando as mesmas em energia térmica, é grande.

Materiais de estrutura porosa como os tecidos, os feltros, os plásticos porosos, as madeiras aglomeradas, etc., são de grande capacidade de absorção de ondas sonoras, conseqüentemente possuem valores altos de coeficiente de absorção. A Tabela 2, a seguir, apresenta o coeficiente de absorção do feltro em camadas de 10 a 14 cm ($R=0,1$ mm), sendo estes comprovados experimentalmente (COSTA, 2003).

Tabela 2 – Coeficientes de absorção do som no feltro, em função da frequência.

Coeficientes de absorção sonora do feltro	
Frequência (Hz)	α
200	0,62
400	0,72
800	0,80
1600	0,83
3200	0,80
6400	0,72

Fonte: Costa (2013, p. 33)

O tamanho dos poros dos materiais é de fundamental importância na determinação dos coeficientes de absorção, uma vez que irão determinar se o material tem maior ou menor absorção. Fatores como a frequência, a espessura, o fracionamento, a pintura superficial do material, etc., são outros fatores que irão influenciar no valor do coeficiente de absorção. Um grande inconveniente encontrado nos materiais absorventes, é a enorme variação de sua capacidade absorvedora para as diferentes frequências. Para algumas frequências, são ótimos, para outras são inadequados. O problema decorrente é que se as frequências não forem absorvidas

de forma adequada, o som ficará distorcido, fazendo com que a atividade sonora (Fala, música, etc.) seja comprometida (COSTA, 2003).

2.3.8 Elementos que interferem na absorção sonora

2.3.8.1 *Espessura*

Experimentos de medições realizados em feltros, mostraram que o coeficiente de absorção do mesmo cresce à medida em que a sua espessura aumenta, principalmente para frequências mais baixas. Desta forma, para a frequência de 500 Hz, o coeficiente de absorção do material é praticamente proporcional à espessura do mesmo. Isso, ao menos, até a espessura de 10 cm. Para frequências maiores, o valor do coeficiente cresce juntamente com as espessuras que possuem de 30 até 50 mm. A partir delas, permanece praticamente constante. Os demais materiais absorventes não possuem, tão sensivelmente, esta direta proporcionalidade entre o coeficiente de absorção e a espessura, principalmente os materiais de madeira aglomerada (COSTA, 2003).

2.3.8.2 *Fracionamento*

Na utilização de material absorvente como revestimento, subdividindo-o em painéis, independente da intenção de sua utilização, há um aumento do coeficiente de absorção deste conjunto (COSTA, 2003).

2.3.8.3 *Pintura*

A pintura, de maneira geral, à base de vernizes ou esmaltes, piora o coeficiente de absorção, uma vez que esta irá fazer com que os materiais se tornem obstáculos reflexivos. Isso acontece por conta do fechamento de seus poros e acarreta a diminuição de até 30% da capacidade de absorção do material (COSTA, 2003).

Segundo Costa (2003) as tintas à base de látex, solúveis em água, não acarretam prejuízos significativos no coeficiente de absorção de boa parte dos materiais.

2.3.8.4 *Disposição*

Com o fato das frequências graves necessitarem de materiais que possuam grande espessura para sua absorção, têm-se utilizado com frequência painéis

instalados a uma certa distância da parede que será revestida, com materiais absorventes por trás. Estes painéis irão funcionar como ressonadores (COSTA, 2003).

No anexo A deste trabalho, estão dispostas tabelas com valores para coeficientes de absorção para diversos tipos de materiais construtivos.

2.3.9 Interferência

O encontro de duas ondas sonoras é chamado de interferência. Quando dois sons se sobrepõem, possuindo as mesmas frequências, é gerado um movimento vibratório de igual frequência, e a amplitude do mesmo irá depender da fase das ondas. Se as fases forem iguais, a amplitude será o resultado da soma das amplitudes das ondas que se uniram, mas se as fases forem opostas, o resultado da amplitude será a diferença entre as duas amplitudes iniciais de cada onda. Nos casos em que as amplitudes das componentes são iguais, mas suas fases são opostas, acontecerá a extinção do som (COSTA, 2003).

Costa (2003) diz que estando a fonte emissora do som próxima a uma parede refletora, acontecerá o encontro das ondas emitidas com as refletidas, ou seja, o som direto se encontrará com o som refletido. Dessa forma, é como se o som refletido fosse oriundo de uma fonte que consiste na imagem da fonte do som direto.

O fenômeno da interferência é de grande importância no que se refere à acústica dos ambientes. Para que a reprodução do som aconteça de maneira adequada em ambientes fechados, se faz necessário um cuidado especial para que os ambientes não apresentem reflexões diretas excessivas (COSTA, 2003).

2.3.10 Batimento

Este fenômeno ocorre quando dois sons de frequência semelhante se encontram. Elas irão se sobrepor e a frequência resultante desta sobreposição será igual à diferença entre as duas frequências componentes. O batimento é exemplificado quando dois instrumentos iguais tocam juntos, um estando desafinado e o outro não (COSTA, 2003).

2.3.11 Ressonância

Na ressonância, acontece o que se chama de vibração forçada. O ar pode entrar em ressonância dentro de um recipiente, de acordo com as propriedades elásticas do gás (COSTA, 2003).

2.3.12 Distorção

A modificação da onda sonora de um timbre (som complexo), através da alteração desigual das amplitudes dos componentes das diversas frequências que compõem o mesmo, é chamada de distorção. Os fenômenos observados anteriormente, são causas de distorções, mais ou menos graves, dos sons relacionados à música e à fala (COSTA, 2003).

2.3.13 Reverberação

O fato de existirem fechamentos em um recinto será o suficiente para que surja uma intensidade reverberante. O fenômeno resultante desta intensidade é a reverberação (DE MARCO, 1982).

A diferença entre reverberação e eco é que na reverberação, o som permanece no local, já no eco, o som é repetido de maneira distinta. A reverberação em excesso, irá ocasionar ininteligibilidade no som, enquanto que a escassez de reverberação torna o ambiente “surdo” (COSTA, 2003).

De Marco (1982) afirma que reverberação irá incidir de três maneiras na distribuição do som no ambiente:

- O espectro do som direto não coincide com o do som reverberante. Isto ocorre por conta de a absorção dos materiais ser seletiva com relação à frequência.
- A distribuição espacial do som não é homogênea, uma vez que os materiais que irão absorver o som não ficam distribuídos no recinto de maneira igual. Estes geralmente estão concentrados nas paredes.
- O som reverberante continuará atuando no local, mesmo após determinado tempo em que a fonte interrompeu a emissão.

2.3.13.1 Intensidade de reverberação

Em um ambiente fechado, que exista a presença de uma fonte sonora de potência constante, a energia incidente irá aumentar até se igualar à energia que sai por meio da absorção das paredes e objetos contidos no interior do ambiente. A partir do momento em que as energias se igualam, é estabelecido um equilíbrio dinâmico, que consiste na saída de energia (W_{abs}) em quantidade igual à cada quantidade de energia nova que entrar (DE MARCO, 1982).

Para a determinação da energia absorvida temos a Equação 9:

$$W_{abs} = I_r \cdot A \quad (9)$$

Onde:

- W_{abs} → energia absorvida (Watts);
- I_r → intensidade reverberada (W/m^2);
- A → valor referente à absorção, medido em sabines.

Fonte: De Marco (1982, p. 30)

Quanto mais perto estivermos da fonte, o som que se ouvirá será o som direto, a partir do momento em que se adquire determinada distância da fonte o som que se ouvirá com predominância será o som reverberado (DE MARCO, 1982).

O som direto irá predominar por poucos metros a partir da fonte, ou seja, o som que carece de preocupação no que se refere à tratamento é o som reverberante. Não há como tratar o som direto, este sempre afetará quem está próximo a ele. Em locais onde o som direto tem nocividade à saúde, a solução é que quem esteja exposto a ele utilize protetor auricular, de forma a impedir que o som chegue aos ouvidos (DE MARCO, 1982).

2.3.13.2 Mecanismos da reverberação

Costa (2003) destaca como mecanismos da reverberação (que representam características da mesma) os seguintes aspectos:

- Para diversos pontos de um mesmo local, o tempo de reverberação é praticamente igual (som perfeitamente difundido);
- O tempo de reverberação não irá depender da posição da fonte que emite o som;

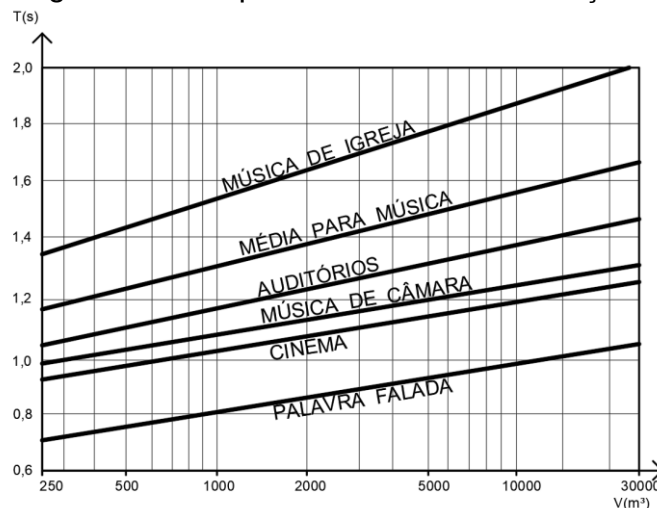
- O efeito que uma superfície poderá causar no tempo de reverberação independe da localização da mesma no recinto.

2.3.13.3 Tempo de reverberação

O efeito da reverberação, que é o mais importante do ponto de vista arquitetônico, é o tempo de reverberação. Uma vez que se o som continua soando por muito tempo após a interrupção da emissão, a compreensão do ouvinte poderá ser comprometida. De maneira análoga, se o som é absorvido rapidamente, locais afastados da fonte sofrerão com o mesmo problema de falta de compreensão sonora (DE MARCO, 1982).

O tempo de reverberação irá quantificar a absorção acústica dos ambientes e será definido como o tempo necessário para que a energia sonora decaia um milhão de vezes em relação à energia inicial, ou seja, como o tempo necessário para que decaia 60 dB do som a partir da interrupção sonora (SANTOS, 2005). Devido ao fato da absorção do som depender da frequência, o tempo de reverberação e a quantidade de som reverberante também irão depender da frequência (DE MARCO, 1982). Os tempos ótimos de reverberação são determinados a partir do uso do ambiente, tomando como parâmetro o volume de ar do recinto (Figura 1).

Figura 1 – Tempos ótimos de reverberação.



Fonte: De Marco (1982, p. 40).

Para estudos de problemas práticos relacionados à reverberação, são adotadas três ou mais frequências. Em casos onde o objetivo é a obtenção de um

estudo mais aprofundado, são utilizadas as frequências de 125, 250, 500, 1000, 2000 e 4000 Hz (DE MARCO, 1982). Segundo De Marco (1982), o tempo de reverberação pode ser expresso por meio da Equação 10:

$$T_{60} = \frac{0,161 V}{A} \quad (10)$$

Onde:

- T_{60} → tempo de reverberação (s);
- V → volume do ambiente (m^3);
- A → absorção (Sabines).

Fonte: De Marco (1982, p. 41)

Esta equação é válida para locais onde ocorre regime difuso, e vale ressaltar que a equação independe da forma do ambiente. No cálculo do tempo de reverberação, o parâmetro que possui mais dificuldade de obtenção de valores é a absorção (DE MARCO, 1982). A fórmula que expressa a absorção do som em um ambiente é a Equação 11:

$$A = \sum S_i \alpha_i + \sum n_i A_i + xV \text{ (Sabines)} \quad (11)$$

Onde:

- S_i → superfície aparente de cada material (m^2);
- α_i → coeficiente de absorção de cada material;
- n_i → quantidade de objetos de absorção A_i ;
- A_i → absorção global de cada objeto (Sabine);
- x → coeficiente de absorção do ar (Sabine/ m^3);
- V → volume do local (m^3).

Fonte: De Marco (1982, p. 41)

A NBR 12179 (ABNT, 1992) traz em seu conteúdo uma equação para o tempo de reverberação semelhante à equação proposta por Sabine, constante em De Marco (1982). Considera os parâmetros: volume do recinto, as áreas das superfícies e os coeficientes de absorção dos materiais, e está expressa a seguir (Equação 12):

$$Tr = \frac{0,161 \cdot V}{S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2} \quad (12)$$

Onde:

- Tr → tempo de reverberação (s);

- $V \rightarrow$ volume do recinto (m^3);
- $S_n \rightarrow$ área da superfície (m^2);
- $\alpha_n \rightarrow$ coeficiente de absorção.

Fonte: NBR 12719 (ABNT, 1992, p.3)

3 RUÍDO

3.1 Definições

Segundo Costa (2003), pode-se chamar de ruído todo o som que possui grande número de notas e possui frequências mais altas, sendo este mais incômodo, quanto mais notas possuir e quanto mais altas forem suas frequências. Já De Marco (1982) define ruído como todo som indesejado, enquanto a NBR 12179 (ABNT, 1992) acrescenta a essa definição, a noção de ruído como uma mistura de sons que possuem frequências que não seguem nenhuma lei precisa, e que diferem entre si por valores perceptíveis ao ouvido humano.

Várias definições para ruído têm sido elaboradas, desde as definições que se baseiam em conceitos puramente físicos, a aquelas que são referentes à teoria da comunicação, servindo para seus respectivos campos de trabalho. No âmbito da arquitetura e engenharia, o ruído será importante uma vez que este incomode pessoas que vivem ou trabalham nos edifícios (DE MARCO, 1982).

De Marco (1982) afirma ainda que o ruído afetará a vida das pessoas de várias formas, podendo este ser forte de maneira que afete imediatamente a saúde do ouvido, ou ser forte o suficiente para causar danos permanentes àquelas pessoas que estão expostas por longos tempos a ele. O ruído é um possível empecilho na audição de música, de textos lidos ou pode ser simplesmente perturbador.

Todos os sons ou ruídos de natureza indesejada, que atrapalhem a audição de sons que queremos ouvir, prejudiquem quaisquer atividades humanas desenvolvidas e causem danos à saúde do homem, podem ser chamados de rumores (COSTA, 2003).

De acordo com Costa (2003), as naturezas dos problemas relacionados aos rumores, podem ser classificadas nos seguintes grupos:

- Fisiológicos: Irão estudar os efeitos destes ruídos no organismo humano, relacionados à surdez, à distúrbios nervosos e até a morte;

- Fisiopsicológicos: estuda a influência destes no rendimento do trabalho humano, seja manual ou intelectual;
- Físicos: é estudada a natureza do ruído, bem como maneiras de reduzi-lo ou até mesmo eliminá-lo;
- Técnico construtivo: irão estudar meios capazes de reduzir os efeitos indesejáveis do mesmo;
- Intensidade: medida em dB (A);
- Altura: é dada a partir da frequência do som puro predominante;
- Timbre: irá permitir, na maioria das vezes, determinar a origem do som;
- Regularidade: tem relação com a constância da frequência, bem como a constância da sua intensidade;
- Suportabilidade: está relacionada a impressão de fastio fisiológico que poderá ser ocasionado pelo ruído.

Rumores de 40 dB (A) a 50 dB (A) irão acarretar em uma pequena diminuição do rendimento de uma atividade intelectual intensa, podendo estes causarem efeitos psicológicos danosos à saúde humana. O fato destes rumores serem de natureza regular, favorece a suportabilidade do mesmo, porém, uma exposição exagerada a este, poderá causar danos ao sistema nervoso (COSTA, 2003).

3.2 Origem dos ruídos

De acordo com sua origem, os ruídos em edificações podem ser distinguidos como exteriores ou interiores. Separando-os desta forma, podemos entender como estes ocorrem e por onde normalmente são transmitidos.

Com relação à origem dos ruídos exteriores, De Marco (1982) diz que o ruído presente no contexto urbano que possui maior intensidade, sem sombra de dúvidas, é o da aviação, podendo este chegar à 100 Quilowatts de potência. Além do ruído gerado pela aviação, um dos ruídos mais preponderantes no que se refere ao conforto acústico das cidades é o ruído oriundo do tráfego urbano. Nas grandes cidades, existe um ruído constante advindo do tráfego de veículos automotivos, onde ocorre a superposição dos ruídos de cada veículo.

A construção civil se utiliza de máquinas que são outras importantes fontes causadoras de ruídos, principalmente quando estas são utilizadas fora dos horários normais de trabalho. Assim como as máquinas da construção civil, as fábricas causam

transtornos para suas vizinhanças no que diz respeito ao ruído quando estas estão em locais próximos a residências, ou seja, não estão em zonas específicas para indústrias (DE MARCO, 1982).

Os ruídos interiores são, na maioria das vezes, oriundos dos equipamentos presentes nas residências, sejam eles eletrodomésticos para entretenimento (aparelhos de som, TV, rádio), ou eletrodomésticos para fins diversos (máquina de lavar, aparelho de ar condicionado, etc.). A utilização destes equipamentos geralmente está relacionada à geração de ruídos. Estes ruídos também podem ser causados pelo impacto em paredes e pisos.

3.3 Critérios de ruído

A reação das pessoas ao ruído é extremamente individual, tornando este parâmetro de certa forma subjetivo. Costuma-se então trabalhar com curvas–critério, que irão definir probabilidades razoáveis para perda de acuidade auditiva ou para reclamações de usuários (DE MARCO, 1982).

3.4 Critérios de danos à audição

Foram desenvolvidos critérios com base em estatísticas diferentes que são aplicáveis a ruídos em áreas industriais. Burns (1973) *apud* De Marco (1982) afirma que a curva A irá determinar os valores de nível sonoro que não devem ser ultrapassados para que não causem dano permanente à audição. Beranek (1954) *apud* De Marco (1982) diz que a curva B indica limites de tolerância, de forma que, se em qualquer ponto os limites forem ultrapassados em 5 dB, é provável que alguma pessoa tenha perda auditiva com o passar do tempo (um ou dois anos) (DE MARCO, 1982).

