ANÁLISE DO CONFORTO ACÚSTICO DE SALAS DE AULA DO CAMPUS SANTA MÔNICA – UFU: ESTUDO DE CASO

Paulo Henrique dos Santos (1); Dogmar Antonio de Souza Júnior (2); Antonio Carlos dos Santos (2)

(1) Engenheiro Eletricista, Mestre em Engenharia Civil. paulohsantos88@gmail.com

(2) Professor da Faculdade de Engenharia Civil – Universidade Federal de Uberlândia
dogmar@ufu.br; acds@feciv.ufu.br

RESUMO

É cada vez maior a necessidade de atender as exigências dos usuários quanto ao conforto acústico nos mais diversos tipos de edificações. Considerando as atividades desenvolvidas em salas de aula e o que representam para o futuro de uma sociedade, a preocupação com o conforto destas salas na fase de projeto deveria ser ainda maior. Este artigo tem como objetivo apresentar os resultados da análise do conforto acústico de salas de aula de dois prédios do Campus Santa Mônica da Universidade Federal de Uberlândia – UFU. Foram realizados estudos quanto a capacidade de absorção dos materiais e o tempo de reverberação de seis salas de aula, sendo três em cada prédio. Os resultados obtidos na análise foram comparados com os parâmetros normativos das normas ANSI S12.60:2010 e ABNT NBR 12179:1992, a fim de verificar se as salas apresentavam condições adequadas para as atividades de ensino-aprendizagem. Para tanto, após coleta de dados em campo foi determinado analiticamente os parâmetros de absorção sonora e tempo de reverberação. Foi constatado nesta condição as salas atendem as exigências normativas.

Palavras-chave: conforto acústico, absorção sonora, reverberação, qualidade.

ANALYSIS OF ACOUSTIC COMFORT CLASSROOMS CAMPUS SANTA MÔNICA – UFU: CASE STUDY

ABSTRACT

It is increasing the need to meet the requirements of users and the acoustic comfort, in various types of buildings. Considering the activities developed in the classroom and what they represent for the future of a society, concern for the comfort of these rooms in the design phase should be even greater. This article aims to present the test results of the acoustic comfort of classrooms in two buildings of the Campus Santa Monica, Federal University of Uberlândia - UFU. The studies have been conducted as the absorption capacity of the materials and the reverberation time of six classrooms, three in each building. The results of the analysis were compared with normative parameters of ANSI S12.60: 2010 and ABNT NBR 12179:1992 in order to verify that the rooms had adequate conditions for teaching and learning activities. Therefore, after field data collection was analytically determined the sound absorption parameters and reverberation time. It was found in this condition the rooms meet the regulatory requirements.

Keywords: acoustic comfort, sound absorption, reverberation quality.

1 INTRODUÇÃO

A educação é um fator determinante para o desenvolvimento de um país e consequentemente de toda a humanidade. É fato que uma educação de qualidade não depende apenas de professores qualificados e valorizados, alunos nas escolas e redução do índice de analfabetismo, mas também de bons meios para ensino, de profissionais motivados e de uma infraestrutura capaz de oferecer, aos discentes e docentes, condições adequadas para aprender e se capacitar.

A qualidade acústica é importante para qualquer ambiente, entretanto, no caso de salas de aula, isto é ainda mais relevante pois influencia diretamente nos resultados do processo ensino-aprendizagem. Edifícios cujos projetos contemplem a análise do conforto acústico permitem que o desenvolvimento estudantil e de futuros intelectuais não seja prejudicado por fatores externos.

Com a implementação do REUNI – Restruturação e Expansão das Universidades Federais no Brasil a partir de 2007, as Instituições de Ensino Superior (IFEs) têm tido dificuldades para executar as análises de conforto do ambiente nos diversos projetos elaborados e executados neste período. Segundo dados do Censo da Educação Superior de 2012, as universidades federais têm apresentado uma elevada demanda por prédios didáticos na última década. Nos últimos 10 anos o número de matrículas em IFEs passou de 3,5 milhões para 7 milhões. No período de 2011-2012, as matrículas cresceram 4,4%, sendo 7,0% só na rede pública de ensino.

Em muitos países têm crescido a pesquisa científica seja no campo do conhecimento quanto no campo da aplicação da acústica ambiental. O mesmo acontece com o desenvolvimento de materiais e equipamentos voltados para o conforto acústico. Em dezembro de 1999 o comitê internacional, I-Ince, habilitado a investigar questões acústicas em escolas aprovou em assembleia geral uma iniciativa técnica intitulada de *Noise and Reverberation Control for Schoolrooms*. Os estudos realizados por este comitê têm abrangência internacional e são considerados diferentes aspectos como, clima, cultura, nacionalidade e tipologia, sendo seus resultados utilizados para balizar os critérios e as condições mínimas aceitáveis para eficiência acústica em edificações escolares.

