



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



PAULO HENRIQUE DOS SANTOS

**ANÁLISE DO CONFORTO ACÚSTICO E LUMÍNICO DE
SALAS DE AULA DO CAMPUS SANTA MÔNICA - UFU:
ESTUDO DE CASO**

Uberlândia, 2015

PAULO HENRIQUE DOS SANTOS

**ANÁLISE DO CONFORTO ACÚSTICO E LUMÍNICO DE
SALAS DE AULA DO CAMPUS SANTA MÔNICA - UFU:
ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Estruturas e Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos dos Santos

Co-orientador: Prof. Dr. Dogmar A. de Souza Junior

Uberlândia, 2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

- S237a
2015 Santos, Paulo Henrique dos, 1988-
Análise do conforto acústico e lumínico de salas de aula do Campus Santa Mônica - UFU: estudo de caso / Paulo Henrique dos Santos. - 2015.
99 f. : il.
- Orientador: Antônio Carlos dos Santos.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.1149>
Inclui bibliografia.
1. Engenharia civil - Teses. 2. Acústica arquitetônica - Teses. 3. Iluminação elétrica - Teses. 4. - Teses. I. Santos, Antônio Carlos dos, . II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU: 624



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



**ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO DO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ATA Nº: 137/2015

CANDIDATO: Paulo Henrique dos Santos

ORIENTADOR: Prof. Dr. Antonio Carlos dos Santos

TÍTULO: "Análise do conforto acústico e lumínico de salas de aula do Campus Santa Mônica – UFU: Estudo de caso"

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Estruturas e Construção Civil

LINHA DE PESQUISA: Construção Civil

DATA DA DEFESA: 23 de março de 2015

LOCAL: Sala de Projeções da FECIV

HORÁRIO DE INÍCIO E TÉRMINO DA DEFESA: 9h10 - 11h00

Após avaliação do documento escrito, da exposição oral e das respostas às arguições, os membros da Banca Examinadora decidem que o candidato foi:

☒ APROVADO

☐ REPROVADO

OBS:

Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata que está assinada pelos membros da Banca:

Professor Orientador: **Prof. Dr. Antonio Carlos dos Santos – FECIV/UFU**

Membro externo: **Prof^a. Dr^a. Mariela Cristina Ayres de Oliveira – Arquitetura e Urbanismo/UFT**

Membro: **Prof. Dr. Antonio de Paulo Peruzzi – FECIV/UFU**

Uberlândia, 23 de março de 2015.

“Agradeço a Deus pela oportunidade, de crescer, a minha esposa pelo Amor, auxílio e compreensão. E a meus pais pelo incentivo. Sem esses alicerces jamais seria capaz de concretizar este sonho.”

“Grandes descobertas científicas são realizadas a partir de um olhar profundo sobre aquilo que se parece óbvio à primeira vista. ”

(Autor Desconhecido)

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas graças a Deus, não sou o que era antes.”

(Marthin Luther King).”

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me guiar nessa jornada de capacitação e desenvolvimento intelectual, sem ele dando forças, não seria capaz de chegar até aqui. Ao professor Dogmar Antonio de Souza Junior, por todo o seu tempo dedicado à auxiliar e orientar na execução deste trabalho, alavancando a minha necessidade em alcançar e buscar cada vez mais melhorias e aprendizado sobre o meu trabalho. Ao professor Antônio Carlos dos Santos, por aceitar este desafio em aprimorar ainda mais a universidade, pelas orientações, desenvolvimento e por possibilitar o aprimoramento e crescimento deste trabalho. À Faculdade de Engenharia Civil e seus docentes, pelo conhecimento acumulado ao longo desses dois anos. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal e Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro.

A minha esposa Daniele por acreditar neste sonho e transformá-lo em seu sonho também. Acreditando na minha capacitação, me auxiliando no desenvolvimento e correção do trabalho. Muito Obrigado por sua paciência, pelo seu Amor e compreensão nos momentos em que tive de abdicar de nosso tempo juntos para elaboração da dissertação. Saiba que atitudes como esta demonstram ainda mais a importância da união entre um casal.