Estas medições constantes em De Marco (1982) foram realizadas considerando ruído estacionário, com espectro de faixa larga. Com relação à exposição ao ruído, foi considerada jornada de oito horas por dia, cinco vezes por semana (DE MARCO, 1982). Considerando exposições curtas a ruídos, estas sendo de mais ou menos um minuto, o limite tolerável é de 140 dB de ruído global. Para ruídos de sons puros, segundo De Marco (1982), considerar os valores na Tabela 3, a seguir:

Tabela 3 – Níveis máximos de ruídos de sons puros.								
Níveis máximos admissíveis de ruídos de sons puros.								
f (Hz)	50	100	200	400	800	1600	3200	6400
NSI (dB)	110	95	88	85	84	83	82	81

Fonte: De Marco (1982, p. 55)

3.5 Intensidade de sons e ruídos mais comuns

Conhecer na prática os níveis de pressão sonora dos sons e ruídos é importante no que se refere à determinação de um critério de controle dos mesmos, de maneira que o desconforto e o risco à saúde gerados por eles sejam evitados (COSTA, 2003).

Com base nisto, as normas nacionais relacionadas ao assunto caracterizam a intensidade de som por meio da sua pressão sonora equivalente, LA_{eq} , medida em dB (A) e levam em consideração alguns aspectos relacionados aos ruídos, como:

- **Ruído com caráter impulsivo:** são aqueles que possuem picos de energia sonora, que se repetem em intervalos maiores que 1s e possuem duração menor que 1s. Exemplos destes são as martelagens, bate-estacas, tiros, explosões, etc.);
- **Ruído com componentes tonais:** é aquele que contém sons puros (apitos, zumbidos, etc.);

3.6 Interferência do ruído na inteligibilidade da fala

Apesar dos ruídos que atuam em residências e salas de trabalho serem, normalmente, de nível sonoro baixo, de forma que dificilmente comprometam a acuidade auditiva, estes podem ser demasiadamente incômodos se atrapalharem o descanso ou a atividade de trabalho. A intensidade do incômodo não depende apenas de fatores físicos, mas também de fatores subjetivos, como por exemplo, o estado emocional de quem está submetido aos ruídos. Uma pessoa nervosa irá se irritar com mais intensidade, desenvolvendo em muitos casos problemas de saúde por conta da irritação (DE MARCO, 1982).

Segundo De Marco (1982), problemas referentes ao mascaramento do som por efeito da superposição de um som ao outro têm notória importância quando se faz

necessária a comunicação verbal. A interferência do ruído de fundo na conversação dificulta a inteligibilidade, a partir do momento em que este aumenta seu nível com relação à fala.

Ensaio realizado por investigadores da área mostraram que quase todas as informações necessárias à comunicação verbal estão compreendidas entre as faixas 200 Hz e 6000 Hz. Quando se objetiva a análise da redução de inteligibilidade por conta de ruídos, pode-se reduzir a dificuldade do processo levando em consideração apenas as três oitavas (600,1200; 1200, 2400; 2400, 4800) (DE MARCO, 1982).

O Nível de Interferência na Conversação (NIC – *Speech Interferenc Level* – SIL) consiste na média aritmética dos níveis de ruído perturbador nas três faixas indicadas. A partir da determinação do NIC, é possível avaliar a possibilidade de estabelecer comunicação verbal, de atender e se comunicar através de telefonemas, bem como será possível determinar a quantidade de redução de nível necessária para que seja possível uma comunicação inteligível (DE MARCO, 1982).

Beraneck (1954) *apud* De Marco (1982) foi o responsável pelo desenvolvimento do critério que avaliou a possibilidade de se estabelecer comunicação verbal, o CR (critério de ruído), bem como o CRA (critério de ruído alternativo para um NIC com certa dificuldade). Assim, o número de cada curva CR irá representar seu respectivo NIC (DE MARCO, 1982).

Para que o processo se torne mais cômodo, é possível substituir o CR pela indicação dB (A). Em quase todos os casos, é possível determinar o valor de CR, reduzindo da indicação dB (A) algo entre 5 e 10 dB (DE MARCO, 1982).

3.7 Controle dos ruídos

O repouso e as atividades de trabalho são melhores aproveitadas quando a condição sonora no que diz respeito ao ruído ambiente é agradável. Segundo De Marco (1982), os ruídos podem ser divididos em:

- Devidos às atividades desenvolvidas no local;
- De fundo, sem depender das atividades que estão sendo exercidas no local;
- Específicos;

Em uma sala de aula, por exemplo, o ruído proveniente das atividades desenvolvidas no local será, basicamente, o da conversação entre os alunos. O ruído

de fundo será aquele oriundo da rua, dos corredores, etc. Os ruídos específicos serão os que acontecem de maneira isolada, como o de um celular tocando, de um material que cai no chão, etc. De Marco (1982) afirma que normalmente, o ruído de fundo é proveniente da superposição de vários ruídos aleatórios presentes nos entornos do local afetado.

Nos casos em que o ruído gerado no local é mínimo, como por exemplo em dormitórios, ateliês de desenhos, bibliotecas, etc., o desconforto acústico será causado pelo ruído de fundo, aliado aos ruídos específicos (DE MARCO, 1982).

Objetivando a prevenção de danos à saúde pública, oriunda do excesso de ruídos, que são provenientes das atividades modernas, principalmente industriais, inúmeros países têm desenvolvido normas que visam o controle dos níveis de ruídos exacerbados nos diferentes ambientes (COSTA, 2003).

Para a elaboração destas normas, os critérios são vários e vão desde estabelecer níveis de pressão sonora para ambientes, definindo-os como de conforto, até estabelecer limites aceitáveis para o ambiente de acordo com a sua finalidade de uso. Existem também critérios que relacionam os níveis de pressão sonora com o horário e com o tempo de duração (COSTA, 2003).

A norma brasileira que irá tratar do controle de ruídos é a NBR 10152 (ABNT, 1987), onde estão dispostos os níveis limites para conforto acústico, bem como os limites aceitáveis para diversos ambientes. Tabela de valores para estes constam no Anexo B deste trabalho.

Apesar dos valores apresentados na tabela do Anexo B serem tratados de forma cuidadosa, em muitos casos é indispensável a análise da frequência do ruído. Referente a esta análise, as normas apresentam o que é conhecido como NC (Noise Criteria), que são valores correspondentes às curvas de ruído, relacionadas com as respectivas frequências. Desta forma, a análise do som será feita de maneira mais criteriosa (COSTA, 2003).

No Brasil, o tempo máximo de exposição a ruídos foi determinado na Portaria n. 3214 de 08 de junho de 1978¹. Esta determinação foi feita relacionando o tempo de exposição com o nível de pressão sonora atuante. Os valores estão expressos na Tabela 4, a seguir:

¹ Esta Portaria pertencia ao extinto Ministério do Trabalho, sendo transferida para a atual Secretaria do Trabalho do Ministério da Economia.

Tabela 4 – Tempo máximo de exposição para níveis sonoros.

Tempo máximo de exposição para cada nível sonoro		Continuação	
Nível sonoro – dB (A)	Tempo permitido	Nível sonoro – dB (A)	Tempo permitido
85	8 h	96	1 h 45 m
86	7 h	98	1 h 15 m
87	6 h	100	1 h
88	5 h	102	45 m
89	4 h 30 m	104	35 m
90	4 h	106	25 m
91	3 h 30 m	108	20 m
92	3 h	110	15 m
93	2 h 30 m	112	10 m
94	2 h 15m	114	08 m
95	2 h	116	06 m

Fonte: Costa (2013, p. 77).

Os ruídos devem ser avaliados, de forma que sejam conhecidas todas as suas características. A avaliação destes ruídos irá nortear as correções acústicas das edificações, fazendo com que estas sejam mais assertivas no que se refere à eficiência. Para o desenvolvimento destas avaliações devem ser observados os seguintes aspectos:

- Se existem ruídos de natureza impulsiva ou de impacto;
- Se existem componentes tonais;
- Se existem ruídos intermitentes;
- Analisar diferentes horários do dia;
- Observar o ambiente interno e externo;
- Zoneamento dos ruídos;
- Analisar a existência de ruídos de fundo.

Com base nos equipamentos de medição atuais, para atender aos requisitos das normas 10151 e 10152 da ABNT (2000;1987), os tipos mais comuns de medidas de ruídos são resumidos da seguinte forma (COSTA, 2003):

- Medida dos níveis de pressão sonora sem que haja a correção dos mesmos com base na frequência. Nestes casos, a correção com base nas frequências poderá ser feita a partir das curvas NC.
- Nível de pressão sonora de pico, medidos através de equipamentos que considerem um tempo de subida de 20 μ s. Este método é capaz de medir níveis de pressão sonora de mais altas frequências.
- Nível de pressão sonora impulsivo, que será medido por equipamentos constituídos de um circuito capaz de calcular o valor médio quadrático dos níveis de pressão sonora num tempo de 35 ms. Esta metodologia é capaz de medir níveis de pressão sonora para frequências mais baixas.
- Medição do nível total de pressão sonora, que consiste na raiz média quadrática (RMS) dos sons em uma faixa de tempo de 125 ms ou 1s.
- Medir o nível de pressão sonora equivalente (LA_{eq}), em dB, ponderados em A. Caso o equipamento de medição não seja capaz de medir automaticamente a LA_{eq} , a ABNT prescreve um método para cálculo deste parâmetro, que consiste na equação a seguir (Equação 13):

$$LA_{eq} = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10} \text{ (dB)} \quad (13)$$

Onde:

- $L_i \rightarrow$ Nível de pressão sonora ponderada em A, medida em resposta rápida a cada 5s (dB (A));
- $n \rightarrow$ Número de medidas.

Fonte: NBR 10151 (ABNT, 2000, p. 4)

Para obtenção do resultado final da medição, deve ser calculado o L_c (Nível de pressão sonora corrigido), dado através da equação:

$$L_c = LA_{eq} + L_b \text{ (dB)}$$

Onde:

- $LA_{eq} \rightarrow$ Nível de pressão sonora equivalente, em decibels ponderados em "A" (dB (A));
- $L_b \rightarrow$ Níveis de correção à serem adotados.

Fonte: Costa (2003, p. 79)

Os L_b deverão ser adotadas segundo estes pressupostos:

- Para ruídos de impacto ou impulsivos, $L_b = +5$ dB;

- Para ruídos com componentes tonais, $L_b = +5 \text{ dB}$;
- Para ruídos intermitentes o L_b é dado através da Tabela 5, a seguir:

Tabela 5 – Correções em função do ruído.

Correções em função da duração do ruído	
Duração do ruído em % do tempo	L_b
56 % – 100 %	0 dB (A)
18% – 56%	– 5 dB (A)
6% – 18%	– 10 dB (A)
1,8 % – 6%	– 15 dB (A)
0,6% – 1,8%	– 20 dB (A)
0,2% – 0,6	– 25 dB (A)
< 0,2%	– 30 dB (A)

Fonte: Costa (2013, p. 80).

Os níveis de pressão sonora que foram calculados conforme descrito acima, devem ser comparados com os níveis recomendados pela NRB 10151 (ABNT, 2000), que são os **Níveis de Critério de Avaliação – NCA**, apresentados na Tabela 6. Caso o ruído de fundo seja maior que o NCA, o valor à ser utilizado como referência é o do ruído de fundo (COSTA, 2003).

Tabela 6 – Valores para NCA – ambientes externos.

Valores de NCA para ambientes externos em dB (A)		
Tipos de área	Diurno	Noturno
De sítios e fazendas	40	35
Estritamente residencial, hospitais, escolas	50	45
Mista, predominantemente residencial	55	50
Mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Mista com vocação industrial	65	55
Predominantemente industrial	70	60

Observação: os níveis de critério de avaliação NCA para ambientes internos são os níveis indicados acima, com correção de – 10 dB (A) para janela aberta e – 15 dB (A) para janela fechada

Fonte: NBR 10151 (ABNT, 2000, p.3, grifos nossos).

4 CONFORTO ACÚSTICO

4.1 Isolamento acústico

É importante ressaltar, no que se refere a isolamento, que uma absorção extra no local em que se emite o ruído, irá atenuar os efeitos do som reverberante, mas que esta melhora não se compara à melhora causada pelo isolamento acústico (DE MARCO, 1982).

Impedir a entrada de ruídos externos no interior de um ambiente trata-se de isolá-lo acusticamente, de forma que alcance os níveis recomendados e esteja em conformidade com as atividades que serão desenvolvidas no recinto (CARVALHO, 2006).

O isolamento sonoro é dividido em dois tipos: o isolamento acústico de ruídos aéreos e o isolamento acústico de ruídos de impacto. O isolamento de ruídos aéreos, irá tratar ruídos cuja transmissão se dá através do ar (rádios, etc.), já o isolamento de ruídos de impacto, é aquele que trata ruídos cuja transmissão se dá por meio dos sólidos (passos, batidas nas paredes, etc.) (DE MARCO, 1982).

Carvalho (2006) diz que um material que possui características que tragam ao mesmo a capacidade de refletir uma grande quantidade de ondas sonoras, pode ser considerado como um bom isolante acústico.

Como explanado anteriormente, um fechamento atingido por ondas sonoras irá vibrar de maneira que este transmita energia para o outro lado do fechamento, fazendo com que o fechamento se torne uma fonte sonora. A quantidade de isolamento que o fechamento irá entregar vai depender das frequências que o atingem, bem como das características construtivas do mesmo (DE MARCO, 1982).

Segundo De Marco (1982), para cada duplicação de massa, o isolamento aumenta em 6 dB, segundo a Lei de Massa. Esta lei não se aplica à todas as frequências, uma vez que as paredes, consideradas como membranas vibrantes, se deformam no seu jeito de vibrar. Partindo deste pensamento, irão existir, para cada membrana, frequências de ressonância. Estas frequências farão com que as paredes vibrem de maneira mais intensa. Pode acontecer de as membranas não vibrarem de maneira intensa, mas isto irá depender do seu amortecimento.

Experimentos determinaram que o comportamento do fechamento poderá ser dividido em três regiões: a região onde o isolamento irá depender da rigidez do

fechamento, a região onde o isolamento será controlado pela Lei de Massa e a região em que o isolamento sofrerá um novo decaimento devido à frequência de coincidência (DE MARCO, 1982).

Quando se faz necessário um grande isolamento acústico, a Lei da Massa diz que o peso dos fechamentos deve ser aumentado. Entretanto, este aumento deve esbarrar no limite do custo–benefício, sendo imprescindível avaliar qual a melhor solução para cada caso, ou seja, qual a solução mais viável. O isolamento produzido por um sistema de paredes duplas, o mais usual na década de 1980 e ainda utilizado nos dias de hoje, chega a ser de 5 a 10 dB superior ao isolamento proporcionado por paredes simples que possuam o mesmo peso das paredes duplas (DE MARCO, 1982).

Quando se vai definir um sistema de isolamento, o lado que deve ser observado é o mais fraco, ou seja, não adiantaria dividir com uma parede extremamente isolante duas salas imediatas, se o som puder passar por outros caminhos (pela estrutura, por janelas abertas, etc.). Um outro aspecto a ser observado é a porosidade dos materiais empregados. Por exemplo, o concreto celular e os tijolos vazados irão transmitir muito mais do que materiais maciços de igual peso (DE MARCO, 1982).

De Marco (1982) afirma que as esquadrias também irão influenciar neste processo, uma vez que se estas possuírem um índice de enfraquecimento diferente das paredes, o isolamento global irá reduzir. Assim como as esquadrias, os forros falsos, apoiados em paredes que não vão até o teto constituem possíveis caminhos para ruídos.

4.2 Condicionamento acústico

Os estudos de acústica para os ambientes, buscam estabelecer condições dinâmicas para as ondas sonoras, bem como condições geométricas. Dificilmente as condições mencionadas poderão ser determinadas de maneira precisa. Com isto, na prática, os estudos não se comprovam, uma vez que nos limitamos a fazer hipóteses simples para os mesmos (COSTA, 2003).

Costa (2003) afirma que no estudo geométrico da onda sonora, são supostas reflexões uniformes dos raios sonoros nas paredes que delimitam o recinto, já no estudo dinâmico do regime sonoro, considera-se a perfeita difusão da energia sonora.

Mesmo com todas as hipóteses simplificadas, os resultados obtidos na prática para as principais características acústicas das salas têm sido plenamente satisfatórios (COSTA, 2003).

Segundo Costa (2003), de todas as propriedades acústicas, as que devem ser destacadas como imprescindíveis são:

- A distribuição de energia deverá ser respeitada, de acordo com as componentes do som original;
- Com relação à distribuição de energia sonora geral no recinto, esta deverá ser o mais uniforme possível, extinguindo zonas de concentração de energia, bem como zonas silenciosas e fenômeno de eco;
- Com o objetivo de as emissões de ondas sonoras simples serem perfeitamente percebidas, o amortecimento das ondas refletidas nas paredes não deve ser inferior a um dado limite, que irá depender das características do som e da sala.

São Considerados ainda como fatores importantes no condicionamento acústico:

- Obter no ambiente uma reverberação adequada;
- Manter uma boa relação sinal/ruído, fazendo com que o som gerado no interior do ambiente mantenha níveis superiores ao ruído de fundo (FERNANDES, 2005).

No caso de escolas, foram definidas algumas condições no que se refere ao conforto acústico específico. Segundo De Marco (1982), o ruído de fundo nas escolas é dado basicamente pela junção dos ruídos de todas as salas, com exceção de salas especiais, salas de música, oficinas, etc. Com relação ao conforto acústico das salas de aula, o cuidado que deve ser tomado é que o ruído de fundo não seja inteligível e que o tempo de reverberação da sala esteja adequado. Desta forma, o que for falado nas aulas será ouvido (DE MARCO, 1982).