O desconforto acústico é um problema que surge quando o nível de ruído existente ao redor do usuário o atrapalha na execução de atividades que necessitam de silêncio. Assim, a acústica em edifícios tanto residenciais como escolares é um dos parâmetros de conforto que tem causado preocupação aos pesquisadores em qualidade do ambiente construído.

Os problemas causados pelo desconforto acústico podem levar as pessoas a desgastes físicos e psicológicos. Em ambientes reverberantes, nos quais há elevados índices de reflexão sonora, o nível de pressão sonora é geralmente elevado e as pessoas têm dificuldade para se comunicarem. Nestes ambientes, as pessoas tendem a falar mais pausadamente e mais alto, tentando, ao mesmo tempo pronunciar as palavras de forma mais articulada. Assim, fazem um esforço enorme, de forma, a tornar a fala mais inteligível.

O tema acústica de salas de aula tem sido analisado e discutido nas últimas décadas nos principais eventos de acústica dentre eles estão: *International Conference on Acoustics* – ICA – Roma, 2001; *Forum Acusticum* – Sevilha, 2002; *Joint Meeting of the Acoustical Society of America – Sociedade Iberoamericana de Acústica* – Cancum, 2002; *Euronoise* – Nápoles, 2003; *International Conference on Acoustics* – ICA – Japão, 2004; *Internoise* – Rio de Janeiro, 2005; Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica – Sobrac – Belém, 2012; *Internoise* – Innsbruck, 2013. Constata-se que o tema tem ganhado relevância não só no exterior, mas também no Brasil.

Muitos artigos abordam problemas encontrados na acústica de sala de aula, seja por

causa da má absorção sonora do ambiente seja por problemas no tempo de reverberação das salas de aulas.

Como exemplo, pode-se citar o trabalho de Santos e Slama (1993) que avaliaram unidades de ensino da cidade do Rio de Janeiro, quanto a ruídos advindos interna e externamente. Os autores constataram que a maioria dos prédios escolares avaliados eram muito antigos e que não haviam sido projetados como escolas. Somado aos problemas de acústica existentes desde a construção destes prédios estavam problemas como a disposição das salas de aula. Algumas salas eram voltadas para o arruamento e outras voltadas para o pátio das escolas. Em certos horários o ruído interno, sobressaía ao ruído emitido pelas fontes externas ao prédio educacional. A conclusão deste trabalho indicou que os ruídos causados tanto por fontes internas quantos externas quando somados a falta de preparação do ambiente estavam causando problemas de aprendizagem aos alunos e de saúde aos professores que necessitavam de maior esforço vocal para serem entendidos dentro de suas salas de aula.

Hodgson *et al*. (1999) fizeram testes prévios em 46 salas desocupadas e em 10 salas ocupadas por estudantes na University British Columbia (UBC). Eles escolheram 30 salas desocupadas para a realização de medições, pois com os resultados obtidos para as 10 classes ocupadas serviram como base para corrigir os problemas das salas desocupadas. O principal objetivo desta pesquisa foi otimizar o planejamento acústico de salas de aula de universidades em relação a comunicação verbal.

Seep *et al.* (2002) desenvolveram um estudo de caso em uma sala de aula construída no final dos anos 90. A sala era alvo de reclamações dos professores com relação às condições acústica, pois apresentava altos níveis de ruídos e baixa inteligibilidade da fala. A ideia do trabalho era recomendar melhorias para as condições acústica da sala. A mesma possuía tempo de reverberação em frequências médias de aproximadamente 1,5s e também um nível de ruído acima do recomendado para estes ambientes. Como solução para o problema decidiram suspender placas de lã de vidro de 2 polegadas recobertas com tecido, que complementaria o sistema de cores da sala, no mesmo nível das luminárias pendentes. Outra solução adotada foi utilizar painéis de lã de vidro revestidos com tecidos nas paredes entre as janelas para impedir ecos com redução adicional do tempo de reverberação. Com estas modificações o tempo de reverberação para as frequências médias foi reduzido para 0,5s, melhorando o conforto acústico da sala.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O conforto acústico pode ser considerado como adquirido quando em uma certa faixa de valores de ruído no ambiente, as pessoas sentem-se confortáveis. Estes valores variam de acordo com a localização, o tipo e a atividade desenvolvida no ambiente. Parâmetros, como: a frequência e o nível do som, a posição e distância relativa das fontes (internas e/ou externas) e a forma de transmissão do ruído (vibrações do próprio edifício e ondas aéreas), são fatores importantes para determinação do conforto acústico.