Aos meus familiares, agradeço o incentivo que deram durante toda esta jornada para que ela não fosse tão árdua e difícil. Aos meus amigos agradeço o estímulo e pelas palavras amigas incentivando a conclusão deste sonho. Aos colegas de mestrado agradeço pelas discussões na sala de estudo e conhecimentos repassados, buscando acrescentar ainda mais conhecimento a vida profissional e pessoal.

A minha irmã Aline, pelo apoio e estímulos dados para que eu nunca desistisse desse sonho. Por fim agradeço a meus pais Márcio e Maria Angela, pelo incentivo inicial e as palavras de conforto dadas sempre em que me sentia desanimado em concluir este sonho. Me elevavam ainda mais, para que eu não desistisse do sonho e alcançasse o meu objetivo final.

A todos vocês meu muito obrigado.

Dos Santos, P. H. Análise do conforto acústico e lumínico de salas de aula do Campus Santa Mônica - UFU: Estudo de caso. 123f. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2015.

RESUMO

O conforto ambiental tem ganhado cada vez mais relevância nos projetos de construção civil, conseqüentemente é cada vez maior a necessidade de atender as exigências dos indivíduos nos mais diversos tipos de construção. Diante desta realidade surge a proposta deste trabalho cujo objetivo é analisar o conforto acústico e lumínico de salas de aula do Campus Santa Mônica da Universidade Federal de Uberlândia – UFU a fim de subsidiar tecnicamente novos projetos destinados a salas de aula. A importância deste trabalho torna-se ainda mais relevante considerando que esta Universidade iniciou a construção de um novo Campus com capacidade a ser instalada para 15.000 alunos. Foram realizados estudos técnicos quanto a capacidade de absorção e o tempo de reverberação das salas de aula escolhidas, além disto foram feitas medições *in loco* quanto a iluminância, natural e artificial, das salas a fim de avaliar o conforto lumínico do ambiente. Para a realização destes estudos foram utilizadas ferramentas computacionais, e equipamentos de medição como luxímetro e trena digital para medição e levantamento de dados para realização do trabalho. Os resultados obtidos nas análises de seis salas de aula dos blocos 3Q e 5O do campus Santa Mônica foram comparados com os parâmetros normativos das normas ANSI S12.60:2010 e ABNT NBR 5413:1992, a fim de verificar se as salas apresentavam condições mínimas para as atividades de ensino-aprendizagem. Os resultados obtidos mostram que as salas estudadas atendem parcialmente as exigências normativas. Sendo assim, faz-se necessário a implementação de medidas corretivas para adequar as salas avaliadas para que discentes e docentes não sejam prejudicados na execução de suas tarefas.

Palavras-chave: conforto acústico, conforto lumínico, reverberação, qualidade.

Dos Santos, P.H. Analysis of acoustic comfort and luminic classrooms Campus Santa Monica - UFU: Case Study. 123f. MSc Dissertation, Faculty of Civil Engineering, Federal University of Uberlândia, 2015.

ABSTRACT

The environmental comfort has gained increasing relevance in civil construction projects, consequently is increasing the need to meet the requirements of individuals in various types of construction. Given this reality comes the purpose of this study the objective of analyzing the acoustic comfort and luminous classrooms Campus Santa Monica, Federal University of Uberlândia - UFU in order to support technically new projects to classrooms. The significance of this becomes even more relevant considering that this University has begun construction of a new campus with capacity to be installed for 15,000 students. Were carried out technical studies as the absorption capacity and the reverberation time of the selected classes, addition measurements were made in loco as the illuminance, natural and artificial, rooms to assess the luminous comfort of the environment. For these studies were used computational tools and measurement equipment such as digital light meter and measuring tape to measure and survey data to carry out the work. The results obtained in this study six blocks of classrooms 3Q and 5O campus Santa Monica were compared with normative parameters of ANSI S12.60: 2010 and ABNT NBR 5413: 1992 in order to verify that the rooms had minimum conditions for teaching and learning activities. The results show that the rooms studied partially meet the regulatory requirements. Therefore, it is necessary to implement corrective measures to adapt the rooms evaluated so that students and teachers are not hindered in carrying out their tasks.