5 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

A pesquisa foi dividida basicamente em quatro etapas, sendo estas a revisão bibliográfica, a etapa de levantamento dos dados de campo, o tratamento e análise dos dados coletados e por fim, a discussão a respeito dos valores obtidos comparados com as normas, propondo, se necessária, uma intervenção para o condicionamento acústico.

5.1 Revisão bibliográfica

A etapa de revisão bibliográfica consistiu no levantamento de materiais teóricos a respeito do assunto em questão (acústica), sendo estes oriundos de livros, artigos científicos, teses, revistas especializadas, sites etc.

5.2 Levantamento dos dados de campo

Passada a etapa da revisão bibliográfica, foram realizadas as medições em campo, de acordo com a NBR 10151 (ABNT, 2000). A norma define as condições para medições de ruído, bem como para correção dos níveis sonoros medidos se o ruído apresentar características especiais que necessitem de correção. Esta traz também uma comparação dos níveis corrigidos com um critério que leva em conta a natureza do ruído.

Para a medição do ruído de acordo com a norma, fez-se necessária a determinação do LAeq (Nível de pressão sonora equivalente), em decibéis ponderados em “A”, normalmente denominados de dB (A). Com relação ao medidor de nível de pressão sonora que foi utilizado, a norma indica que este deve atender às especificações da *International Electrotechnical Commission – IEC 60651 – (Sound Level Meters)* (1979) apud NBR 10151 (ABNT, 2000), para tipo 0, tipo 1 ou tipo 2.

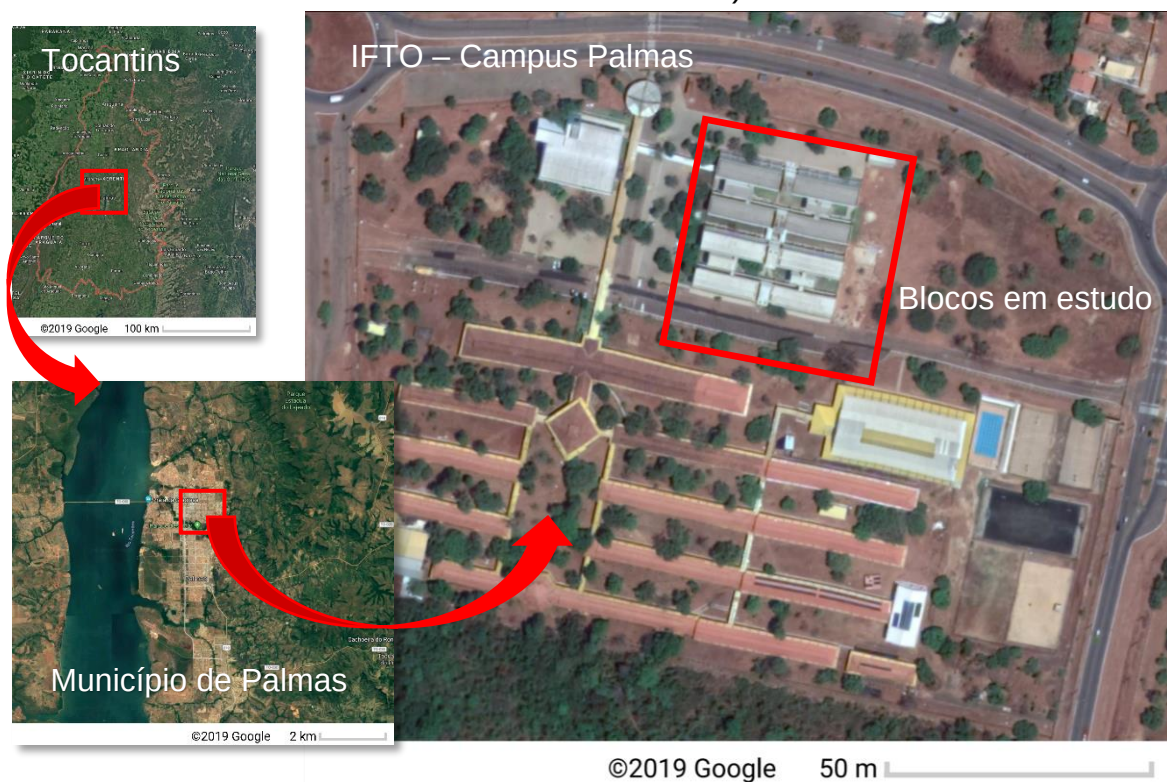
A norma define que o medidor de nível de pressão sonora precisa possuir certificado de calibração da Rede Brasileira de Calibração (RBC) ou do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO).

Para medições internas, que é o caso das salas de aula, a norma diz que estas deverão ser realizadas a uma distância mínima de 1 m de qualquer superfície (teto, pisos, paredes, móveis etc.) e que os níveis de pressão sonora em interiores devem

ser o resultado da média aritmética dos valores medidos em pelo menos três pontos distintos, distantes entre si 0,5 m, no mínimo.

A pesquisa foi realizada nas salas de aula dos blocos 14 a 17, que representam o novo padrão do IFTO – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Palmas (Figuras 2 a 4).

Figura 2 – Vista aérea do Campus Palmas do IFTO (destaque para os blocos que serão estudados)



Fonte: Google (2019).

Figura 3 – Vista interna das salas de aula e vista externa dos blocos 14 a 17 do Campus Palmas do IFTO.



Fonte: Fotos Silva, L. f. G. (2019).

Figura 4 – Planta baixa dos blocos 14 a 17 do IFTO – Campus Palmas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Das salas presentes nestes blocos, foram observados três padrões: salas com capacidade para 20 pessoas (padrão 1); salas com capacidade para 35 pessoas (padrão 2); e salas com capacidade para 45 pessoas (padrão 3). Considerando estes padrões, as medições foram realizadas em uma sala de cada padrão, para cada bloco, totalizando doze salas e trinta e seis medições. Além disso, foram escolhidas as salas mais próximas a locais ruidosos.

A locação dos pontos de medição para cada padrão de sala foi feita respeitando as recomendações da NBR 10151 (ABNT, 2000) e estão representadas na Figura 5, a seguir.

SALA PADRÃO 2



Como dito anteriormente, A NBR 10151 (ABNT, 2000) diz que é recomendável que o medidor de nível de pressão sonora seja capaz de determinar a LAeq, mas que

se este não possuir tal recurso, a determinação pode ser feita manualmente, por meio da equação contida no anexo A da norma. O equipamento que foi utilizado não possui o recurso de cálculo direto dos LAeq, portanto estes foram calculados por meio da equação do Anexo A da norma (Equação 13).

O tempo de reverberação foi calculado com base na NBR 12179 (ABNT, 1992), que é a norma que fala de tratamento acústico em ambientes fechados. A equação que foi utilizada é a de Sabine, demonstrada anteriormente (Equação 12).

O cálculo do tempo de reverberação foi feito considerando duas situações para as salas: cheias e vazias. As frequências relacionadas à fala, que foram utilizadas para a correção do tempo de reverberação, foram: 125, 500 e 2000 Hz, conforme Santos *et al.* (1997, p. 189). Os coeficientes de absorção foram retirados da bibliografia especializada e da NBR 12179 (ABNT, 1992).

Foram obtidos os valores de LAeq, em dB (A), um para cada sala. Estes valores representam os níveis medidos nas mesmas. Os valores de LAeq obtidos foram comparados com os recomendados pela NBR 10152 (ABNT, 1987), para salas de aula. O tempo de reverberação calculado foi comparado com o tempo de reverberação ideal para ambientes destinados à fala, de acordo com a NBR 12179 (ABNT, 1992) e com a literatura especializada. Segundo De Marco (1982, p.99), a diferença entre o tempo de reverberação com a sala cheia e com a sala vazia não deve exceder 0,2s. Para que os cálculos possam ser considerados aceitáveis, o referido autor (1982, p.102) recomenda uma diferença menor que 0,1 s entre os tempos de reverberação ideal e o tempo de reverberação calculado, além de cuidar para não ocorrer exageros na absorção, o que também prejudica a inteligibilidade.

5.4 Discussão a respeito dos valores obtidos

Após realizados todos os cálculos e tratamentos de dados necessários, a etapa final do trabalho consistiu na análise dos valores obtidos e na discussão a respeito das conclusões tiradas do trabalho. Nesta etapa foram discutidas as possíveis intervenções para a melhora de algum dos aspectos acústicos estudados.

5.5 Instrumentos

O medidor de nível de pressão sonora utilizado nas atividades de medição de campo do presente trabalho, foi o Decibelímetro Akrom KR853 *DataLogger* (Figura 6),

que possui classificação “Tipo 2” e certificado de calibração RBC (Anexo C), seguindo os critérios exigidos na NBR 15151 (ABNT, 2000). Os dados obtidos nas leituras foram registrados em um computador, através do *software* do decibelímetro, o *Noise Logger Communication Tool*.

Figura 6 – Decibelímetro utilizado na pesquisa.



Fonte: Foto Silva, L. F. G. (2019).

6 RESULTADOS

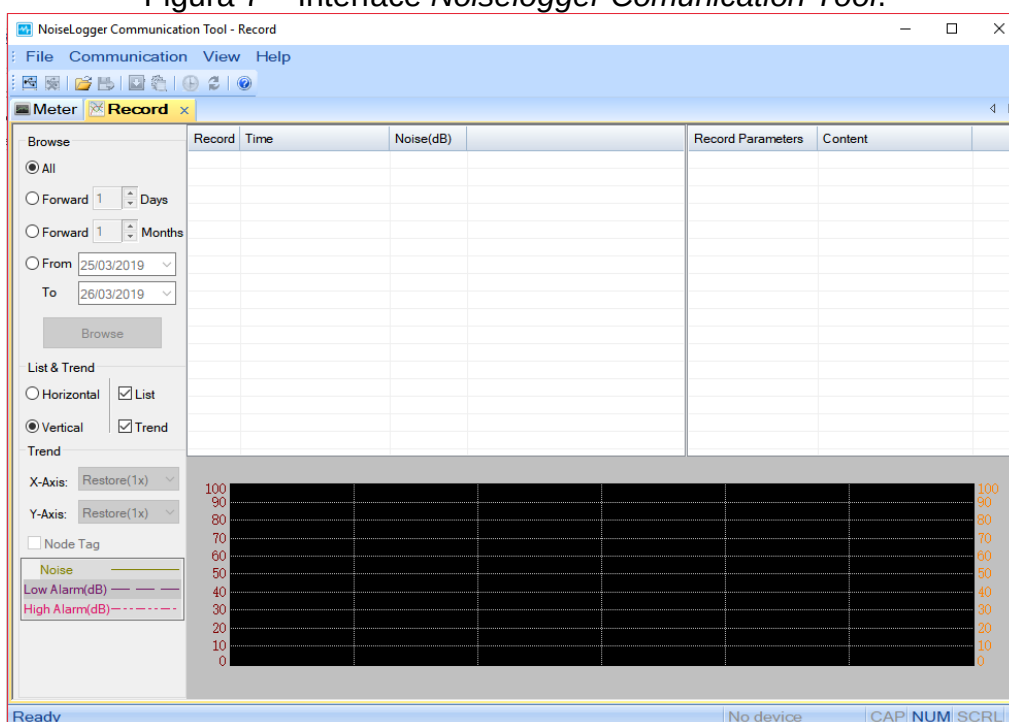
6.1 Isolamento acústico

Os parâmetros utilizados na análise do conforto acústico das salas de aula foram determinados de acordo com as especificações normativas e com base na teoria anteriormente exposta. No que se refere ao isolamento acústico, o parâmetro determinado foi o LAeq. Para a determinação deste parâmetro foram realizadas medições de nível de pressão sonora no interior das salas de aula, com o objetivo de se obter os dados que subsidiariam os cálculos. As medições foram realizadas nos dias 19 e 28 de fevereiro e no dia 1º de março de 2019, e foram feitas com base na NBR 15151 (ABNT, 2000).

No momento das medições, as salas estavam vazias e com os aparelhos de ar condicionado ligados (de forma a simular as condições encontradas no decorrer das aulas). O equipamento de medição de nível de pressão sonora (decibelímetro) foi posicionado nos pontos locados para as medições (Figura 5), a uma altura de 1,60m em relação ao piso, com o auxílio de um tripé.

As medições tiveram duração de 35 (trinta e cinco) a 40 (quarenta) segundos, obtendo-se com estes tempos de 7 (sete) a 8 (oito) leituras para cada medição, leituras estas que foram registradas de 5 (cinco) em 5 (cinco) segundos, conforme solicitado na NBR 15.151 (ABNT, 2000). O equipamento de medição registrou os dados no *Software* de registro dos dados de leitura do decibelímetro, o *Noise Logger Communication Tool* (NOISELOGGER, 2013), ilustrado na Figura 7.

Figura 7 – Interface *Noisellogger Communication Tool*.



Fonte: NoiseLogger (2013).

Os procedimentos de medição, de maneira geral, foram realizados nos finais de tarde e inícios de noite. A escolha destes horários se deu pela necessidade de as salas estarem vazias, de forma que um possível ruído interno não comprometesse o procedimento. A seguir, estão expostas as medições, bem como os valores obtidos em cada uma.

6.1.1 Dados das medições

Foram realizados de sete a oito registros de dados em cada um dos três pontos de medição em cada sala, totalizando 171 dados. Nas Tabelas 7 a 10, a seguir, estão dispostos os valores encontrados para as medições realizadas por bloco. Cada tabela apresenta três colunas principais onde estão indicados os três padrões de salas

existentes em cada bloco, cada sala com o registro (Reg) mínimo de sete a oito medições em cada ponto de medição (pontos 1, 2 e 3, de acordo com Figura 5), com data, horário e nível de ruído medido em dB.

Tabela 7 – Dados de medição do nível de pressão sonora incidente nas salas do Bloco 14, realizadas entre 28 fev. e 1 mar. 2019

	Dados levantados – Sala 08 (Padrão 1)				Dados levantados – Sala 11 (Padrão 2)			Dados levantados – Sala 13 (Padrão 3)		
	Reg	Data	Horário	Ruído (dB)	Data	Horário	Ruído (dB)	Data	Horário	Ruído (dB)
Ponto 1	1	28/02	18:35:22	56,5	01/03	18:39:15	55,9	01/03	18:56:42	56,4
	2	28/02	18:35:27	56,4	01/03	18:39:20	55,3	01/03	18:56:47	57,0
	3	28/02	18:35:32	56,7	01/03	18:39:25	54,7	01/03	18:56:52	56,1
	4	28/02	18:35:37	57,0	01/03	18:39:30	55,1	01/03	18:56:57	56,3
	5	28/02	18:35:42	57,3	01/03	18:39:35	55,1	01/03	18:56:02	56,9
	6	28/02	18:35:47	57,3	01/03	18:39:40	55,0	01/03	18:56:07	57,9
	7	28/02	18:35:52	57,0	01/03	18:39:45	54,7	01/03	18:56:12	58,3
Ponto 2	1	01/03	19:29:50	56,7	01/03	18:43:57	54,5	01/03	18:58:46	57,8
	2	01/03	19:29:55	56,6	01/03	18:44:02	54,7	01/03	18:58:51	58,6
	3	01/03	19:30:00	56,1	01/03	18:44:07	54,7	01/03	18:58:56	57,3
	4	01/03	19:30:05	55,8	01/03	18:44:12	55,0	01/03	18:59:01	56,9
	5	01/03	19:30:10	55,3	01/03	18:44:17	55,1	01/03	18:59:06	57,5
	6	01/03	19:30:15	55,8	01/03	18:44:22	54,6	01/03	18:59:11	56,5
	7	01/03	19:30:20	56,0	01/03	18:44:27	55,2	01/03	18:59:16	57,5
Ponto 3	1	01/03	19:34:47	62,9	01/03	18:46:19	54,9	01/03	19:00:37	56,4
	2	01/03	19:34:52	55,6	01/03	18:46:24	54,3	01/03	19:00:42	55,2
	3	01/03	19:34:57	55,7	01/03	18:46:29	54,9	01/03	19:00:47	55,9
	4	01/03	19:35:02	55,9	01/03	18:46:34	54,9	01/03	19:00:52	56,4
	5	01/03	19:35:07	57,1	01/03	18:46:39	55,1	01/03	19:00:57	54,0
	6	01/03	19:35:12	56,8	01/03	18:46:44	54,6	01/03	19:01:02	53,7
	7	01/03	19:35:17	56,5	01/03	18:46:49	55,4	01/03	19:01:07	53,6

Fonte: Próprio autor.

Tabela 8 – Dados de medição do nível de pressão sonora incidente nas salas do Bloco 15, realizadas entre 19 e 28 fev. 2019

	Dados levantados – Sala 08 (Padrão 1)			Dados levantados – Sala 03 (Padrão 2)			Dados levantados – Sala 05 (Padrão 3)			
	Reg	Data	Horário	Ruído (dB)	Data	Horário	Ruído (dB)	Data	Horário	Ruído (dB)
Ponto 1	1	28/02	18:16:07	52,6	19/02	16:31:20	56,6	28/02	18:04:12	60,4
	2	28/02	18:16:12	52,6	19/02	16:31:25	56,9	28/02	18:04:17	56,0
	3	28/02	18:16:17	52,7	19/02	16:31:30	56,5	28/02	18:04:22	56,0
	4	28/02	18:16:22	52,7	19/02	16:31:35	55,9	28/02	18:04:27	55,2
	5	28/02	18:16:27	53,1	19/02	16:31:40	56,1	28/02	18:04:32	55,7
	6	28/02	18:16:32	52,5	19/02	16:31:45	55,7	28/02	18:04:37	55,2
	7	28/02	18:16:37	52,4	19/02	16:31:45	56,1	28/02	18:04:12	60,4
Ponto 2	1	28/02	18:29:07	56,3	19/02	16:38:37	52,9	28/02	18:07:09	53,1
	2	28/02	18:29:12	55,5	19/02	16:38:42	52,9	28/02	18:07:14	52,7
	3	28/02	18:29:17	55,3	19/02	16:38:47	52,7	28/02	18:07:19	52,9
	4	28/02	18:29:22	55,6	19/02	16:38:52	53,9	28/02	18:07:24	53,3
	5	28/02	18:29:27	55,5	19/02	16:38:57	52,8	28/02	18:07:29	53,2
	6	28/02	18:29:32	55,7	19/02	16:39:02	53,6	28/02	18:07:34	54,2
	7	28/02	18:29:37	56,0	19/02	16:39:07	52,2	28/02	18:07:39	53,0
Ponto 3	1	28/02	18:27:09	56,1	19/02	16:48:56	56,4	28/02	18:09:34	52,6
	2	28/02	18:27:14	54,9	19/02	16:49:01	56,8	28/02	18:09:39	52,6
	3	28/02	18:27:19	55,8	19/02	16:49:06	56,3	28/02	18:09:44	52,7
	4	28/02	18:27:24	55,0	19/02	16:49:11	56,0	28/02	18:09:49	52,7
	5	28/02	18:27:29	55,4	19/02	16:49:16	55,3	28/02	18:09:54	53,1
	6	28/02	18:27:34	55,5	19/02	16:49:21	56,0	28/02	18:09:59	52,5
	7	28/02	18:27:39	55,0	19/02	16:49:26	55,8	28/02	18:10:04	52,4

Fonte: Próprio autor.