No tocante a dissipação, as propriedades mais importantes na determinação do comportamento acústico do som dentro dos materiais absorvedores, são a resistividade ao fluxo de ar e a sua porosidade dos materiais. A energia acústica incidente entra pelos poros e dissipa-se por reflexões múltiplas e atrito viscoso, transformando-se em energia térmica. Consequentemente, ocorre também perdas devido à condução térmica.

Para que um mecanismo de absorção seja efetivo, deve haver interconexão superficial entre os poros de ar. Basicamente, quanto maior a espessura do material absorvedor, maior será a sua capacidade de absorção nas baixas frequências. Uma absorção significativa é obtida quando a velocidade da partícula do fluido é elevada dentro material.

Nos materiais fibrosos, a energia acústica incidente entra pelas fissuras das fibras, fazendo-as vibrar juntamente com o ar, dissipando-se de tal forma por transformação em energia térmica. Para Yebra *et al*. (2003) são consideradas como etapas para um planejamento do estudo do controle de ruído escolar:

a) identificar as principais fontes de ruídos internas e externas, estudando o entorno do estabelecimento estudantil;
b) identificação da principal fonte de ruído externo, analisando o seu efeito;
c) análise do ruído entre salas com paredes conjugadas, no que diz respeito aos níveis e tipos de transmissões;
d) análise do tempo de reverberação;
e) avaliação da inteligibilidade da fala;
f) discussão sobre os sinais sonoros e o que estes expressam no clima social, levando em consideração todos os envolvidos no ambiente escolar sobre como deveriam ser os ruídos da escola.

A geometria da sala, juntamente com os materiais construtivos, os locais de abertura, as carteiras utilizadas em salas, existência de lousas acústicas entre outros materiais isolantes, devem ser levados em consideração, visto que irregularidades geométricas possuem uma influência nos valores medidos e a utilização de materiais absorventes nas superfícies melhoram o desempenho acústico da sala.

Além das propriedades citadas anteriormente, o desempenho acústico do ambiente depende também do coeficiente de absorção dos materiais. O professor de física de Harvad, Wallace Clement Sabine, foi um dos primeiros estudiosos a estabelecer condições acústicas satisfatórias. Ele desenvolveu a primeira fórmula para cálculo do tempo de reverberação, intitulada de fórmula de Sabine, dada pela Equação 1.

$$TR = 0{,}161 \times V/A \ \ (s) \qquad \text{Equação 1}$$

sendo:

- TR: tempo de reverberação do recinto (s);
- V: volume do ambiente (m^3);
- A: área de absorção (m^2).

A área de absorção pode ser calculada pela Equação 2.

$$A = \sum \ [\![\alpha \times S]\!] \qquad \text{Equação 2}$$

onde:

- α: coeficiente de absorção de cada material de revestimento e,
- S: área de cada material.

Hohmann *et al.* (2004) propuseram um complemento a Fórmula de Sabine. Para o cálculo da área além dos elementos construtivos da sala de aula. Segundo os autores, deve ser considerado também as áreas de absorção sonora dos elementos adicionais de funcionalidade do ambiente como carteiras, mesas, lousas e pessoas, assim como a atenuação sonora do ar. Neste caso, a área "A" será calculada pela Equação 3.

$$A = A_a + A_b + A_s + A_p + A_l \ (m^2) \qquad \text{Equação 3}$$

onde:

- A: Absorção equivalente da sala (m^2);

- A_b: Absorção equivalente das paredes (m²);
- A_e: Absorção equivalente dos objetos (m²);
- A_p: Absorção equivalente às pessoas na sala (m²);
- A_l: Absorção equivalente do ar no ambiente (m²).

Para a definição dos elementos envolvidos na determinação da área de absorção sonora equivalente para o método teórico indireto, considera além dos elementos construtivos da sala de aula, as áreas de absorção sonora dos elementos relativos à funcionalidade do ambiente (mesas, cadeiras, pranchetas, pessoas, etc.), bem como a atenuação sonora do ar.

O tempo de reverberação deverá estar de acordo com o uso de cada espaço. Deve permitir a clara percepção do som, sem no entanto, desaparecer imediatamente para que também não prejudique a percepção de alguns tipos de fontes sonoras. No Quadro 1 são exemplificados os limites legislativos e normativos definidos pela ABNT e pela ANSI.

Quadro 1 - Resumo de limites legislativos da norma brasileira e americana

País / Fonte	**Gama de frequências em análise**	**Tempo de reverberação TR (s)**
Brasil / ABNT NBR 12179:1992	500Hz	$0,7 < TR < 1,1$ se $10 < V < 1000m^3$ Exemplo: $< 0,9$ se $V=100m^3$
EUA / ANSI/ASA S12.60-2010	500 a 2k Hz (3 bandas)	$\leq 0,6$ se $V < 283\ m^3$ $\leq 0,7$ se $283 \leq V \leq 566\ m^3$

O objetivo deste trabalho foi avaliar o conforto acústico de seis salas de aula distribuídas em dois prédios didáticos localizados no Campus Santa Mônica da Universidade Federal de Uberlândia – UFU, situado na cidade de Uberlândia. Ressalta-se que as análises apresentadas restringem-se ao tempo de reverberação e a absorção acústica dos materiais empregados em cada sala.