Keywords: acoustic comfort, luminous comfort, reverb, quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Layout de portas em salas de aula boas e ruins acusticamente.....	15
Figura 2 - Tempo de Reverberação a uma frequência de 500Hz	20
Figura 3 - Funcionamento dos Light Shelves.....	26
Figura 4 - Mapa do Campus Santa Mônica UFU	35
Figura 5 - Disposição das salas do Bloco 3Q	36
Figura 6 – Disposição das salas do Bloco 5O	37
Figura 7 - Exemplo pontos de medição Iluminação Natural	42
Figura 8 - Distribuição dos pontos Análise Iluminação Artificial	46
Figura 9 - Pontos de Medição Sala 3Q-305.....	70
Figura 10 – Vista em perspectiva da Sala 3Q-305	72
Figura 11 - Pontos de Medição Sala 3Q-306.....	73
Figura 12 – Vista em perspectiva da Sala 3Q-306	75
Figura 13 - Pontos de Medição Sala 3Q-312.....	76
Figura 14 – Janela do Fundo Sala 3Q-312	79
Figura 15 - Janelas Laterais Sala 3Q-312.....	79
Figura 16 - Pontos de Medição Sala 5O-206.....	80
Figura 17 - Janelas Sala 5O-206.....	82
Figura 18 - Pontos de Medição Sala 5O-207.....	84
Figura 19 - Janelas da Sala 5O-207.....	86
Figura 20 - Janelas da Sala 5O-215	87
Figura 21 - Pontos de Medição Sala 5O-215.....	88
Figura 22 - Distribuição dos pontos Análise Sala 3Q-305	91
Figura 23 - Pontos de medição da Sala 3Q-306	93
Figura 24 - Pontos de medição Sala 3Q-312	95
Figura 25 - Luminárias bloco 5O	97
Figura 26 - Pontos de Medição 5O-206.....	97
Figura 27 - Pontos de Medição Sala 5O-207.....	99
Figura 28 - Pontos de Medição 5O-215.....	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Áreas de Absorção sonora equivalente dos elementos adicionais de funcionalidade do ambiente	19
Tabela 2 - Dados levantados para dimensões das salas de aulas estudadas	39
Tabela 3 – Resultados obtidos para Absorção Sonora da Sala 3Q-305.....	48
Tabela 4 – Resultados obtidos para o tempo de Reverberação Sonora da Sala 3Q-305	48
Tabela 5 - Resultados obtidos para a Absorção Sonora Sala 3Q-306	50
Tabela 6 - Resultados obtidos para o Tempo de Reverberação Sonora Sala 3Q-306	51
Tabela 7 - Resultados obtidos para a Absorção Sonora da Sala 3Q-312	53
Tabela 8 - Resultados obtidos para o tempo de Reverberação Sonora da Sala 3Q-312.....	53
Tabela 9 - Resultados obtidos para a Absorção Sonora da Sala 5O-206	56
Tabela 10 - Resultados obtidos para o Tempo de Reverberação Sonora da Sala 5O-206 ..	56
Tabela 11 - Resultados obtidos para a Absorção Sonora da Sala 5O-207	58
Tabela 12 - Resultados obtidos para o Tempo de Reverberação Sonora da Sala 5O-207 ..	59
Tabela 13 - Resultados obtidos para a Absorção Sonora da Sala 5O-215	62
Tabela 14 - Resultados obtidos para o Tempo de Reverberação Sonora da Sala 5O-215 ..	62
Tabela 15 - Resultados obtidos para a iluminação Natural Sala 3Q-305	71
Tabela 16 - Resultados obtidos para a iluminação Natural Sala 3Q-306	74
Tabela 17 - Resultados obtidos para a iluminação Natural Sala 3Q-312	77
Tabela 18 - Resultados obtidos para a iluminação Natural Sala 5O-206	81
Tabela 19 - Resultados obtidos para a iluminação Natural Sala 5O-207	85
Tabela 20 - Resultados obtidos para a iluminação Natural Sala 5O-215	89
Tabela 21 - Levantamento Iluminação Artificial Sala 3Q-305	91
Tabela 22 - Levantamento Iluminação Artificial Sala 3Q-306	93
Tabela 23 - Levantamento Iluminação Artificial Sala 3Q-312	95
Tabela 24 – Levantamento Iluminação Artificial Sala 5O-206.....	98
Tabela 25 - Levantamento Iluminação Artificial Sala 5O-207	99
Tabela 26 - Levantamento Iluminação Artificial Sala 5O-215	101
Tabela 27 – Resultados do cálculo de reverberação sala 3Q-305	114
Tabela 28 - Resultados do cálculo de reverberação sala 3Q-306	116
Tabela 29 - Resultados do cálculo de reverberação sala 3Q-312	118