Tabela 9 – Dados de medição do nível de pressão sonora incidente nas salas do Bloco 16, realizadas em 28 fev. 2019

	Reg	Dados levantados – Sala 1601 (Padrão 1)			Dados levantados – Sala 1602 (Padrão 2)			Dados levantados – Sala 1605 (Padrão 3)		
		Data	Horário	Ruído (dB)	Data	Horário	Ruído (dB)	Data	Horário	Ruído (dB)
Ponto 1	1	28/02	17:23:47	57,3	28/02	17:28:06	60,4	28/02	17:46:55	58,4
	2	28/02	17:23:52	56,8	28/02	17:28:11	59,9	28/02	17:47:00	58,0
	3	28/02	17:23:57	57,4	28/02	17:28:16	60,9	28/02	17:47:05	58,0
	4	28/02	17:24:02	57,0	28/02	17:28:21	60,1	28/02	17:47:10	57,0
	5	28/02	17:24:07	57,5	28/02	17:28:26	60,4	28/02	17:47:15	57,7
	6	28/02	17:24:12	56,4	28/02	17:28:31	60,7	28/02	17:47:20	57,8
	7	28/02	17:24:17	57,3	28/02	17:28:36	60,1	28/02	17:47:25	57,8
Ponto 2	1	28/02	17:20:36	57,6	28/02	17:30:58	60,9	28/02	17:49:49	58,3
	2	28/02	17:20:41	57,8	28/02	17:31:03	60,9	28/02	17:49:54	56,9
	3	28/02	17:20:46	57,3	28/02	17:31:08	62,1	28/02	17:49:59	58,3
	4	28/02	17:20:51	56,6	28/02	17:31:13	60,4	28/02	17:50:04	57,6
	5	28/02	17:20:56	57,7	28/02	17:31:18	61,8	28/02	17:50:09	57,9
	6	28/02	17:21:01	57,3	28/02	17:31:23	60,5	28/02	17:50:14	57,7
	7	28/02	17:21:06	57,0	28/02	17:31:28	61,6	28/02	17:50:19	57,9
Ponto 3	1	28/02	17:17:34	63,9	28/02	17:33:47	61,4	28/02	17:52:22	58,2
	2	28/02	17:17:39	56,6	28/02	17:33:52	60,7	28/02	17:52:27	57,4
	3	28/02	17:17:44	57,4	28/02	17:33:57	61,0	28/02	17:52:32	58,3
	4	28/02	17:17:49	56,6	28/02	17:34:02	61,4	28/02	17:52:37	58,0
	5	28/02	17:17:54	56,1	28/02	17:34:07	61,4	28/02	17:52:42	57,6
	6	28/02	17:17:59	56,1	28/02	17:34:12	61,3	28/02	17:52:47	56,8
	7	28/02	17:18:04	57,6	28/02	17:34:17	60,9	28/02	17:52:52	66,9
	8							28/02	17:52:57	56,7

Fonte: Próprio autor.

Tabela 10 – Dados de medição do nível de pressão sonora incidente nas salas do Bloco 17, realizadas em 28 fev. 2019.

	Reg	Dados levantados – Sala 1701 (Padrão 1)			Dados levantados – Sala 1703 (Padrão 2)			Dados levantados – Sala 1705 (Padrão 3)		
		Data	Horário	Ruído (dB)	Data	Horário	Ruído (dB)	Data	Horário	Ruído (dB)
Ponto 1	1	28/02	17:07:31	61,4	28/02	16:29:31	56,7	28/02	16:39:41	59,3
	2	28/02	17:07:36	62,0	28/02	16:29:36	57,6	28/02	16:39:46	59,3
	3	28/02	17:07:41	61,6	28/02	16:29:41	57,2	28/02	16:39:51	59,0
	4	28/02	17:07:46	61,5	28/02	16:29:46	57,0	28/02	16:39:56	59,2
	5	28/02	17:07:51	62,9	28/02	16:29:51	57,0	28/02	16:40:01	59,8
	6	28/02	17:07:56	61,2	28/02	16:29:56	56,9	28/02	16:40:06	59,3
	7	28/02	17:08:01	62,0	28/02	16:30:01	57,2	28/02	16:40:11	59,3
Ponto 2	1	28/02	17:04:40	61,2	28/02	16:24:33	61,1	28/02	16:50:01	60,8
	2	28/02	17:04:45	60,9	28/02	16:24:38	57,8	28/02	16:50:06	60,7
	3	28/02	17:04:50	60,5	28/02	16:24:43	57,5	28/02	16:50:11	59,8
	4	28/02	17:04:55	61,4	28/02	16:24:48	55,9	28/02	16:50:16	60,2
	5	28/02	17:05:00	61,2	28/02	16:24:53	57,5	28/02	16:50:21	60,1
	6	28/02	17:05:05	62,1	28/02	16:29:58	57,6	28/02	16:50:26	60,7
	7	28/02	17:05:10	61,9	28/02	16:25:03	57,4	28/02	16:50:31	60,1
Ponto 3	1	28/02	17:01:39	62,2	28/02	16:20:48	58,8	28/02	16:54:19	58,0
	2	28/02	17:01:44	60,6	28/02	16:20:53	57,0	28/02	16:54:24	56,7
	3	28/02	17:01:49	62,1	28/02	16:20:58	57,4	28/02	16:54:29	56,7
	4	28/02	17:01:54	61,4	28/02	16:21:03	58,2	28/02	16:54:34	57,3
	5	28/02	17:01:59	61,5	28/02	16:21:08	56,3	28/02	16:54:39	57,3
	6	28/02	17:02:04	62,7	28/02	16:21:13	56,8	28/02	16:54:44	57,7
	7	28/02	17:02:09	61,5	28/02	16:21:18	56,8	28/02	16:54:49	60,7
	8							28/02	16:54:54	60,4

Fonte: Próprio autor.

6.1.2 Determinação dos LA_{eq}

A partir dos dados obtidos em cada medição, foram determinados os LA_{eq} , por meio da Equação 13. Para cada ponto de medição (três pontos em cada sala) foi calculado um LA_{eq} , totalizando três por sala. Em seguida, o LA_{eq} final de cada sala, que foi utilizado como parâmetro acústico avaliativo, corresponde à média aritmética

dos três LA_{eq} de cada ponto de medição. Os valores obtidos nos cálculos estão expostos nas Tabelas 11 a 14, a seguir:

Tabela 11 – Nível de pressão sonora equivalente ponderado em A (LA_{eq}) para as salas do Bloco 14.

Sala 08 – Padrão 1		Sala 11 – Padrão 2		Sala 13 – Padrão 3	
Ponto de medição	LA_{eq}	Ponto de medição	LA_{eq}	Ponto de medição	LA_{eq}
P1	57,0	P1	55,0	P1	57,0
P2	56,0	P2	55,0	P2	57,0
P3	58,0	P3	55,0	P3	55,0
LA_{eq} – Sala 08	57,0	LA_{eq} – Sala 11	55,0	LA_{eq} – Sala 13	56,3

Fonte: Próprio autor.

Tabela 12 – Nível de pressão sonora equivalente ponderado em A (LA_{eq}) para as salas do Bloco 15.

Sala 08 – Padrão 1		Sala 03 – Padrão 2		Sala 05 – Padrão 3	
Ponto de medição	LA_{eq}	Ponto de medição	LA_{eq}	Ponto de medição	LA_{eq}
P1	60,0	P1	56,0	P1	57,0
P2	56,0	P2	55,0	P2	53,0
P3	55,0	P3	56,0	P3	55,0
LA_{eq} – Sala 08	57,0	LA_{eq} – Sala 03	55,7	LA_{eq} – Sala 05	55,0

Fonte: Próprio autor.

Tabela 13 – Nível de pressão sonora equivalente ponderado em A (LA_{eq}) para as salas do Bloco 16.

Sala 1601 – Padrão 1		Sala 1602 – Padrão 2		Sala 1605 – Padrão 3	
Ponto de medição	LA_{eq}	Ponto de medição	LA_{eq}	Ponto de medição	LA_{eq}
P1	57,0	P1	60,0	P1	58,0
P2	57,0	P2	61,0	P2	58,0
P3	59,0	P3	61,0	P3	61,0
LA_{eq} – Sala 1601	57,7	LA_{eq} – Sala 1602	60,7	LA_{eq} – Sala 1605	59,0

Fonte: Próprio autor.

Tabela 14 – Nível de pressão sonora equivalente ponderado em A (LA_{eq}) para as salas do Bloco 17.

Sala 1701 – Padrão 1		Sala 1703 – Padrão 2		Sala 1705 – Padrão 3	
Ponto de medição	LA_{eq}	Ponto de medição	LA_{eq}	Ponto de medição	LA_{eq}
P1	62,0	P1	57,0	P1	59,0
P2	61,0	P2	58,0	P2	60,0
P3	62,0	P3	57,0	P3	58,0
LA_{eq} – Sala 1701	61,7	LA_{eq} – Sala 1703	57,3	LA_{eq} – Sala 1705	59,0

Fonte: Próprio autor.

6.1.3 Análise dos dados e discussão dos resultados

Ao observar os dados que foram registrados nas medições e expostos da Tabela 7 a 14, é possível identificar certa “semelhança” entre estes, no que diz respeito à intensidade. A maioria das medições apresentam valores que estão compreendidos entre 50 e 60 dB, sem que existam muitos valores com uma discrepância notável para mais ou para menos que extrapole em muito este intervalo. Esta característica dos dados demonstra que a origem dos ruídos nas diferentes salas é a mesma, ou seja, é provável que a fonte dos ruídos mais intensos percebidos no interior das salas seja comum a todas e que independe da sua localização.

De maneira geral, percebeu-se que no Campus Palmas do IFTO as circulações dos novos blocos são locais pouco ruidosos, desconsiderando momentos de intervalos e programações extraordinárias que provoquem ruídos fora da normalidade do Campus. O baixo ruído externo percebido demonstra que a principal origem dos ruídos se estabelecem no interior das salas, como os aparelhos de ar condicionado. Além disso, a “semelhança” entre os valores medidos para as diferentes salas, mesmo salas afastadas umas das outras, reforça a ideia de que a principal origem dos ruídos são os aparelhos de ar condicionado, uma vez que se fosse uma outra fonte externa, as diferenças de localização seriam determinantes.

A NBR 10.152 (ABNT, 1987) determina o intervalo em que os níveis incidentes nas salas de aula devem estar compreendidos. O intervalo nela exposto é de 40 dB a 50 dB. Sendo 40 dB conforto acústico e 50 dB o limite aceitável para as atividades de sala de aula (Tabela 1B, Anexo B).

Como visto nas tabelas anteriores, os LA_{eq} calculados para as salas de aula foram todos, sem exceção, acima do recomendado por norma para atividades letivas, ultrapassando o limite aceitável de 50 dB. O menor valor calculado foi o das salas 11 (Bloco 14) e 05 (Bloco 15), onde foi determinado um LA_{eq} de 55 dB. A gravidade da situação acústica das salas dos blocos novos do IFTO se percebe quando o menor valor encontrado é 5 dB acima do limite aceitável segundo a NBR 10.152 (ABNT, 1987).

O LA_{eq} de maior intensidade foi o calculado segundo as medições feitas na sala 1701 (Bloco 17), com nível de pressão sonora de 61,7 dB, ultrapassando assim em 11,7 dB o limite aceitável determinado por norma.

O cenário fica pior quando se imagina uma sala cheia. Por exemplo, estes 55 dB (menor LA_{eq} encontrado), somados a um possível ruído interno (conversas paralelas), tornaria muito difícil a ministração da aula, comprometendo, além da inteligibilidade da fala, a saúde vocal dos docentes.

Entendendo que a origem dos ruídos mais intensos no interior das salas são os aparelhos de ar condicionados, faz-se necessário pensar em medidas que corrigirão tal problema. Um aparelho de ar condicionado é um comum gerador de ruído, mas nos novos blocos do Campus palmas, o problema é agravado por conta de um fator determinante: as unidades condensadoras dos aparelhos foram depositadas erroneamente na frente das janelas principais das salas (Figura 8).

Esta atitude comprometeu a sua qualidade acústica, uma vez que as esquadrias não têm características que sejam suficientes para o adequado isolamento do ruído gerado pelas condensadoras. Desta forma, o ruído passa pelas janelas sem maior dificuldade, fazendo com que a intensidade sonora no interior dos ambientes seja alta quando os aparelhos de ar condicionado estão ligados. Além da má disposição das unidades condensadoras, os cantos de algumas das esquadrias foram quebrados para passagem da tubulação que liga as unidades interna e externa dos aparelhos. A vibração própria do aparelho pela passagem de gases na tubulação tem contato direto com o vidro, fazendo-o vibrar, o que compromete não só a eficiência acústica do recinto, como a segurança da esquadria. Desta forma, não só a baixa eficiência acústica já existente na região foi agravada, como a segurança da edificação e consequentemente dos seus usuários.

Figura 8 – Unidade condensadora disposta em frente à esquadria e canto de esquadria com vidro cortado para a passagem de tubulação.



Fonte: Fotos Cavalcante, F. A. (2019).

6.2 Condicionamento acústico

Como previsto anteriormente, com relação ao condicionamento acústico, o tempo de reverberação foi o parâmetro utilizado para a análise do conforto acústico das salas quanto à capacidade das mesmas de absorver ondas sonoras.

Para que o tempo de reverberação fosse calculado, fez-se necessário um levantamento das áreas das superfícies que seriam consideradas no cálculo. As áreas de piso, paredes, teto e janelas principais foram determinadas com o auxílio do projeto arquitetônico dos blocos. As áreas dos quadros, as janelas superiores às portas e as portas foram medidas manualmente com o auxílio de uma trena. Carteiras e pessoas foram contadas por unidade (considerando além de alunos, um professor).

Encontradas as áreas das superfícies, foram determinados os coeficientes de absorção sonora de cada uma, de acordo com o material que a constituía. Entendendo que o cálculo do tempo de reverberação é uma simplificação do que ocorre na realidade, os coeficientes são fatores determinantes quando se objetiva realizar cálculos que se aproximem ao máximo da realidade. Partindo deste ponto, o ideal é que as fontes bibliográficas de extração desses coeficientes sejam confiáveis.

Os coeficientes de absorção sonora dos materiais que foram utilizados possuem fontes bibliográficas distintas, mas todas foram retiradas de fontes o mais confiáveis possível, sendo estas expostas no Quadro 1, abaixo:

Quadro 1 – Fontes bibliográficas dos coeficientes de absorção sonora utilizados

Material	Fonte bibliográfica
Ar	De Marco (1982).
Piso em granitina	Banco de dados de características acústicas – FAUUSP (2003).
Alvenaria pintada	Parkin (1980) <i>apud</i> FAUUSP (2003).
Gesso acartonado	Campanella (2011).
Janelas	NBR 12179 (ABNT, 1992)
Reboco de gesso	De Marco (1982).
Madeira compensada	NBR 12179 (ABNT, 1992)
Feltro	NBR 12179 (ABNT, 1992)
Porta de madeira	NBR 12179 (ABNT, 1992)
Mesa	De Marco (1982).
Carteiras de plástico	Paixão, Gaida Viera e Brum (2012).
Pessoas (Sentada)	Prado (1971) <i>apud</i> FAUUSP (2003).

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.2.1 Método de cálculo do tempo de reverberação

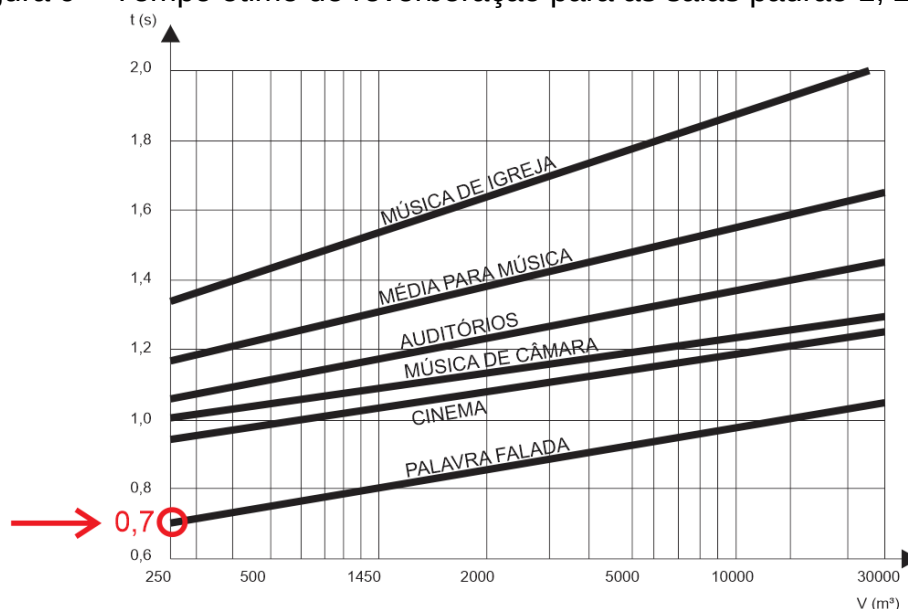
O tempo de reverberação foi calculado por meio da equação de Sabine, encontrada na NBR 12.179 (ABNT, 1992), considerando sala cheia e vazia. As frequências que foram utilizadas para a determinação dos tempos de reverberação foram 125 Hz, 500 Hz e 2000 Hz, conforme exposto anteriormente no capítulo 5.