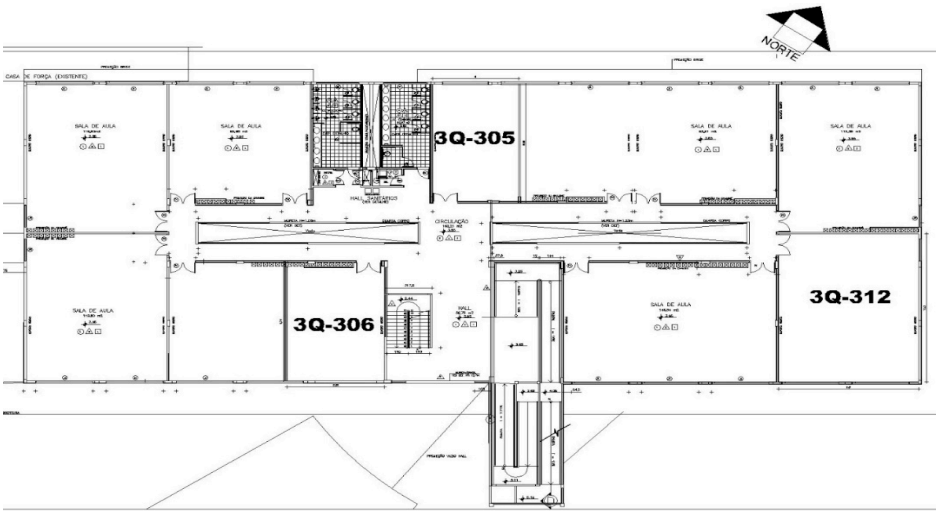
3 METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida em salas de aula dos blocos 3Q e 5O da UFU, ambos são blocos já consolidados dentro do campus universitário. A escolha destes blocos foi motivada devido sua posição em relação ao norte e por estarem afastados de uma das principais avenidas da cidade, Av. João Naves de Ávila, eliminando assim alguns ruídos externos que poderiam interferir na avaliação acústica.

O bloco 3Q é constituído por três pavimentos. As avaliações foram realizadas nas salas 3Q-305, 3Q-306 e 3Q-312 do 3º pavimento, Figura 1.

A sala 3Q-305 está localizada ao lado do banheiro feminino e fica em frente ao único acesso ao pavimento, seja por meio da rampa ou da escada. A sala 3Q-306 situa-se ao lado da entrada do 3º pavimento do bloco, de frente para bebedouros e banheiros e suas janelas estão voltadas para o arruamento do campus universitário. Ambos os locais podem emitir sons e interferir no processo de ensino-aprendizagem. Salienta-se que devido a necessidade de adequação da instituição, as salas 3Q-305 e 3Q-306 são resultado da subdivisão de uma sala maior. Esta também é uma das razões que levou a escolha destas salas. A sala 3Q-312 localiza-se ao final do corredor do pavimento, entre outras duas salas de aulas com suas janelas voltadas para o arruamento do campus universitário e uma janela localizada para uma área de estacionamento. É importante lembrar que esta sala continuou com as mesmas dimensões da fase projetual, não havendo modificações durante sua execução.

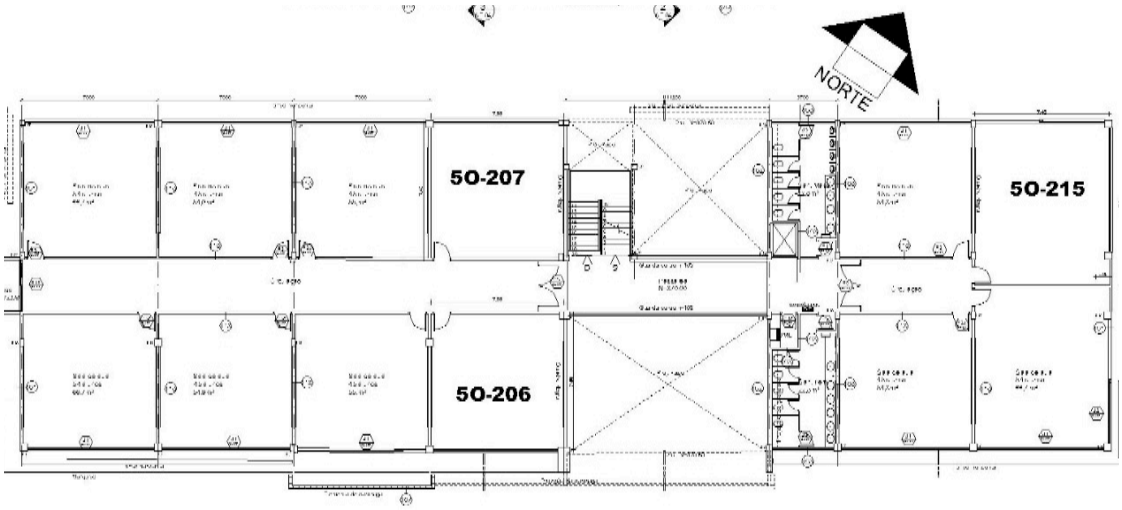
Figura 1 - Disposição das salas do 3º pavimento do bloco 3Q