Tabela 30 - Resultados do cálculo de reverberação sala 5O-206	120
Tabela 31 - Resultados do cálculo de reverberação sala 5O-207	122
Tabela 32 - Resultados do cálculo de reverberação sala 5O-215	124

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Resultados obtidos para a Absorção Sonora da Sala 3Q-305	49
Gráfico 2 – Resultados obtidos para o Tempo de Reverberação Sonora da Sala 3Q-305 ..	49
Gráfico 3 – Resultados obtidos para a Absorção Sonora da Sala 3Q-306	51
Gráfico 4 - Resultados obtidos para o Tempo de Reverberação Sonora Sala 3Q-306.....	52
Gráfico 5 - Resultados obtidos para a Absorção Sonora da Sala 3Q-312	54
Gráfico 6 – Resultados obtidos para o Tempo de Reverberação Sonora da Sala 3Q-312 ..	55
Gráfico 7 - Resultados obtidos para a Absorção Sonora da Sala 5O-206	57
Gráfico 8 - Resultados obtidos para o Tempo de Reverberação da Sala 5O-206	58
Gráfico 9 - Resultados obtidos para a Absorção Sonora da Sala 5O-207	59
Gráfico 10 - Resultados obtidos para o Tempo de Reverberação Sonora da Sala 5O-207 .	60
Gráfico 11 - Resultados obtidos para a Absorção Sonora da Sala 5O-215	63
Gráfico 12 - Resultados obtidos para o Tempo de Reverberação Sonora da Sala 5O-215 .	64
Gráfico 13 – Resultados obtidos para o Tempo de reverberação médio das salas de aula .	64
Gráfico 14 – Distribuição da Absorção Sonora entre os materiais da Sala 3Q-305.....	65
Gráfico 15 - Média Absorção Sonora Sala 3Q-306.....	66
Gráfico 16 - Média Absorção Sonora Sala 3Q-312.....	67
Gráfico 17 - Média Absorção Sonora Sala 5O-206.....	68
Gráfico 18 - Média Absorção Sonora Sala 5O-207.....	68
Gráfico 19 - Média Absorção Sonora Sala 5O-215.....	69
Gráfico 20 – Resultados obtidos para a iluminação natural da Sala 3Q-305.	72
Gráfico 21 - Resultados obtidos para a iluminação natural da Sala 3Q-306.....	75
Gráfico 22 - Resultados obtidos para a iluminação natural da Sala 3Q-312.....	78
Gráfico 23 - Resultados obtidos para a iluminação natural da Sala 5O-206.....	83
Gráfico 24 - Resultados obtidos para a iluminação natural da Sala 5O-207.....	86
Gráfico 25 - Resultados obtidos para a iluminação natural da Sala 5O-215.....	90
Gráfico 26 – Resultados obtidos para a Iluminação Artificial da Sala 3Q-305	92
Gráfico 27 - Resultados obtidos para a Iluminação Artificial Sala 3Q-306.....	94
Gráfico 28 – Resultados obtidos para a Iluminação Artificial Sala 3Q-312	96
Gráfico 29 - Resultados obtidos para a Iluminação Artificial Sala 5O-206.....	98
Gráfico 30 - Resultados obtidos para a Iluminação Artificial Sala 5O-207.....	100