Os cálculos de tempo de reverberação foram feitos para cada padrão de sala, obtendo-se assim diferentes tempos que variaram de acordo com as características dimensionais das salas. Isso se deve ao fato de o tempo de reverberação depender do volume e das áreas de superfície do ambiente.

6.2.2 Tempo de reverberação ideal

O tempo de reverberação ideal foi determinado a partir do gráfico de De Marco (1982), que liga o volume do ambiente à sua utilização. Correlacionando os volumes das salas de padrão 1, 2 e 3 ($151,263 \text{ m}^3$, $228,95 \text{ m}^3$ e $305,61 \text{ m}^3$, respectivamente), com a utilização das mesmas, que é a voz falada, foi adotado um tempo de reverberação ideal de 0,7s para os três padrões, conforme Figura 9.

Figura 9 – Tempo ótimo de reverberação para as salas padrão 1, 2 e 3.

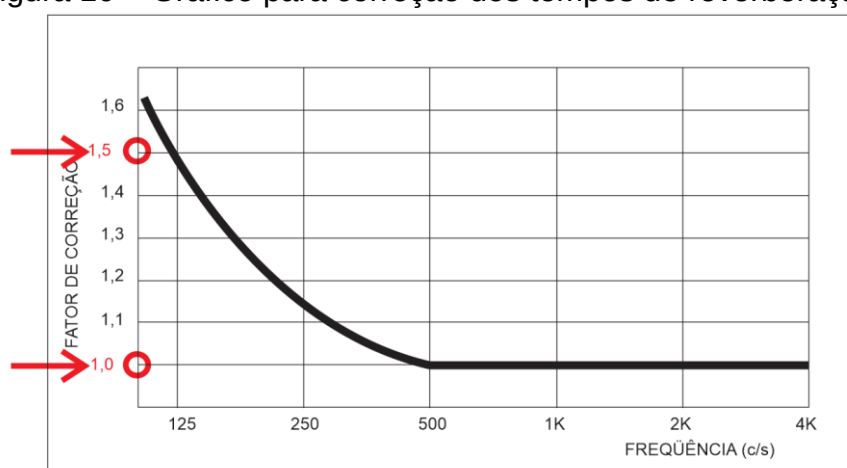


Fonte: De Marco (1982).

O tempo de reverberação ideal foi corrigido para as frequências 125 Hz, 500 Hz e 2000 Hz. Na correção do tempo ótimo de reverberação em função das

frequências que foram estudadas, para os três padrões de sala, utilizou-se o gráfico abaixo (Figura 10), também extraído de De Marco (1982). Obtendo-se então, para a frequência de 125 Hz um fator de correção de 1,5 e para as frequências de 500 Hz e 2000 Hz, fator de correção 1,0.

Figura 10 – Gráfico para correção dos tempos de reverberação.



Fonte: De Marco (1982).

A partir da determinação dos fatores de correção, os tempos corrigidos foram calculados, conforme exposto na Tabela 15, abaixo:

Tabela 15 – Tempo ótimo de 0,7s corrigido para as frequências de estudo.

Tempo ótimo corrigido para cada frequência		
Frequência (Hz)	Fator de correção	Tempo corrigido (s)
125	1,5	1,05
500	1	0,7
2000	1	0,7

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da determinação de todos os parâmetros necessários aos cálculos dos tempos de reverberação, deu-se seguimento estes foram realizados. Para efeito de simplificação dos cálculos de área, foram desconsideradas as lajes internas que se encontram no interior das salas, abaixo das esquadrias. Foram desconsideradas também as vigas que atravessam as salas no sentido perpendicular às esquadrias, por conta destes elementos não aparecerem no mesmo ponto em todas as salas, o que provocaria uma não padronização.

Os cálculos dos tempos de reverberação realizados estão demonstrados nas tabelas a seguir. Nelas estão indicados os materiais considerados nos cálculos, suas

respectivas áreas, volumes e unidades. Em amarelo estão os tempos de reverberação calculados e em cinza as diferenças que devem atender aos máximos recomendados por De Marco (1982).

6.2.3 Cálculos dos tempos de reverberação (T_R)

A Tabela 16 mostra os valores calculados de tempo de reverberação nas salas de aula que representam o padrão 1.

Tabela 16 – Tempos de reverberação salas padrão 1.

Material	Área (m²) ou nº	Frequências (Hz)						Máximos recomendados
		125		500		2000		
		a _i	a _i .S _i	a _i	a _i .S _i	a _i	a _i .S _i	
Ar	151,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	1,51	
Piso em granitina	43,22	0,01	0,43	0,02	0,86	0,02	0,86	
Parede 1 em alvenaria pintada	14,69	0,05	0,73	0,02	0,29	0,05	0,73	
Parede 2 em alvenaria pintada	25,73	0,05	1,29	0,02	0,51	0,05	1,29	
Parede 3 em alvenaria pintada	10,00	0,05	0,50	0,02	0,20	0,05	0,50	
Parede 4 em gesso acartonado	20,93	0,29	6,07	0,05	1,05	0,07	1,46	
Janelas superiores às portas (Parede 1)	4,00	0,00	0,00	0,03	0,12	0,00	0,00	
Janelas principais (Parede 3)	10,58	0,00	0,00	0,03	0,32	0,00	0,00	
Teto (Reboco de gesso)	41,90	0,02	0,84	0,02	0,84	0,04	1,68	
Quadro branco	3,70	0,25	0,92	0,18	0,67	0,10	0,37	
Quadro verde (Feltro)	1,10	0,09	0,10	0,18	0,20	0,55	0,61	
Porta de madeira	1,89	0,14	0,26	0,06	0,11	0,10	0,19	
Mesa	0,72	0,02	0,01	0,02	0,01	0,04	0,03	
Carteiras (Plástico)	21	0,098	2,06	0,216	4,54	0,157	3,30	
Pessoas (Adulto sentado)	21	0,09	1,89	0,19	3,99	0,06	1,26	
Subtotal absorção sala cheia		15,11		13,71		13,78		
T _R calculado com sala cheia		1,61		1,78		1,77		
Subtotal absorção sala vazia		13,22		9,72		12,52		
T _R calculado com sala vazia		1,84		2,51		1,94		
Diferença T _R sala vazia – T _R cheia		0,23		0,73		0,18		Máximo 0,2s
Absorção ideal		23,19		34,79		34,79		
T _R ideal		1,05		0,70		0,70		
Diferença T _R ideal – T _R sala cheia		-0,56		-1,08		-1,07		Máximo 0,1s
Diferença T _R ideal – T _R sala vazia		-0,79		-1,81		-1,24		Máximo 0,1s

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores obtidos para as salas de padrão 2 estão demonstrados na tabela a seguir (Tabela 17):

Tabela 17 – Tempos de reverberação salas padrão 2.

Material	Área (m²) ou nº	Frequências (Hz)						Máximos recomendados
		125		500		2000		
		a _i	a _i .S _i	a _i	a _i .S _i	a _i	a _i .S _i	
Ar	228,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	2,29	
Piso em granitina	65,42	0,01	0,65	0,02	1,31	0,02	1,31	
Parede 1 em alvenaria pintada	23,21	0,05	1,16	0,02	0,29	0,05	0,73	
Parede 2 em gesso acartonado	25,73	0,05	1,29	0,02	0,51	0,05	1,29	
Parede 3 em alvenaria pintada	15,13	0,05	0,76	0,02	0,20	0,05	0,50	
Parede 4 em gesso acartonado	20,93	0,29	6,07	0,05	1,05	0,07	1,46	
Janelas superiores às portas (Parede 1)	6,05	0,00	0,00	0,03	0,18	0,00	0,00	
Janelas principais (Parede 3)	16,02	0,00	0,00	0,03	0,48	0,00	0,00	
Teto (Reboco de gesso)	64,68	0,02	1,29	0,02	1,29	0,04	2,59	
Quadro branco	3,70	0,25	0,92	0,18	0,67	0,10	0,37	
Quadro verde (Feltro)	1,10	0,09	0,10	0,18	0,20	0,55	0,61	
Porta de madeira	1,89	0,14	0,26	0,06	0,11	0,10	0,19	
Mesa	0,72	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	
Carteiras (Plástico)	36	0,098	3,53	0,216	7,78	0,157	5,65	
Pessoas (Adulto sentado)	36	0,17	6,12	0,47	16,92	0,53	19,08	
Subtotal absorção sala cheia		19,28		20,91		19,16		
T _R calculado com sala cheia		1,91		1,76		1,92		
Subtotal absorção sala vazia		16,04		14,07		17,00		
T _R calculado com sala vazia		2,30		2,62		2,17		
Diferença T _R sala vazia – T _R cheia		0,39		0,86		0,24		Máximo 0,2s
Absorção ideal		35,11		52,66		52,66		
T _R ideal		1,05		0,70		0,70		
Diferença T _R ideal – T _R sala cheia		-0,86		-1,06		-1,22		Máximo 0,1s
Diferença T _R ideal – T _R sala vazia		-1,25		-1,92		-1,47		Máximo 0,1s

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 18, estão expressos os valores encontrados para as salas de padrão 3, que correspondem às salas que possuem maiores dimensões e são as menos frequentes nos blocos, sendo um padrão deste para cada bloco.

Tabela 18 – Tempos de reverberação salas padrão 3.

Material	Área (m²) ou nº	Frequências (Hz)						Máximos recomendados
		125		500		2000		
		a _i	a _i .S _i	a _i	a _i .S _i	a _i	a _i .S _i	
Ar	305,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	3,06	
Piso em granitina	87,32	0,01	0,87	0,02	1,75	0,02	1,75	
Parede 1 em alvenaria pintada	31,61	0,05	1,58	0,02	0,29	0,05	0,73	
Parede 2 em alvenaria pintada	25,73	0,05	1,29	0,02	0,51	0,05	1,29	
Parede 3 em alvenaria pintada	20,20	0,05	1,01	0,02	0,20	0,05	0,50	
Parede 4 em gesso acartonado	20,93	0,29	6,07	0,05	1,05	0,07	1,46	
Janelas superiores às portas (Parede 1)	8,08	0,00	0,00	0,03	0,24	0,00	0,00	
Janelas principais (Parede 3)	21,38	0,00	0,00	0,03	0,64	0,00	0,00	
Teto (Reboco de gesso)	87,32	0,02	1,75	0,02	1,75	0,04	3,49	
Quadro branco	3,70	0,25	0,92	0,18	0,67	0,10	0,37	
Quadro verde (Feltro)	1,10	0,09	0,10	0,18	0,20	0,55	0,61	
Porta de madeira	1,89	0,14	0,26	0,06	0,11	0,10	0,19	
Mesa	0,72	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	
Carteiras (Plástico)	46	0,098	4,51	0,216	9,94	0,157	7,22	
Pessoas (Adulto sentado)	46	0,09	4,14	0,19	8,74	0,06	2,76	
Subtotal absorção sala cheia			22,51		26,09		23,44	
T _R calculado com sala cheia			2,19		1,89		2,10	
Subtotal absorção sala vazia			18,37		17,35		20,68	
T _R calculado com sala vazia			2,68		2,84		2,38	
Diferença T _R sala vazia – T _R cheia			0,49		0,95		0,28	Máximo 0,2s
Absorção ideal			46,86		70,29		70,29	
T _R ideal			1,05		0,70		0,70	
Diferença T _R ideal – T _R sala cheia			-1,14		-1,15		-1,28	Máximo 0,1s
Diferença T _R ideal – T _R sala vazia			-1,63		-2,05		-1,53	Máximo 0,1s

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.3 Análise dos dados e discussão dos resultados

A partir dos valores obtidos nos cálculos de tempo de reverberação expostos acima, foi possível identificar que todas as salas estão com tempos de reverberação inadequados às atividades de sala de aula. Os tempos calculados foram todos acima dos tempos ótimos corrigidos. Além disto, outros parâmetros importantes para a

qualidade acústica do ambiente, como a diferença entre o tempo de reverberação entre a sala cheia e a sala vazia, demonstrados nas tabelas, estão distantes do parâmetro ideal. Além disso, os valores negativos também são inadequados ao conforto acústico recomendado.

Para as salas de Padrão 1, pode-se observar que em nenhuma das frequências estudadas o valor dos tempos de reverberação se aproximaram do ideal. Nem para salas cheias, que é a condição mais favorável. A diferença entre o T_R calculado para sala vazia e o calculado para sala cheia deve ser de no máximo 0,2s, para que o ambiente seja equilibrado acusticamente, no entanto, apenas na frequência de 2000 Hz, atendeu este limite foi atendido.

As salas de Padrão 2 são as mais numerosas, portanto, grande parte das aulas que acontecem no Campus são ministradas nas salas deste padrão. Ao observar os valores obtidos nas tabelas, pode-se perceber que, assim como as salas de Padrão 1, as salas de Padrão 2 possuem tempos de reverberação inadequados, bem como os demais parâmetros demonstrados na tabela, apresentando os piores valores para as frequências médias e altas.

Para as salas de Padrão 3 não foi diferente. Por possuírem a maior dimensão dos três modelos de salas, estas tendem a ter um maior tempo de reverberação quando a sala está vazia. Os tempos de reverberação calculados para salas vazias e cheias, neste padrão de sala, se distanciaram dos tempos ideais para cada frequência em mais que o dobro. Assim como nas demais salas, nenhum dos demais parâmetros ficou perto do que se considera ideal.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 Propostas de intervenção

7.1.1 Isolamento acústico

O objetivo deste estudo não é propor uma intervenção complexa para o isolamento acústico, mas propor medidas mínimas, mesmo que mais simples, que podem ser tomadas para que o problema evidenciado seja minimizado ou mesmo solucionado.

No projeto estrutural dos blocos foi prevista uma laje abaixo das esquadrias, possivelmente para que as condensadoras dos aparelhos de ar condicionados fossem colocadas. As lajes foram executadas, mas não foram utilizadas (Figura 11).

Figura 11 – Lajes abaixo das esquadrias (Bloco 16).



Fonte: Foto Cavalcante, F. A. (2019).

Partindo deste conhecimento, a medida mais simples para tentar sanar este problema acústico seria reinstalar as condensadoras no local apropriado. As esquadrias em um ambiente são zonas consideradas “frágeis” no sentido de isolamento acústico. Partindo deste pressuposto, não faz sentido instalar geradores de ruídos nestas zonas. A retirada das condensadoras destas regiões, acomodando-as nestas lajes abaixo das esquadrias, certamente reduziria o problema. Nas salas do térreo, as condensadoras deverão ser colocadas no piso externo (Figura 12).

Figura 12 – Locais apropriados para a instalação das condensadoras (Bloco 15).



Fonte: Foto Cavalcante, F. A. (2019).

7.1.2 Condicionamento Acústico

É compreensível a dificuldade de se obter, para os ambientes, uma perfeita adequação acústica a todas as frequências, ainda mais quando se utiliza de métodos empíricos para tal. No entanto, não é compreensível o planejamento sem uma análise prévia que considere o conforto acústico dos ambientes, trazendo consequências danosas à sua funcionalidade, como foi verificado nos cálculos do tempo de reverberação tão distantes do ideal recomendado. Infelizmente, tal realidade não é exclusividade de obras públicas, mas também no setor privado.

Analisando os resultados obtidos para o condicionamento acústico das salas e entendendo a necessidade de se melhorar os parâmetros que irão garantir uma melhor qualidade acústica para os ambientes, é aqui exposta uma proposta de intervenção. A proposta certamente não é a única solução acústica possível para o ambiente, mas traz uma possibilidade, por meio da simulação da inserção de outros materiais de revestimento, de que é possível se aproximar em muito daquilo que se considera ideal para acústica em ambientes cujas atividades exercidas dependem da voz falada, neste caso, as salas de aula.

Para que a confiabilidade dos cálculos fosse mantida, os coeficientes dos materiais serem utilizados na proposta de intervenção tinham que manter a mesma

origem em fontes confiáveis. Os materiais utilizados e as fontes dos coeficientes estão expostos no Quadro 2, abaixo:

Quadro 2 – Referências bibliográficas dos coeficientes dos materiais utilizados na proposta de intervenção.

Material	Fonte bibliográfica
Placa acústica Sonex iltec Plano	OWA Sonex Brasil (2019)
Forro Eucatex	Banco de dados FAUUSP(2003)

Fonte: Elaborado pelo autor.

A proposta de intervenção consiste em sua maior parte na inserção de placas acústicas (Figura 13) nas paredes das salas, com o objetivo de aumentar a absorção das mesmas, diminuindo consequentemente a reflexão e por consequência o tempo de reverberação.