FONTE: Diretoria de Infraestrutura – UFU

No bloco 5O foram avaliadas as salas 5O-206, 5O-207 e 5O-215. Este bloco possui dois pavimentos tipos, um pavimento térreo e um pavimento subsolo de anfiteatros. As salas escolhidas estão representadas na Figura 2. A sala 5O-206 está localizada ao lado do saguão de entrada do bloco, no segundo pavimento, com janelas voltadas para o arruamento principal do campus. Com relação a vedação vertical da sala, esta possui paredes divisórias de gesso acartonado, tanto na divisão para o corredor quanto na divisão das salas contíguas. A 5O-207 está localizada ao lado das escadas de acesso e em frente à sala 5O-206, têm suas janelas voltadas para o estacionamento do bloco e às ruas externas ao campus, um pouco mais afastadas da sala. A sala 5O-215 situa-se no final do corredor do pavimento, com localização de canto entre outras duas salas de aulas com parte de suas janelas voltadas para o hall do bloco e a grande maioria voltada para área de estacionamento.

Figura 2 – Disposição das salas 2º Pavimento do Bloco 5O



FONTE: Diretoria de Infraestrutura - UFU

Para a análise do conforto acústico foram realizadas análises teóricas dos tempos de reverberação e da capacidade de absorção acústica dos ambientes escolhidos. As salas foram avaliadas em três frequências: 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz. Para alcançar estes resultados foi

necessário levantar as características físicas do ambiente, área e tipo do material que compõe o piso, o teto e as paredes, bem como a área das aberturas. Para determinação destas áreas foram realizadas medições *in loco*. Os coeficientes de absorção sonora utilizados neste trabalho foram obtidos por meio de pesquisa em normas e dados técnicos nas notas fiscais dos materiais empregados. A identificação dos materiais utilizados em cada sala foi por conferência dos mesmos *in loco.* No Quadro 2 são apresentados os coeficientes de absorção sonora utilizados e levantados para a realização deste estudo.

Quadro 2 - Coeficientes de Absorção dos Materiais encontrados nas salas de aulas estudadas

Item	Materiais	Fonte	Coeficientes de Absorção Sonora		
			500Hz	1000Hz	2000Hz
1	Alvenaria com Reboco liso	ABNT NBR 12179:1992	0,02	0,02	0,02
2	Gesso acartonado (Paredes)	EGAN	0,05	0,04	0,07
3	Vidro Janela Comum	ABNT NBR 12179:1992	0,18	0,12	0,07
4	Metal Janelas	EGAN	0,07	0,15	0,13
5	Portas e Janelas Abertas	ABNT NBR 12179:1992	1,00	1,00	1,00
6	Quadro Negro	ABNT NBR 12179:1992	0,18	0,10	0,10
7	Quadro Branco	ABNT NBR 12179:1992	0,18	0,10	0,10
8	Madeira Portas	ABNT NBR 12179:1992	0,06	0,00	0,10
9	Gesso Acartonado (Forro)	EGAN	0,05	0,04	0,07
10	Pistofibra de lã de Vidro	CATÁLOGO TÉCNICO	0,64	0,75	0,89
11	Forro de Fibra Vegetal	CATÁLOGO TÉCNICO	0,65	0,78	0,70
12	Paviflex	CATÁLOGO TÉCNICO	0,00	0,02	0,09
13	Adulto em pé	ABNT NBR 12179:1992	0,44	0,42	0,46
14	Alunos sentados em carteiras	EGAN	0,49	0,84	0,87

Com todas as informações levantadas, foi aplicado o método de Sabine para análise do tempo de reverberação e a contribuição de cada material para a absorção sonora da sala, para a condição de sala cheia com porta e janelas abertas. Em Santos (2015) pode-se encontrar resultados para outras condições, como sala cheia com porta e janelas fechadas, sala com 60% de ocupação com porta e janelas abertas e sala com 60% de ocupação com porta e janelas fechadas.