Gráfico 31 - Resultados obtidos para a Iluminação Artificial Sala 5O-215	102
--	-----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2 OBJETIVO GERAL	2
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.4 JUSTIFICATIVA	2
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	7
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1 ACÚSTICA E REVERBERAÇÃO	8
2.1.1 <i>Parâmetros dos Materiais</i>	9
2.1.2 <i>Parâmetros de Projetos</i>	10
2.1.3 <i>Parâmetros Físicos e Normativos</i>	15
2.2 CONFORTO LUMÍNICO	23
2.2.1 <i>Eficiência Energética</i>	24
2.2.2 <i>Eficiência Luminosa</i>	25
2.2.3 <i>Fluxo Luminoso</i>	30
2.2.4 <i>Determinação dos níveis de iluminância (E)</i>	31
2.2.5 <i>Níveis mínimos de iluminância</i>	32
3. PLANEJAMENTO E METODOLOGIA	34
3.1 PLANEJAMENTO E LEVANTAMENTO DE DADOS	34
3.2 LEVANTAMENTO DO CONFORTO ACÚSTICO	38
3.3 CÁLCULO CONFORTO LUMINOSO	40
3.4 LEVANTAMENTO ILUMINAÇÃO NATURAL	42
3.5 LEVANTAMENTO ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
4.1 ANÁLISE DA ABSORÇÃO SONORA E DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO	47
4.1.1 <i>Avaliação da Absorção Sonora Média das Salas de Aula</i>	65
4.2 ANÁLISE DA ILUMINÂNCIA NATURAL	69
4.3 ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	90
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	104
6. REFERÊNCIAS	108
7. APÊNDICES	114

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A educação tem sido um fator determinante para o desenvolvimento de um país e consequentemente de toda a humanidade. Num momento em que o país passa pelo sentimento fervoroso de ter organizado uma copa do mundo, observa-se problemas em áreas estratégicas como infraestrutura, saúde e educação.

Em se tratando de educação, percebe-se que a mesma não depende apenas de professores qualificados, alunos nas escolas e índice de analfabetismo em decrescimento, 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 contribuindo, por conseguinte para o desenvolvimento de um país.

As universidades possuem um papel muito importante neste desenvolvimento, visto que, futuros cientistas, mestres e doutores estão em contato direto com profissionais que orientam e repassam conhecimento de forma a estimular os acadêmicos a evoluírem ainda mais em seus conhecimentos. Por estas e outras razões, a universidade deve oferecer uma infraestrutura adequada para todos aqueles que usufruem da mesma.

De 1500 a 1800 a elite brasileira buscou formação nas instituições de ensino europeias. Foi somente a partir do início do século XIX que surgiram as primeiras universidades no Brasil com o retorno da elite (*STALLIVIERI, 2007*).

As universidades ao longo dos anos têm se modernizado e se estruturado de forma a permitir que mais alunos tenham acesso as mesmas e possam desenvolver profissionalmente e academicamente. A disseminação do conhecimento possibilita o aprimoramento das atividades realizadas por cada indivíduo (*PORTO, 2011*).

No âmbito regional a Universidade Federal de Uberlândia (UFU) tem construído ao longo dos últimos anos novos edifícios de salas de aula para atender o crescimento da instituição. Estes edifícios têm sido pensados por arquitetos e engenheiros e, devido a limitação de tempo para projetar e de ferramentas para análises adequadas, poucos estudos foram realizados para determinar se as características aplicadas destes prédios atendem as necessidades de alunos, professores e profissionais que atuam nestes espaços físicos.