Figura 13 – Placa acústica Sonex Illtec Plano



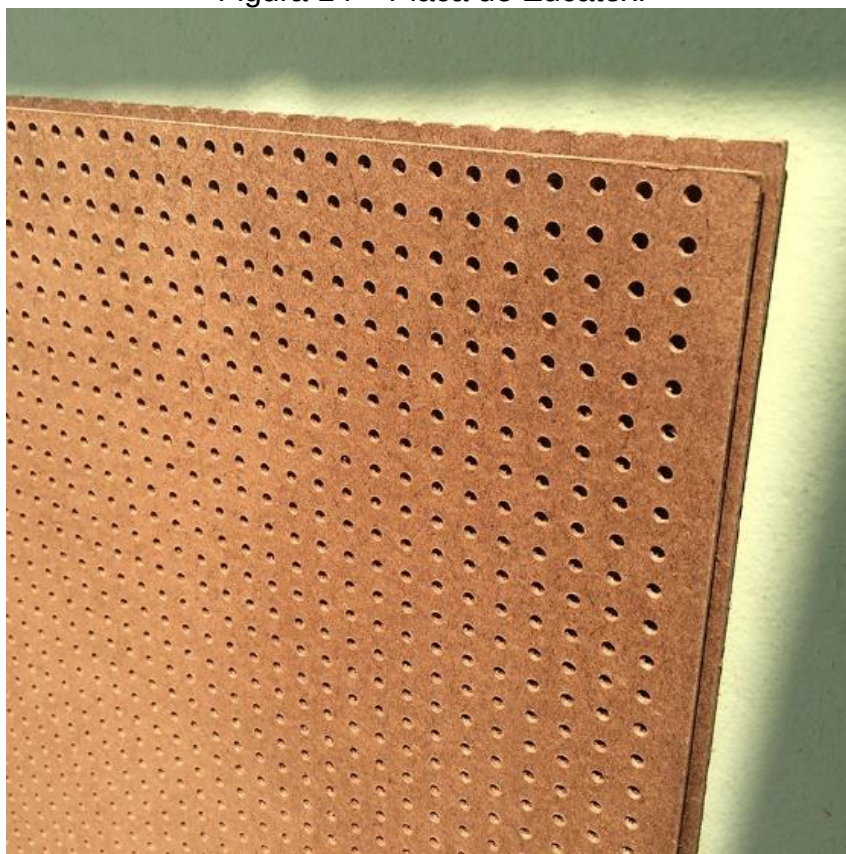
Fonte: OWA Sonex Brasil (2019).

As placas acústicas constituem-se como uns dos materiais mais usuais quando se objetiva a correção acústica em ambientes, principalmente por conta da praticidade e facilidade de instalação em diversos tipos de superfícies. A escolha das mesmas nesta proposta se deu pelas suas características de absorção sonora, sendo de grande eficiência nas frequências médias e altas, que foram as mais problemáticas

no estudo. As placas sugeridas são confeccionadas com estrutura micro celular, de densidade 11 kg/m^3 , espessura variável entre 20 e 50mm (conforme especificado na proposta), semirrígida, alta resistência ao fogo, atendendo também a requisitos de segurança.

Além das placas acústicas, foi sugerido um forro Eucatex (Figura 14), com 12,7mm de espessura, para ser instalado sobre o teto, com um espaçamento em relação a laje de aproximadamente 10 cm, exceto nas vigas, onde o Eucatex deverá estar diretamente em contato.

Figura 14 – Placa de Eucatex.



Fonte: Colnaghi Skill Madeiras (2017).

Nas Tabelas 19 a 21, a seguir, estão os cálculos realizados para a proposta. De maneira análoga à representação anterior, os tempos de reverberação calculados estão em amarelo e em cinza as diferenças que devem atender aos máximos recomendados por De Marco (1982). As inserções de materiais sugeridas na proposta estão em verde.

Tabela 19 – Proposta de intervenção para salas padrão 1.

Material	Área (m²) ou nº	Frequências (Hz)						Máximos recomendados
		125		500		2000		
		a _i	a _i .S _i	a _i	a _i .S _i	a _i	a _i .S _i	
Ar	151,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	1,51	
Piso em granitina	43,22	0,01	0,43	0,02	0,86	0,02	0,86	
Parede 1 em alvenaria pintada	14,69	0,05	0,73	0,02	0,29	0,05	0,73	
Parede 2 em alvenaria pintada	6,75	0,05	0,34	0,02	0,13	0,05	0,34	
Parede 2 com placa acústica Sonex illtec Plano (25mm)	18,98	0,04	0,76	0,49	9,30	0,83	15,75	
Parede 3 em alvenaria pintada	6,48	0,05	0,32	0,02	0,13	0,05	0,32	
Parede 3 com placa acústica Sonex illtec Plano (25mm)	3,52	0,04	0,141	0,49	1,72	0,83	2,92	
Parede 4 em gesso acartonado	20,93	0,29	6,07	0,05	1,05	0,07	1,46	
Janelas superiores às portas (Parede 1)	4,00	0,00	0,00	0,03	0,12	0,00	0,00	
Janelas principais (Parede 3)	10,58	0,00	0,00	0,03	0,32	0,00	0,00	
Teto (Reboco de gesso)	3,42	0,02	0,07	0,02	0,07	0,04	0,14	
Forro Eucatex (12,7 mm)	38,48	0,3	11,54	0,25	9,62	0,18	6,93	
Quadro branco	3,70	0,25	0,92	0,18	0,67	0,1	0,37	
Quadro verde (Feltro)	1,10	0,09	0,10	0,18	0,20	0,55	0,61	
Porta de madeira	1,89	0,14	0,26	0,06	0,11	0,1	0,19	
Mesa	0,72	0,02	0,01	0,02	0,01	0,04	0,03	
Carteiras (Plástico)	21	0,098	2,06	0,216	4,54	0,157	3,30	
Pessoas (Adulto sentado)	21	0,09	1,89	0,19	3,99	0,06	1,26	
Subtotal absorção sala cheia			25,66		33,13		36,72	
T _R calculado com sala cheia			0,95		0,73		0,66	
Subtotal absorção sala vazia			23,77		29,14		35,46	
T _R calculado com sala vazia			1,02		0,84		0,69	
Diferença T _R sala vazia – T _R cheia			0,08		0,10		0,02	Máximo 0,2s
Absorção ideal			23,19		34,79		34,79	
T _R ideal			1,05		0,70		0,70	
Diferença T _R ideal – T _R sala cheia			0,10		–0,03		0,04	Máximo 0,1s
Diferença T _R ideal – T _R sala vazia			0,03		–0,14		0,01	Máximo 0,1s

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 20 – Proposta de intervenção para salas padrão 2.

Material	Área (m²) ou nº	Frequências (Hz)						Máximos recomendados
		125		500		2000		
		a _i	a _i .S _i	a _i	a _i .S _i	a _i	a _i .S _i	
Ar	228,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	2,29	
Piso em granitina	65,42	0,01	0,65	0,02	1,31	0,02	1,31	
Parede 1 em alvenaria pintada	10,32	0,05	0,52	0,02	0,21	0,05	0,52	
Parede 1 com placa acústica Sonex illtec Plano (25mm)	12,89	0,04	0,52	0,49	6,32	0,83	10,70	
Parede 2 em gesso acartonado	6,75	0,29	1,96	0,05	0,34	0,07	0,47	
Parede 2 com placa acústica Sonex illtec Plano (25mm)	18,98	0,04	0,76	0,49	9,30	0,83	15,75	
Parede 3 em alvenaria pintada	15,13	0,05	0,76	0,02	0,30	0,05	0,76	
Parede 4 em gesso acartonado	20,93	0,29	6,07	0,05	1,05	0,07	1,46	
Janelas superiores às portas (Parede 1)	6,05	0,00	0,00	0,03	0,18	0,00	0,00	
Janelas principais (Parede 3)	16,02	0,00	0,00	0,03	0,48	0,00	0,00	
Teto (Reboco de gesso)	8,19	0,02	0,16	0,02	0,16	0,04	0,33	
Forro Eucatex (12,7 mm)	63,84	0,30	19,15	0,25	15,96	0,18	11,49	
Quadro branco	3,70	0,25	0,92	0,18	0,67	0,10	0,37	
Quadro verde (Feltro)	1,10	0,09	0,10	0,18	0,20	0,55	0,61	
Porta de madeira	1,89	0,14	0,26	0,06	0,11	0,10	0,19	
Mesa	0,72	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	
Carteiras (Plástico)	36	0,098	3,53	0,216	7,78	0,157	5,65	
Pessoas (Adulto sentado)	36	0,09	3,24	0,19	6,84	0,06	2,16	
Subtotal absorção sala cheia			38,60		51,20		54,07	
T _R calculado com sala cheia			0,95		0,72		0,68	
Subtotal absorção sala vazia			35,36		44,36		51,91	
T _R calculado com sala vazia			1,04		0,83		0,71	
Diferença T _R sala vazia – T _R cheia			0,09		0,11		0,03	Máximo 0,2s
Absorção ideal			35,11		52,66		52,66	
T _R ideal			1,05		0,70		0,70	
Diferença T _R ideal – T _R sala cheia			0,10		–0,02		0,02	Máximo 0,1s
Diferença T _R ideal – T _R sala vazia			0,01		–0,13		–0,01	Máximo 0,1s

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 21 – Proposta de intervenção para salas padrão 3.

Tabela 21 – Proposta de intervenções para salas padrão C.								
Material	Área (m²) ou nº	Frequências (Hz)						Máximos recomendados
		125		500		2000		
		a _i	a _i .S _i	a _i	a _i .S _i	a _i	a _i .S _i	
Ar	305,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	3,06	
Piso em granitina	87,32	0,01	0,87	0,02	1,75	0,02	1,75	
Parede 1 em alvenaria pintada	12,86	0,05	0,64	0,02	0,26	0,05	0,64	
Parede 1 com placa acústica Sonex illtec Plano (50mm)	18,75	0,19	3,56	0,99	18,56	0,99	18,56	
Parede 2 em alvenaria pintada	6,75	0,05	0,34	0,02	0,13	0,05	0,34	
Parede 2 com placa acústica Sonex illtec Plano (25mm)	18,98	0,04	0,76	0,49	9,30	0,83	15,75	
Parede 3 em alvenaria pintada	9,65	0,05	0,48	0,02	0,19	0,05	0,48	
Parede 3 com placa acústica Sonex illtec Plano (25mm)	10,54	0,06	0,63	0,49	5,17	0,86	9,07	
Parede 4 em gesso acartonado	20,93	0,29	6,07	0,05	1,05	0,07	1,46	
Janelas superiores às portas (Parede 1)	8,08	0,00	0,00	0,03	0,24	0,00	0,00	
Janelas principais (Parede 3)	21,38	0,00	0,00	0,03	0,64	0,00	0,00	
Forro Eucatex (12,7 mm)	91,88	0,30	27,56	0,25	22,97	0,18	16,54	
Quadro branco	3,70	0,25	0,92	0,18	0,67	0,10	0,37	
Quadro verde (Feltro)	1,10	0,09	0,10	0,18	0,20	0,55	0,61	
Porta de madeira	1,89	0,14	0,26	0,06	0,11	0,10	0,19	
Mesa	0,72	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	
Carteiras (Plástico)	46	0,098	4,51	0,216	9,94	0,157	7,22	
Pessoas (Adulto sentado)	46	0,09	4,14	0,19	8,74	0,06	2,76	
Subtotal absorção sala cheia			50,86		79,92		78,81	
T _R calculado com sala cheia			0,97		0,62		0,62	
Subtotal absorção sala vazia			46,72		71,18		76,05	
T _R calculado com sala vazia			1,05		0,69		0,65	
Diferença T _R sala vazia – T _R cheia			0,09		0,08		0,02	Máximo 0,2s
Absorção ideal			46,86		70,29		70,29	
T _R ideal			1,05		0,70		0,70	
Diferença T _R ideal – T _R sala cheia			0,08		0,08		0,08	Máximo 0,1s
Diferença T _R ideal – T _R sala vazia			0,00		0,01		0,05	Máximo 0,1s

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir dos cálculos apresentados nas tabelas anteriores, foi possível identificar uma mudança radical de cenário. É notória a diferença causada pela intervenção no ambiente, uma vez que a maioria dos parâmetros se encontram dentro daquilo que é considerado o ideal.

Figura 15 – Planta baixa e planta do forro – Salas padrão 1.



Technical drawing of the elevation of Wall 02 (Elevação Parede 02). The wall is 3.50m high and 10.10m wide. It features a blue tiled section (Forro Eucatex) and a purple tiled section at the base. The blue section is divided into 10 vertical panels, each 62.5cm wide, with a total width of 6.25m. The purple section is 1.88m high and 10.10m wide. The drawing includes a scale bar from 0 to 3m and a north arrow.

77

Technical drawing of the elevation of Wall 03 (Elevação Parede 03). The drawing shows a rectangular wall with a grid of 10 columns and 2 rows of windows. The total width is 5.62m and the total height is 3.50m. The wall is constructed with Forro Eucatex (Eucatex Ceiling) and has a base of 62.5cm. The drawing includes a scale bar from 0 to 3m and a north arrow.

Quantitativo Placas acústicas		
	Placa acústica 1,25 m x 0,625 m/ 25 mm de espessura - Parede 2.	22 Placas (2 cortadas)
	Placa acústica 0,625 m x 0,625 m/ 25 mm de espessura - Parede 3.	9 Placas
	Placa acústica 1,25 m x 0,312 m/ 25 mm de espessura - Parede 2.	6 Placas (1 cortada)
	Forro Eucatex	A = 38,48 m ²

78

um valor mais alto ($-0,13$ s). Ainda assim, se levada em consideração a dificuldade de adequação do ambiente para todas frequências, com os dados de coeficientes de materiais disponíveis, os resultados se tornam bem satisfatórios, uma vez que $0,03$ s, na prática, não se configura como uma diferença claramente perceptível.

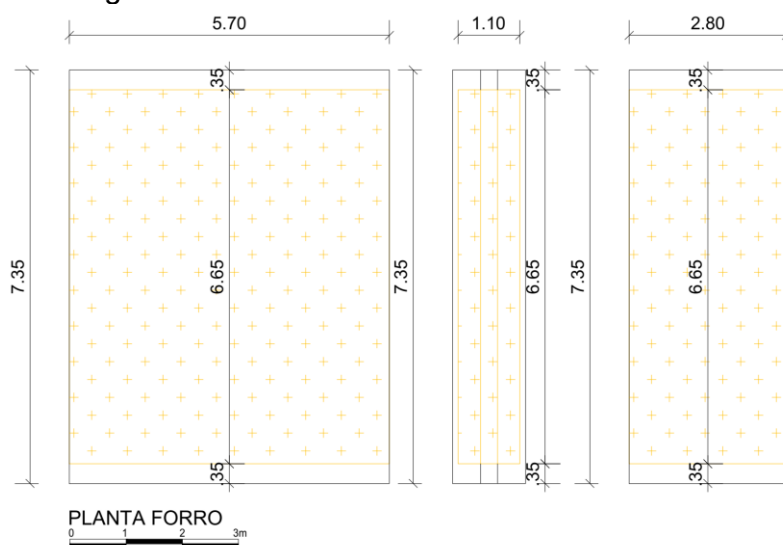
As figuras 19 a 23, a seguir, consistem na representação gráfica da proposta de intervenção para as salas de Padrão 2:

Figura 19 – Planta baixa – Salas Padrão 2.



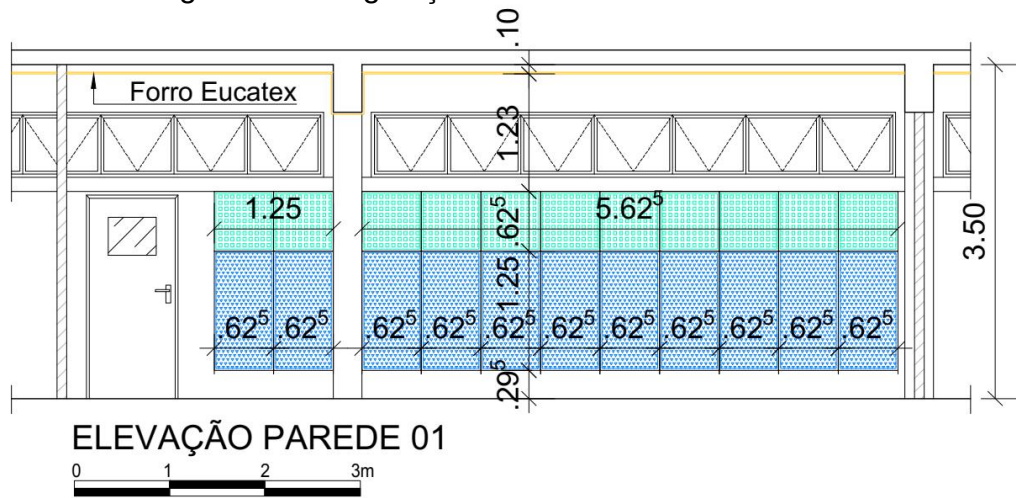
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 20 – Planta de Forro – Salas Padrão 2.



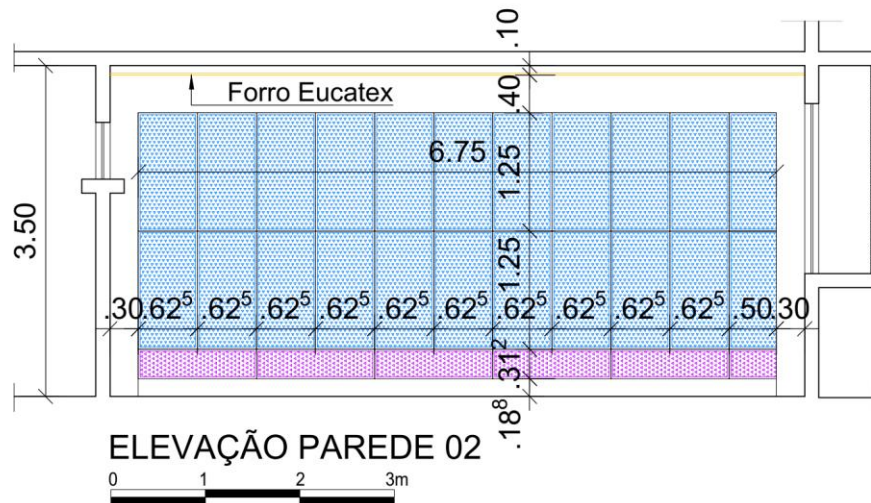
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 21 – Paginação Parede 1 – Salas Padrão 2.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 22 – Paginação Parede 2 – Salas Padrão 2.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 23 – Quantitativo dos materiais da proposta de intervenção – Salas Padrão 2.