Foi considerado como tempo de reverberação aceitável para as salas os limites de acordo com a norma ANSI S12.60:2012. Avaliamos o tempo de reverberação da sala de acordo com os valores obtidos para cada frequência. No Quadro 3 são apresentados os dados levantados quanto as dimensões de cada sala pesquisada.

Quadro 3 - Dados levantados para dimensões das salas de aulas estudadas

Sala	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Área (m^2)	Volume (m^3)
3Q-305	6,08	9,74	3,14	59,22	185,95
3Q-306	6,81	9,77	3,19	66,53	212,24
3Q-312	9,89	12,24	3,19	121,05	386,16
5O-206	7,32	7,46	2,85	54,61	155,63
5O-207	7,34	7,48	2,85	54,90	156,47
5O-215	7,42	8,90	2,85	66,04	188,21

4 RESULTADOS OBTIDOS

No Gráfico 1 são apresentados os resultados obtidos para a absorção sonora das salas 3Q305, 3Q306, 3Q312, 5O206, 5O207 e 5O215, para a situação em estudo. Para o bloco 3Q, nota-se que as salas 3Q305 (Gráfico 1-a) e 3Q306 (Gráfico 1-b), apresentaram menor valor de absorção sonora para o teto (gesso acartonado mais pistofibra) que a sala 3Q312. Isso ocorreu devido a estas salas de aulas possuírem dimensões menores que a sala 3Q312 (Gráfico 1-c). Como pode ser constatado pelo Gráfico 1-d, 1-e e, 1-f, as salas avaliadas no bloco 5O apresentaram um distribuição semelhante de absorção sonora entre os materiais.

Nas salas do bloco 3Q, o material que apresentou a maior contribuição para a absorção sonora foi a pistofibra (38% - Sala 3Q305, 37% - Sala 3Q306 e 44% - Sala 3Q312). Para o bloco 5O, a contribuição relativa do material que compõe o teto, fibra vegetal, foi ainda mais significativa que no Bloco 5O (45% - Sala 5O-206 e 5O-207 e 45% - Sala 5O-215). Ressalta-se que a lã de vidro possui maior coeficiente de absorção sonora na frequência de 2000Hz, assim caso tivesse sido utilizada no teto das salas do bloco 5O a absorção devido ao teto seria ainda mais expressiva quando comparada com os demais materiais que compõe as salas.

A contribuição dos alunos na absorção sonora é expressiva em todos os casos analisados, variando de 36% a 41%. Esta contribuição só é menor, em alguns casos, que a absorção dos materiais que compõem o teto.

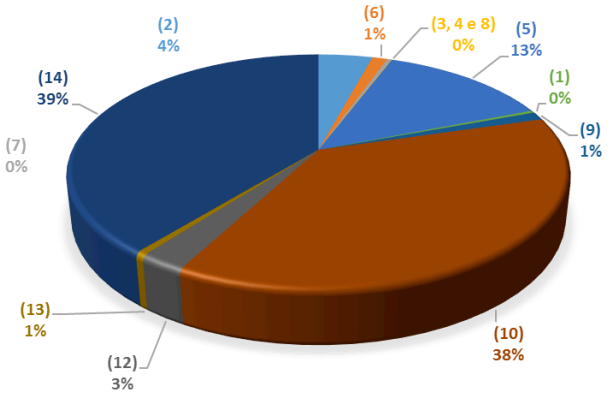
Sendo os materiais semelhantes nas salas avaliadas, o tempo de reverberação é proporcional ao volume de cada sala, logo salas maiores tendem a apresentarem tempo de reverberação maior. Assim observa-se Quadro 4, que as salas de aula do Bloco 3Q apresentaram tempo de reverberação maiores que o das salas do Bloco 5O. Nota-se também que a única sala que possui tempo de reverberação superior a 0,50s foi a sala 3Q312, na frequência de 500Hz. Entretanto, para todas as salas e situações analisadas os tempos de reverberação atenderam os limites das normas ABNT NBR 12179:1992 e ANSI/ASA S12.60-2010.

Em todos os casos analisados, a contribuição para a absorção sonora dos materiais que formam o teto e dos alunos ultrapassa 78%. Considerando que a presença de alunos é condição indispensável para as atividades de sala de aula, fica evidente a relevância da correta especificação do material mais adequado para o teto a fim de obter o tempo de reverberação dentro dos limites normativos. Dada a pequena contribuição para a absorção sonora dos materiais que compõem as paredes, quadros e piso nos casos analisados, a especificação de materiais com baixa absorção para o teto poderia implicar evidentemente em condições inadequadas de acústica para as salas de aula.