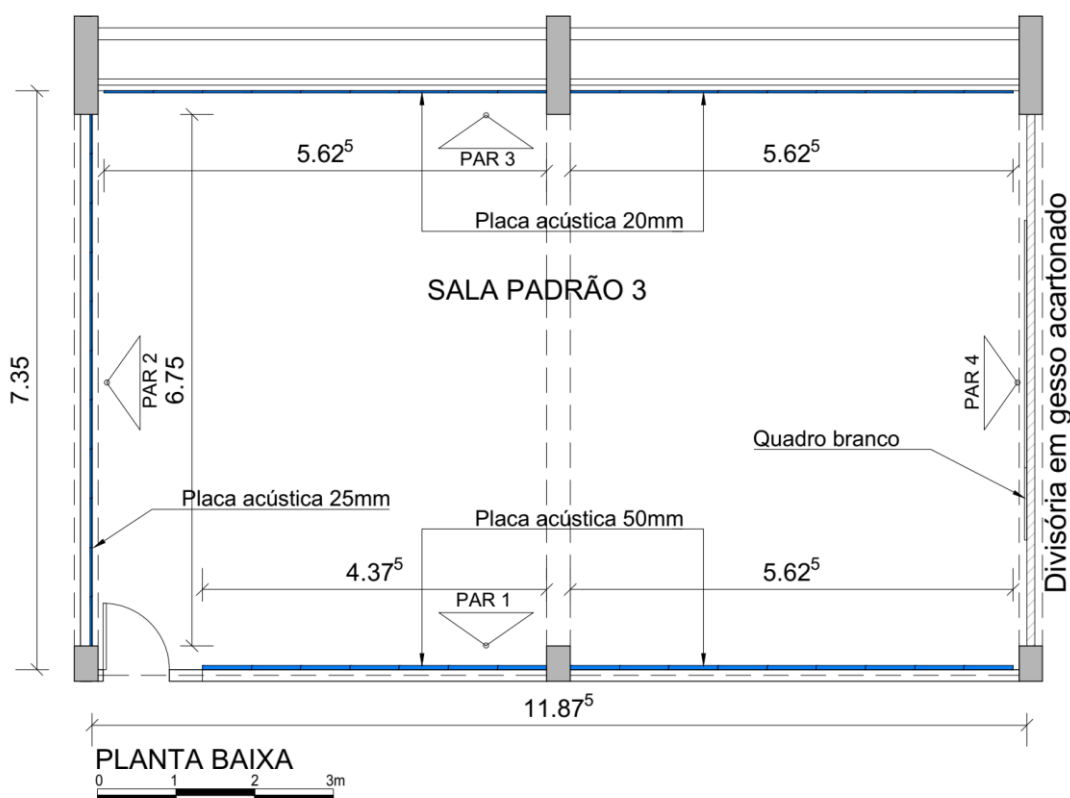
Quantitativo Placas acústicas		
	Placa acústica 1,25 m x 0,625 m/ 25 mm de espessura - Parede 1.	11 Placas
	Placa acústica 1,25 m x 0,625 m/ 25 mm de espessura - Parede 2.	22 Placas (2 cortadas)
	Placa acústica 0,625 m x 0,625 m/ 25 mm de espessura - Parede 1.	11 Placas
	Placa acústica 1,25 m x 0,312 m/ 25 mm de espessura - Parede 2.	6 Placas (1 cortada)
	Forro Eucatex	A = 63,84 m²

Fonte: Elaborado pelo autor.

As salas de Padrão 3 são as maiores, consequentemente as que apresentam maior dificuldade de adequação. Para este padrão, foi sugerida a aplicação de 18,75 m² de placa acústica com 50 mm de espessura na **Parede 1**, 18,98 m² de placa acústica de 25 mm de espessura na **Parede 2** e 10,54 m² de placa acústica com espessura de 25 mm na **Parede 3**. Nesta simulação, assim como nas outras, o forro Eucatex de 12,7 mm de espessura foi sugerido, ocupando uma área de 91,88 m². Este forro teve importância principalmente para as frequências baixas, uma vez que para este padrão de sala, a frequência de 125 Hz foi o maior gargalo. O resultado obtido, assim como nas outras simulações, foi muito satisfatório, uma vez que não houve um transpasse em relação ao máximo de 0,2s para a diferença entre os T_R's das salas vazias e os T_R's das salas cheias e os valores apresentados atenderam a todos os parâmetros qualitativos indicados na tabela. A salas de Padrão 3, podem ser consideradas como as que a proposta de intervenção melhor funcionou.

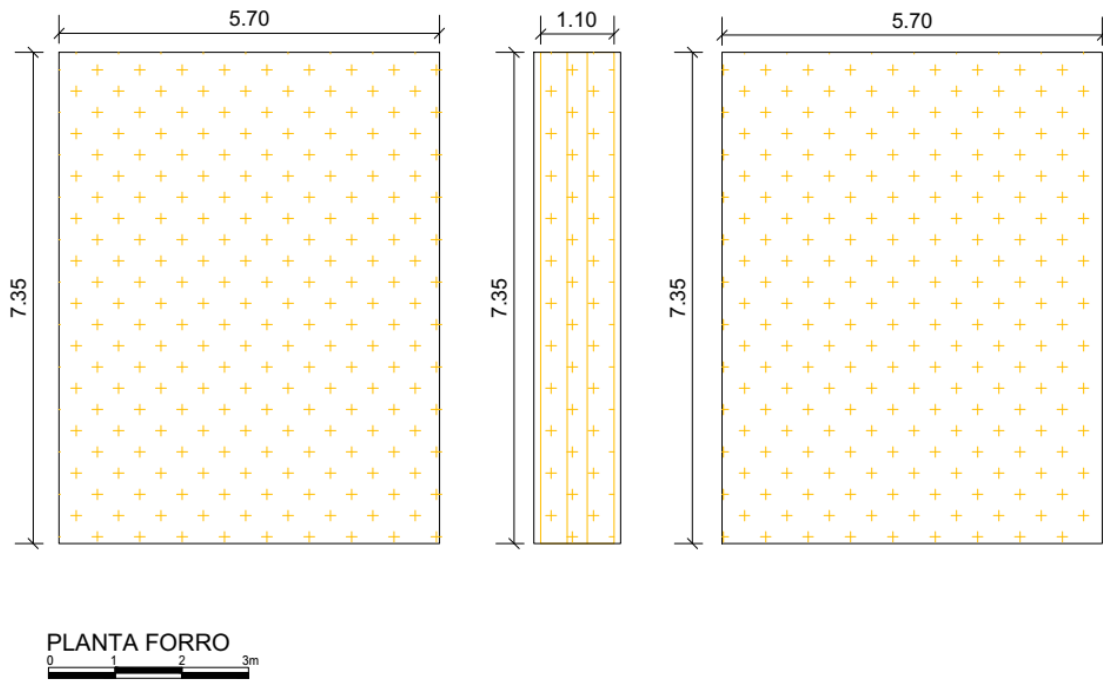
Por conta da dificuldade de se atingir os valores desejados, as espessuras das placas acústicas tiveram que ser diferentes (incluída a placa com 50 mm de espessura). A disposição das placas está exposta nas Figuras 24 a 29, a seguir:

Figura 24 – Planta baixa – Salas Padrão 3.



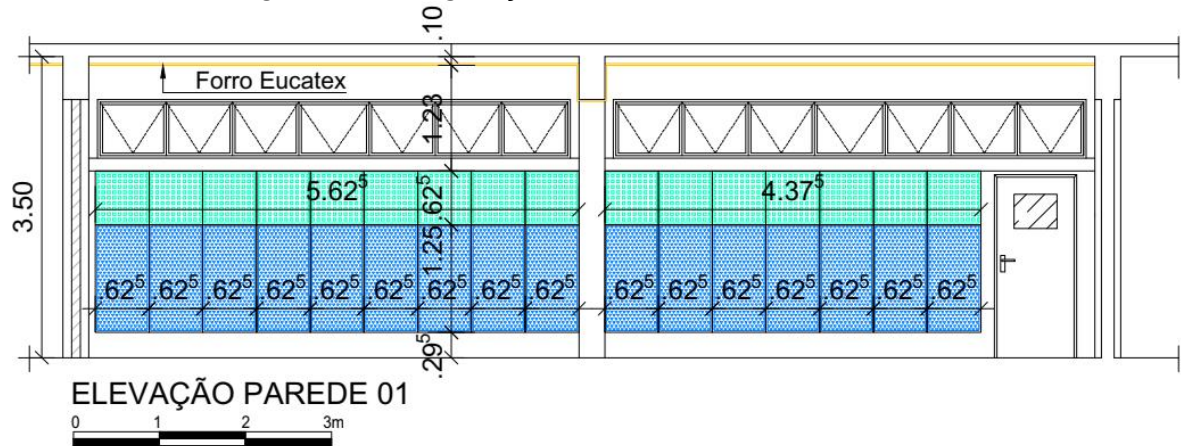
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 25 – Planta de Forro – Salas Padrão 3.



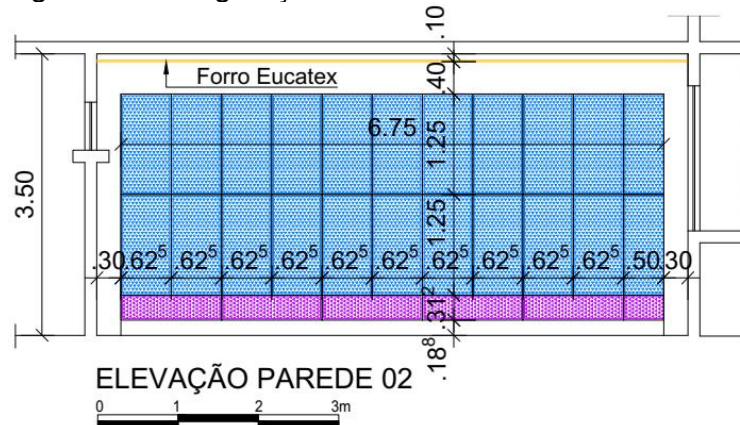
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 26 – Paginação Parede 1 – Salas Padrão 3.



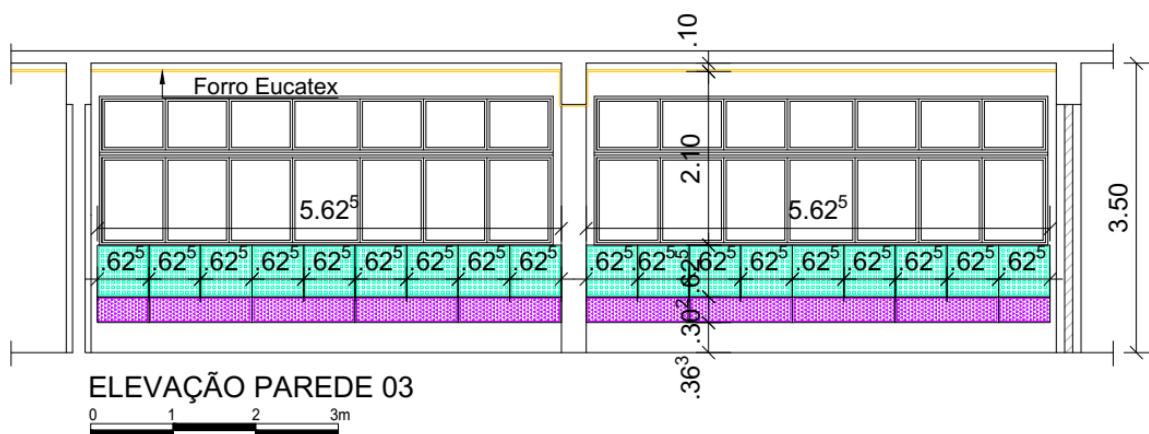
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 27 – Paginação Parede 2 – Salas Padrão 3.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 28 – Paginação Parede 3 – Salas Padrão 3.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 29 – Quantitativo de materiais da proposta de intervenção – Salas Padrão 3.

Quantitativo Placas acústicas		
  	Placa acústica 1,25 m x 0,625 m/ 50 mm de espessura - Parede 1.	16 Placas
	Placa acústica 1,25 m x 0,625 m/ 25 mm de espessura - Parede 2.	22 Placas (2 cortadas)
	Placa acústica 1,25 m x 0,312 m/ 25 mm de espessura parede 2.	6 Placas (1 cortada)
	Placa acústica 1,25 m x 0,312 m/ 25 mm de espessura Parede 3.	9 Placas (1 cortada ao meio)
 	Placa acústica 0,625 m x 0,625 m/ 50 mm de espessura - Parede 1.	16 Placas
	Placa acústica 0,625 m x 0,625 m/ 25 mm de espessura - Parede 3.	18 Placas
	Forro Eucatex	A = 91,88 m²

Fonte: Elaborado pelo autor.

7.1.2.1 Orientações Gerais

Instalação das Placas Acústicas Sonex Illtec Plano:

As placas acústicas “cortadas” consistem em placas com dimensões convencionais adaptadas às dimensões necessárias e especificadas nas paginações.

Materiais Necessários:

- Placas acústicas Sonex Illtec Plano 1,25 m x 0,625 m;

- Placas acústicas Sonex Ilitec Plano 0,625 m x 0,625m;
- Placas acústicas Sonex Ilitec Plano 1,25 m x 0,312 m;
- Adesivo PA-02 (base de solvente) ou PA-04 (base d'água);
- Aplicador de adesivo;
- Giz de linha ou nível à laser;

Procedimento:

- Garantir a limpeza da superfície;
- Demarcar o alinhamento das placas na parede, com base no detalhamento apresentado;
- Realizar todos os recortes necessários (dimensões de extremidade de parede, tomadas, interruptores etc.);
- Com o aplicador, passar o adesivo nas placas formando margens nas bordas e um "X" no centro;
- Aplicar a placa na parede pressionando-a por alguns segundos, de forma a garantir uma melhor ancoragem da mesma. Repetir o procedimento fileira por fileira.

Instalação Forro Eucatex

As dimensões de placas de forro que serão utilizadas não têm grande relevância, desde que as áreas solicitadas sejam atendidas.

Procedimento:

- A instalação das placas de forro será realizada em montantes (perfis de aço galvanizado ou alumínio), estando estes fixados nas paredes por meio de parafusos com bucha, pinos de aço ou pregos de aço. Nas lajes a fixação será por meio de parabolts, cujos comprimentos não deverão exceder o cobrimento nominal da laje;
- A distância do forro em relação à laje deve ser de 10 cm, conforme especificado anteriormente.

7.2 Conclusão

A acústica das edificações é um assunto relevante, mas que recebe pouca atenção no cenário nacional e que pode ser um grave problema quando negligenciado. Conforme Silva (2012) as características acústicas dos ambientes não são levadas em consideração na prática projetual, devido a alguns dos materiais que são utilizados no isolamento acústico possuírem um alto custo. Desta forma, visando a redução de custos, o profissional de projeto simplesmente negligencia a acústica, salvo em casos em que a aplicação do ambiente obriga uma adequação acústica (salas de espetáculos, cinemas, estúdios etc.). O trabalho feito expôs esta realidade e fez perceber que o pensamento tardio em acústica pode ser bastante oneroso, uma vez que as soluções se tornam mais complicadas e caras depois que o empreendimento já foi construído.

Por meio do método de levantamento de dados de ruído, foi possível perceber que a falta de planejamento adequado, somada a tomadas de decisão improvisadas no momento da execução de uma obra, podem comprometer acusticamente um ambiente. O mal posicionamento das condensadoras de ar condicionado, fez com que todo o ruído dos mesmos entrasse no ambiente de maneira facilitada, comprometendo a acústica local. Desta forma, o ruído que inicialmente era para ser medido (pessoas nos corredores, automóveis nos estacionamento, salas vizinhas em aula, etc.) foi totalmente mascarado. Em função disso, o estudo tomou um caminho diferente do inicialmente traçado, por perceber-se que a principal geração de ruídos nos novos blocos do Campus, são os aparelhos de ar condicionado mal posicionados.

Ainda com relação ao estudo de isolamento acústico, mais especificamente sobre as dificuldades encontradas, estas estão nas medições. Medir o ruído interno de um ambiente se torna difícil quando neste existe um constante fluxo de entrada e saída de pessoas (como é o caso das salas de aula). Uma pessoa desavisada pode simplesmente por a perder uma medição, gerando um ruído de impacto ou mesmo um ruído interno que comprometa os dados de medição. Restringir a entrada de alunos em salas de aula, em dias letivos é uma tarefa difícil e foi um gargalo para o procedimento, limitando os horários em que as medições poderiam ser realizadas.

Com relação ao estudo de condicionamento acústico, este possibilitou identificar, por meio do método exposto na NBR 12.179 (ABNT, 1992), a inadequação dos novos blocos do Campus. Fazendo com que as deficiências de absorção sonora

das salas fossem detectadas. Permitiu também que fosse pensada uma solução para os tempos de reverberação nas frequências relacionadas à fala.

Novamente, ficou claro nas demonstrações de cálculo da proposta de intervenção que intervir em acústica depois que o empreendimento foi construído é tarefa complexa. As limitações locais complicaram o emprego de diversos materiais, restringindo as soluções a métodos mais caros, como foi o caso das placas acústicas.

Com base em um levantamento dos preços unitários dos materiais sugeridos na proposta², seguindo como referência os quadros de quantitativo apresentados anteriormente, o valor estimado por bloco para a intervenção foi de aproximadamente 130 mil reais, sendo para os quatro blocos aproximadamente 520 mil reais. Este valor leva em consideração apenas os materiais, ou seja, se fosse feito um orçamento completo da proposta, este valor aumentaria consideravelmente.

Métodos de adequação acústica mais baratos podem ser utilizados, como por exemplo a instalação de cortinas grossas nas janelas principais ou a troca das cadeiras de plástico por carteiras estofadas, porém, a melhoria no desempenho seria inferior. Para exemplificar a diferença entre os custos, realizar a troca de todas as carteiras, para os quatro blocos, geraria um custo aproximado de 180 mil reais³, ou seja, custaria aproximadamente 35% do valor da proposta de intervenção com placas acústicas e forro Eucatex.

Intervir na acústica de um ambiente depois que este foi construído, como dito anteriormente, é uma tarefa complicada, desta forma, se na concepção do projeto das salas de aula fossem previstas divisórias preenchidas com lã de vidro e um forro com gesso poroso de fibra mineral, o desempenho acústico das salas seria muito melhor, de forma que se fosse necessária alguma intervenção, seria mínima.

O método de cálculo do tempo de reverberação utilizado é simples, aparentemente, porém, encontrar os coeficientes de absorção sonora dos materiais desejados, bem como de fontes confiáveis, é algo extremamente difícil. Este problema, juntamente com a limitação de materiais disponíveis para utilizar nas simulações foi uma dificuldade encontrada no estudo.

Apesar dos percalços, é possível que trabalhos como este sejam realizados, de forma que o estudo da acústica seja fomentado, visando ampliar os horizontes dos

² Preços das Placas consultados em DECORANDO BEM (2018).

³ Preços de Carteiras Universitárias Estofadas consultados em RODI OFFICE (2019).

profissionais locais à esta área. Estudos como este podem também contribuir para a melhoria da acústica do Campus, sendo o início para trabalhos mais aprofundados, ou até mesmo futuros projetos.

7.3 Sugestão para trabalhos futuros

Conforme o estudo realizado a respeito de acústica nas edificações, mais especificamente em salas de aula, estão apresentadas a seguir sugestões para futuros trabalhos relacionados ao tema:

- Estudo de análise do isolamento acústico após adequada disposição das unidades condensadoras de ar condicionados;
- Estudo de diferentes propostas de intervenção para adequar o condicionamento acústico das salas dos novos blocos do IFTO, destacando a mais viável economicamente;
- Analisar o isolamento acústico das salas de aula em diferentes épocas do ano, visando observar se as variações de temperatura e umidade irão afetar de maneira significativa o comportamento dos sons emitidos;
- Comparar o comportamento acústico dos novos blocos do IFTO (14 a 17) com o dos antigos (isolamento e condicionamento acústico), verificando se os novos padrões de construção do IFTO evoluíram acusticamente.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152**: Nível de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12179**: Tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**: Avaliação de ruído em áreas habitadas – Procedimento. Rio de Janeiro, 2000.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ANDRADE, Joana Maria Figueiredo Mota. **Caracterização do Conforto Acústico em Escolas**. 2009. 78 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia – Universidade do Porto, Portugal, 2009.

BISTAFA, Sylvio R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. 2. ed. revista, São Paulo: Edgard Blücher, 2011. 380p.

CAMPANELLA, Angelo J. **Table of Absorption Values**. Pennsylvania, Ohio, 2011. Disponível em: <http://www.campanellaacoustics.com/faq.html>. Acesso em: 27 mar. 2019.

CARVALHO, Régio P. **Acústica Arquitetônica**. Brasília: Ed. Thesaurus, 2006.

CBIC – CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Brasil adota novos padrões de qualidade para construção de casas e apartamentos**. 2013. Disponível em: <http://www.cbic.org.br/norma-de-desempenho-brasil-adota-novos-padroes-de-qualidade-para-construcao-de-casas-e-apartamentos/>. Acesso em: 25 nov. 2018.

COSTA, Ennio Cruz da. **Acústica Técnica**. São Paulo: Edgard Blücher, 2003. 127 p.

COLNAGHI SKILL MADEIRAS. **Eucatex**. Curitiba, PR. Disponível em: <https://www.skillmadeiras.com.br/produto/eucatex/eucatex/>. Acesso em: 26 abr. 2019.

DECORANDO BEM: na medida do seu projeto. São Paulo, 2018. Disponível em: <https://decorandobem.com.br>. Acesso em: 25 abr. 2019.

DE MARCO, Conrado Silva. **Elementos de Acústica Arquitetônica**. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1982. 128 p.

FAU-USP – FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA USP. **Banco de dados de características acústicas**. 2003. Disponível em: http://www.fau.usp.br/arquivos/cpq/labs/labaut/conforto/Bd_Acustica_Versao_1.2.xls. Acesso em: 15 nov. 2018.

FERNANDES, João Candido. **Apostila Acústica e Ruídos**. São Paulo. 2005.

GOOGLE. **Google Maps**. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/>. Acesso em: 13 abr. 2019.

ITB – INSTITUTO TRATA BRASIL. **Ranking do Saneamento 2018**. Ranking do Saneamento – 100 Maiores Cidades. São Paulo, 2018. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/estudos/estudos-itb/itb/ranking-do-saneamento-2018>. Acesso em: 11 abr. 2019.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. **Portaria nº 3214, de 8 de junho de 1978**. Aprova as Normas Regulamentadoras–NR–do capítulo V, Título II, da Consolidação das Leis do Trabalho, relativas à Segurança e Medicina do Trabalho. Brasília, jun. 1978.

NOISELOGGER. Versão 2.1. [S. l.], NoiseLogger, 2013.

OWA SONEX BRASIL. **Placa Acústica Sonex illtec Plano**. Diadema, São Paulo, 2019. Disponível em: <http://www.owa.com.br/produtos/placas-acusticas-sonex-illtec/placa-acustica-sonex-illtec-forro-revestimento-acustico-plano.html>. Acesso em: 27 mar. 2019.

PAIXÃO, D.X.; GAIDA VIERO, C.; BRUM, C.M. Avaliação das características acústicas de espaços existentes para ensino e aprendizagem de música na educação básica. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE ACÚSTICA, 7., 2012, Évora. **Anais...** Évora, Portugal. 2012.

PROACÚSTICA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA A QUALIDADE ACÚSTICA. **Organização Mundial da Saúde considera a poluição sonora, um problema de saúde pública**. 2018. Disponível em: <http://www.proacustica.org.br/publicacoes/artigos-sobre-acustica-e-temas-relacionados/oms-considera-poluicao-sonora-problema-de-saude-publica.html>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

RODI OFFICE. São José dos Campos, SP. Disponível em: <https://www.rodioffice.com.br>. Acesso em: 25 abr. 2019.

SANTOS, Jorge L. P. dos, **Estudo do potencial tecnológico de materiais alternativos em absorção sonora**. Santa Maria: UFSM, 2005.

SANTOS, Neri dos; DUTRA, Ana Regina de Aguiar; RIGHI, Carlos Antonio Ramirez; FIALHO, Francisco Antonio Pereira; PROENÇA, Rossana Pacheco da Costa. **Antropotecnologia: a ergonomia dos sistemas de produção**. Curitiba: Genesis, 1997.

SILVA, Liliane Flávia Guimarães da. Proposta de correção acústica do auditório central do Campus Palmas do IFTO. In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 7., out. 2012, Palmas. **Anais...** Palmas: IFTO, 2012.

SILVA, Pérides. **Acústica arquitetônica e condicionamento de ar (simplificado)**. Belo Horizonte: EDTAL E. T., 2005.

SOUZA, LÉA C. L.; ALMEIDA, Manuela G.; BRAGANÇA, Luíz. **Bê-á-bá da Acústica Arquitetônica**. 4. ed. São Carlos–SP: Edufscar, 2012. 148 p.

ANEXO A – TABELAS COM VALORES PARA COEFICIENTES DE ABSORÇÃO

Tabela 1A – Coeficientes de absorção – paredes.

Coeficiente de absorção do som pelas paredes, em função da frequência						
Material – Paredes	130	250	500	1000	2000	4000
	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz
Paredes de tijolos	0,024	0,025	0,031	0,042	0,049	0,07
Parede de tijolos rebocada	0,012	0,013	0,017	0,023	0,023	0,025
Parede de tijolos rebocada e caiada	0,02	0,022	0,025	0,027	0,03	0,032
Parede de tijolo rebocada e pintada a óleo	0,018	0,02	0,023	0,023	0,024	0,025
Reboco de gesso sobre tijolo furado	0,013	0,015	0,02	0,028	0,04	0,05
Concreto	0,01	0,012	0,016	0,019	0,023	0,035
Concreto rebocado	0,009	0,011	0,014	0,016	0,017	0,018
Concreto reb. Caiado	0,015	0,017	0,02	0,022	0,025	0,027
Lambri de madeira	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06
Lambri de madeira c/ verniz	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
Lambri de madeira pintada a óleo	0,04	0,035	0,03	0,03	0,03	0,03
Azulejos	0,01	0,011	0,012	0,015	0,018	—
Mármore	0,01	0,01	0,01	0,012	0,015	—
Chapas de fibra de madeira leve	0,012	0,018	0,032	0,055	0,6	—
Eucatex tipo isolante	0,11	0,18	0,35	0,56	0,6	—
Eucatex acústico tipo A	0,12	0,25	0,52	0,65	0,72	0,93
Lã de rocha apoiada à parede	0,28	0,4	0,5	0,56	0,46	0,38
Lã de rocha a 3 cm da parede	0,44	0,5	0,5	0,52	0,6	0,61
Estuque	0,035	0,032	0,03	0,029	0,028	—
Revestimento de feltro de 2,5 cm	0,12	0,32	0,51	0,62	0,6	0,56
Revestimento de feltro de 5,0 cm	—	—	0,68	—	—	—
Revestimento de feltro de 10,0 cm	—	—	0,79	—	—	—
Lã min. Feltrada 2,5 cm (18 Kg/m ³)	0,26	0,45	0,61	0,72	0,75	—
Cortina leve	0,06	0,08	0,1	0,1	0,1	—
Cortina pesada	0,06	0,1	0,44	0,42	0,4	—
Quadro a óleo	—	—	0,28	—	—	—
Grelha de ventilação (50% abertura)	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	—
Vidros	0,03	0,028	0,027	0,026	0,025	—

Fonte: Costa (2013, p. 35)

Tabela 2A – Coeficientes de absorção do som pelos pisos, em função da frequência.

Coeficiente de absorção do som pelos pisos, em função da frequência						
Material – Pisos	130	250	500	1000	2000	4000
	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz
Cimento	0,01	0,012	0,012	0,012	0,012	—
Madeira	0,09	0,08	0,08	0,09	0,1	—
Tacos	0,04	0,035	0,03	0,03	0,03	—
Carpete	0,12	0,11	0,1	0,1	0,1	—
Cerâmica	0,012	0,013	0,015	0,016	—	—
Passadeira leve	0,08	0,08	0,08	0,04	0,03	—
Passadeira pesada	0,12	0,14	0,18	0,21	0,28	—
Metálico	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	—
Superfície de água	0,008	0,008	0,013	0,015	0,02	0,025

Fonte: Costa (2013, p. 36)

Tabela 3A – Coeficientes de absorção do som pelo público, em função da frequência.

Coeficiente de absorção do som pelo público, em função da frequência						
Público	130	250	500	1000	2000	4000
	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	Hz
De pé por m ²	0,78	0,89	0,95	0,99	1	—
Em galeria para pessoa	0,21	0,3	0,45	0,58	0,71	—
Em cadeira para pessoa	0,28	0,3	0,36	0,44	0,36	—
Em cadeira embutida para pessoa	0,3	0,32	0,38	0,46	0,38	—
Em bando de igreja para pessoa	—	0,25	0,31	0,35	0,33	—
Em poltrona de teatro para pessoa	0,34	0,36	0,42	0,5	0,42	—
Homem adulto isolado	0,17	—	0,39	—	0,51	—
Cadeira de madeira (cada)	0,14	0,15	0,17	0,18	0,2	—
Cadeira estofada (cada)	0,41	0,5	0,56	0,58	0,54	0,46

Fonte: Costa (2013, p. 36)

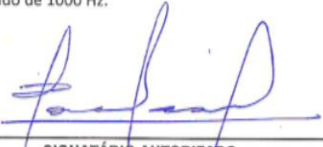
ANEXO B – NÍVEIS LIMITES PARA CONFORTO ACÚSTICO E LIMITES ACEITÁVEIS PARA DIVERSOS AMBIENTES.

Tabela 1B – Níveis de pressão sonora em dB (A) e NC

Valores dB (A) e NC		
Locais	dB (A)	NC
Hospitais		
Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros Cirúrgicos	35 – 45	30 – 40
Laboratórios, Áreas para uso público	40 – 50	35 – 45
Serviços	45 – 55	40 – 50
Escolas		
Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho	35 – 45	30 – 40
Salas de aula, Laboratórios	40 – 50	35 – 45
Circulação	45 – 55	40 – 50
Hotéis		
Apartamentos	35 – 45	30 – 40
Restaurantes, Salas de Estar	40 – 50	35 – 45
Portarias, Recepção, Circulação	45 – 55	40 – 50
Residências		
Dormitórios	35 – 45	30 – 40
Salas de Estar	40 – 50	35 – 45
Auditórios		
Salas de Concertos, Teatros	30 – 40	25 – 35
Salas de conferências, Cinemas, Salas de uso múltiplo	35 – 45	30 – 35
Restaurantes	40 – 50	35 – 45
Escritórios		
Salas de reunião	30 – 40	25 – 35
Salas de gerência, Salas de projetos e da administração	35 – 45	30 – 40
Salas de computadores	45 – 65	40 – 60
Salas de mecanografia	50 – 60	45 – 55
Igrejas e Templos (Cultos meditativos)	40 – 50	35 – 45
Locais para esporte		
Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45 – 60	40 – 55

Fonte: NBR 10152 (ABNT, 1987, p. 2).

ANEXO C – CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO DECIBELÍMETRO.

 CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO																			
Nº 428/2018																			
CONTRATANTE / DATA																			
ROSILENE M C ARAÚJO 407 NORTE ALAMEDA 12, 07 PLANO DIRETOR NORTE 77001-546 PALMAS - TO	Data da calibração: 06/11/2018 Data da emissão: 06/11/2018																		
DADOS DO INSTRUMENTO																			
Descrição: MEDIDOR DE NÍVEL SONORO Fabricante: AKROM Modelo: KR853 Faixa de medição: 30 a 130 dB	Número de série: 01607572 Autenticação: --- Classe: 2 Resolução: 0,1 dB																		
PROCEDIMENTO / MÉTODO																			
A calibração foi realizada conforme procedimento PC-01 rev. 01, pelo método de comparação direta com padrão de referência. Os resultados apresentados correspondem à média de 3 ciclos de medição.																			
PADRÕES UTILIZADOS / RASTREABILIDADE																			
Descrição Calibrador de nível sonoro	Autenticação STD-08																		
N° Certificado RBC 5380395/2018	Órgão Emissor K&L																		
Validade 06/2019																			
RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO																			
PONDERAÇÃO EM FREQUÊNCIA A																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>VVC (dB)</th> <th>VMI (dB)</th> <th>EM (dB)</th> <th>IM (dB)</th> <th>k</th> <th>Veff</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>93,5</td> <td>94,1</td> <td>0,6</td> <td>0,3</td> <td>2,00</td> <td>∞</td> </tr> <tr> <td>113,5</td> <td>114,0</td> <td>0,5</td> <td>0,3</td> <td>2,00</td> <td>∞</td> </tr> </tbody> </table>	VVC (dB)	VMI (dB)	EM (dB)	IM (dB)	k	Veff	93,5	94,1	0,6	0,3	2,00	∞	113,5	114,0	0,5	0,3	2,00	∞	
VVC (dB)	VMI (dB)	EM (dB)	IM (dB)	k	Veff														
93,5	94,1	0,6	0,3	2,00	∞														
113,5	114,0	0,5	0,3	2,00	∞														
PONDERAÇÃO EM FREQUÊNCIA C																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>VVC (dB)</th> <th>VMI (dB)</th> <th>EM (dB)</th> <th>IM (dB)</th> <th>k</th> <th>Veff</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>93,5</td> <td>94,2</td> <td>0,7</td> <td>0,3</td> <td>2,00</td> <td>∞</td> </tr> <tr> <td>113,5</td> <td>114,1</td> <td>0,6</td> <td>0,3</td> <td>2,00</td> <td>∞</td> </tr> </tbody> </table>	VVC (dB)	VMI (dB)	EM (dB)	IM (dB)	k	Veff	93,5	94,2	0,7	0,3	2,00	∞	113,5	114,1	0,6	0,3	2,00	∞	
VVC (dB)	VMI (dB)	EM (dB)	IM (dB)	k	Veff														
93,5	94,2	0,7	0,3	2,00	∞														
113,5	114,1	0,6	0,3	2,00	∞														
VVC: Valor verdadeiro convencional VMI: Valor médio indicado pelo instrumento em calibração EM: Erro de medição (VMI - VVC)																			
IM: Incerteza de medição k: Fator de abrangência Veff: Graus de liberdade efetivos																			
CONDIÇÕES AMBIENTAIS																			
Temperatura: (23 ± 5) °C	Umidade relativa do ar: (50 ± 20) %UR																		
OBSERVAÇÕES																			
1. A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k, que para uma distribuição t com Veff graus de liberdade efetivos, corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. 2. Este certificado é válido exclusivamente para o instrumento calibrado, nas condições específicas, não sendo extensivo a quaisquer lotes, mesmo que similares. 3. O instrumento foi calibrado com um sinal padronizado de 1000 Hz.																			
 SIGNATÁRIO AUTORIZADO Eng. Marcelo Carraro CREA-RS 88346																			
Rua Luiz de Camões, 50 Bairro Jardim América 93032-110 - São Leopoldo - RS (51) 3589-4523 sac@akrom.com.br www.akrom.com.br																			

Fonte: Acervo do autor.