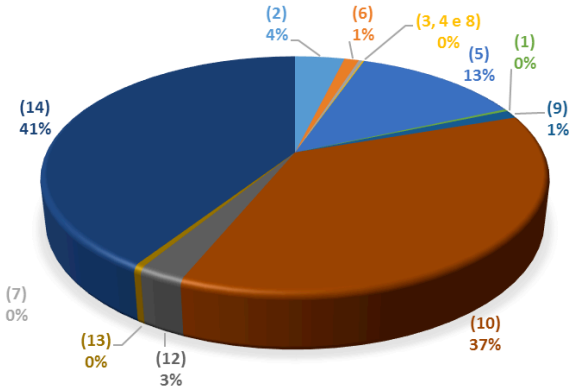
Quadro 4 – Resultados obtidos para o tempo de reverberação das salas de aula

Sala	**Tempo de reverberação (s)**			**Limites normativos**	
	500Hz	**1000Hz**	**2000Hz**	**ABNT NBR 12179:1992**	**ANSI/ASA S12.60-2010**
3Q305	0,451	0,347	0,299	< 0,7	< 0,6
3Q306	0,449	0,343	0,296		< 0,6
3Q312	0,537	0,411	0,352		< 0,7
5O206	0,358	0,270	0,264		< 0,6
5O207	0,359	0,271	0,264		< 0,6
5O215	0,352	0,265	0,262		< 0,6

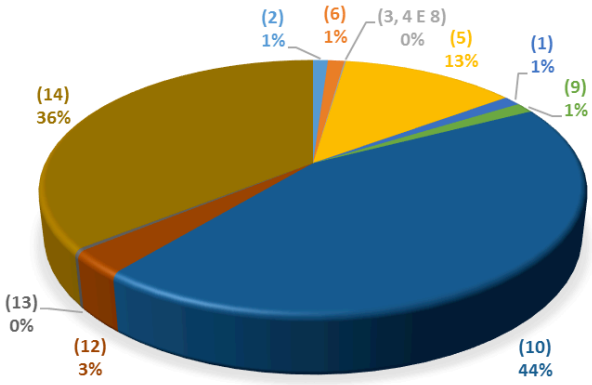
Gráfico 1 - Resultados obtidos para a Distribuição da Absorção Sonora entre os materiais; a) Sala 3Q-305; b) Sala 3Q-306; c) 3Q-312; d) 5O-206; e) 5O-207; f) 5O-215.



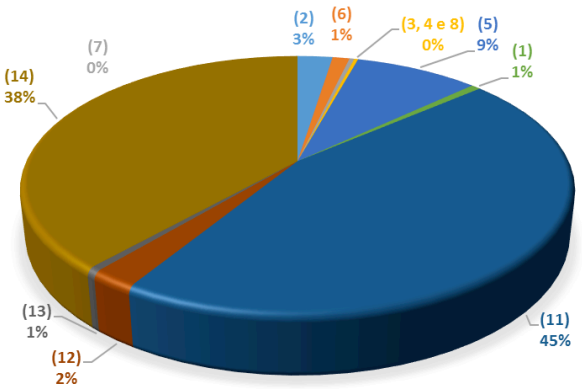
(a)



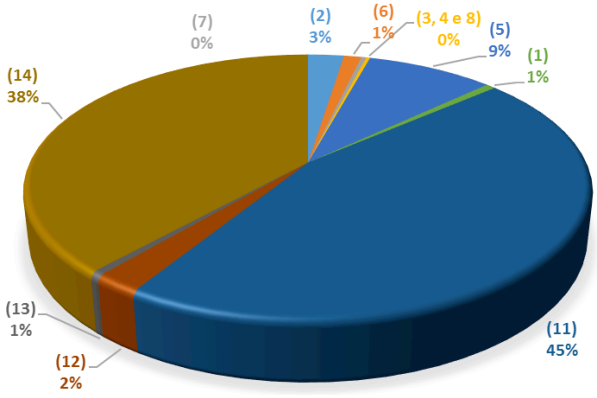
(b)



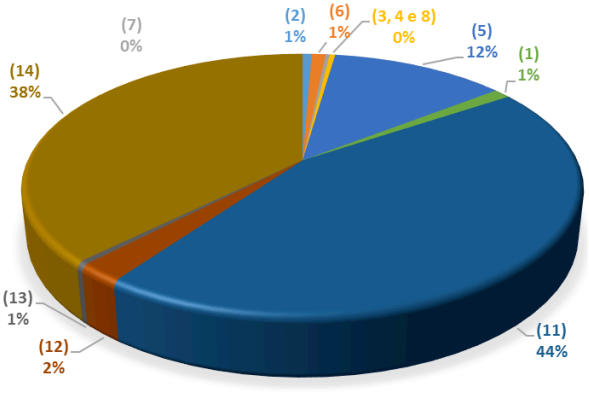
(c)



(d)



(e)



(f)

(1) - Alvenaria c/ reboco liso
(2) - Gesso acartonado (Paredes)
(3, 4 e 8) - Esquadrias e Portais
(5) - Portas e Janelas Abertas
(6) - Quadro Negro
(7) - Quadro Branco
(9) - Gesso acartonado (Forro)
(10) - Pistofibra (Lã de Vidro)
(11) Forro de Fibra Vegetal
(12) - Paviflex
(13) - Adulto em pé
(14) - Alunos em carteira

5 Considerações Finais

Na elaboração dos projetos de prédios didáticos, os projetistas devem se preocupar com a relação custo-benefício, mas mantendo sempre um excelente padrão de qualidade e desempenho para as finalidades para os quais são projetados.

Neste trabalho foi feita a análise teórica de alguns parâmetros de acústica. Foi empregada a equação de Sabine para avaliar as salas 3Q-305, 3Q-306, 3Q-312, 5O-206, 5O-207 e 5O-215. Todas as salas apresentaram resultados satisfatórios quanto ao tempo de reverberação para as situações estudadas, atendendo ao limite de tempo de reverberação da norma ANSI S12.60. Quando comparadas as salas com áreas semelhantes, nota-se que as salas do bloco 5O tiveram um desempenho acústico melhor que as salas do bloco 3Q. Isto é devido aos materiais utilizados, pois nas salas do bloco 5O no qual foi utilizado o forro de fibra vegetal em toda a área do teto, enquanto que nas salas do Bloco 3Q utilizou pistofibra em aproximadamente 60% da área do teto e gesso acartonado no restante. Além disto, as salas do Bloco 5O apresentaram um volume menor e consequentemente a área do teto é relativamente mais significante na análise.

A norma ANSI S12.60, estipula valores de conforto acústico que se levados em consideração na etapa de projeto, garantem ambientes adequados para atender as necessidades de docentes e discentes no ambiente escolar no que tange ao conforto acústico. A ABNT NBR 12179:1992, estipula valores para limitar a palavra falada de acordo com o volume do espaço físico, porém esta possui valores maiores que os utilizados pela ANSI, portanto se as salas atendem a norma ANSI as mesmas atenderão a norma brasileira independentemente da situação avaliada.

Por outro lado, não levar em consideração as propriedades dos materiais e os limites normativos na fase projetual pode comprometer as atividades dos alunos e professores. Por isso, é sempre importante levar em consideração formas de avaliar e minimizar os problemas advindos pela falta de avaliação do local, materiais e as normas que regem os assuntos.

Num país com as restrições financeiras como é o Brasil, é comum as alterações projetuais para atender a demandas urgentes que são apresentadas, no entanto, em se tratando de salas de aula é preciso desenvolver no mínimo análises preliminares que permitam avaliar o impacto das alterações pretendidas a fim de garantir o conforto acústico para seus usuários.

6 Referências

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10152**: **Níveis de ruído para conforto acústico - Procedimento**. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 12179**: **Tratamento Acústico em Recintos Fechados**. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 15575-1**: **Edificações Habitacionais — Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais.** Rio de Janeiro, 2013.

AMERICAN NATIONAL STANDARD (MELVILLE). **Acoustical performance criteria, design requirements, and guidelines for schools: ANSI S12.60.** Melville, 2002.

_____. **ASA S12.60:2010 Classroom Acoustics, Part 1: Permanent Schools**. Melville,2010.

FERREIRA, A. M. **Avaliação do conforto acústico em salas de aula: estudo de caso na Universidade Federal do Paraná.** Curitiba, Paraná, Brasil, 2006.

GERGES, S. N. **Aplicações da técnica de intensidade sonora em edificações. Conforto no ambiente construído,** pp. 85 - 98, 4 a 7 de julho de 1995.

HODGSON, M. R.; REMPEL, R.; KENNEDY, S. **Measurement and prediction of typical speech and background-noise levels in university classrooms during lectures,** 1999.

HOHMAN, R.; SETZER, M. J.; WEHLING, M. **Bauphysikalische formeln und tabellen,** 2004.

OLIVEIRA, E. C.; TEODORO; E. B. **Método para medição do coeficiente de absorção sonora.** 15º Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Uberlândia, Minas Gerais, 2005.

SANTOS, M. D.; SLAMA, J. G. **Ruído no Ambiente Escolar: Causas e Consequências.** ENTAC, pp. 301 - 306, 1993.

SEEP, B.; GLOSEMEYER, R.; HULCE, E.; LINN, M.; AYTAR, P.; COFFEN, R. **Acústica de salas de aula.** 29, 2002.

SILVA, C. **O tempo de reverberação e a inteligibilidade da palavra, Caso de estudo: Salas de aula da FEUP.** Porto, Portugal, Julho de 2013.

YEBRA, M.; BLEDA, S.; VERA, J. **Necesidad de pautas y normativa acústica específicas em lãs construcciones escolares: La Universidad de Alicante, um ejemplo.** Sevilha, 2003.