A UFU tem uma importância regional muito grande, sendo considerada como a maior universidade da região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. Seu processo de expansão deve ser devidamente pensado e seus projetos construtivos devem ser bem planejados. Para tanto é necessário que estudos sejam desenvolvidos para confirmar se o que foi projetado tem atendido satisfatoriamente aos seus usuários. E, em caso negativo, rediscutir os projetos para readequá-los as necessidades impostas com o menor custo possível ao erário público.

1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho acústico e lumínico de algumas salas de aula dos prédios didáticos 3Q e 5O do Campus Santa Mônica da UFU contribuindo para a elaboração de novos projetos de salas de aula da UFU.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo geral do trabalho foram delineados os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar teoricamente o conforto acústico de seis salas de aula quanto ao tempo de reverberação e absorção sonora;
- Medir *in loco* a iluminação natural e artificial das salas de aula;
- Comparar os resultados obtidos com os níveis de conforto acústico apresentados pelas normas ANSI S12.60, ABNT NBR 12179:1992 e lumínico apresentado pela norma ABNT NBR 5413:1992.

1.4 JUSTIFICATIVA

O desempenho acústico e lumínico é de grande importância para qualquer ambiente, seja residencial, comercial, industrial e educacional. No âmbito educacional as análises destes parâmetros permitem que o desenvolvimento estudantil e de futuros intelectuais não sejam prejudicados por fatores externos. Uma unidade acadêmica bem preparada e adequada para atender as necessidades de seus usuários é cada vez mais relevante para o desenvolvimento dos mesmos.

Com a implementação do REUNI – Restruturação e Expansão das Universidades Federais no Brasil a partir de 2007, as Instituições de Ensino Superior (IFE) têm tido dificuldades para executar as análises de conforto nos diversos projetos executados neste período. Segundo dados do Censo da Educação Superior¹ 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 IFE's 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. A falta de investimento em infraestrutura e entendimento das necessidades do usuário final tem contribuído para a proliferação de ambientes com desempenho abaixo do esperado.

O ponto de partida para este estudo é compreender se as salas de aula propiciam a seus usuários condições adequadas para o desenvolvimento de suas atividades. Essa harmonia no ambiente construído pode ser alcançada por meio do conforto ambiental (CORBELL e YANNAS, 2003).

Observa-se que 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. A partir de 1985 a Sociedade Brasileira de Acústica passou a fazer parte do International Institute of Noise Control Engineering (I-Ince), o qual foi criado em 1974. Em dezembro de 1999 o comitê internacional habilitado a investigar questões acústicas em escolas, I-Ince, aprovou em assembleia geral uma iniciativa técnica intitulada de Noise and Reverberation Control for Schoolrooms. O comitê é responsável por realizar estudos para balizar os critérios e as condições mínimas aceitáveis para eficiência acústica nas edificações escolares. Os estudos realizados por este comitê têm abrangência internacional e são considerados diferentes aspectos como, clima, cultura, nacionalidade e tipologia

Santos e Slama (1993) em seu trabalho avaliaram unidades de ensino da cidade do Rio de Janeiro, quanto a ruídos advindos interna e externamente. Neste trabalho ficou constatado que a maioria dos prédios escolares eram muito antigos e que não haviam sido projetados para serem escolas. Somado aos problemas de acústica existentes desde a construção deste prédio estavam problemas como a disposição das salas de aula. Algumas salas estavam voltadas para o

¹ Fonte: Associação Nacional dos Dirigentes das Instituições Federais de Ensino Superior – ANDIFES – Censo do Ensino Superior. Disponível em http://www.andifes.org.br/wp-content/files_flutter/1379600228mercadante.pdf - Acessado em julho de 2014.

arruamento e outras voltadas para o pátio das escolas em que certos momentos 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 quanto externas quando somadas a falta de preparação do ambiente estava causando problemas de ensino aos alunos e problemas de saúde aos professores que necessitavam de maior esforço vocal para serem entendidos dentro de suas salas de aula.

Hodgson *et al.* (1999) realizaram medições de acústica em 30 salas desocupadas na University British Columbia (UBC). Inicialmente foram feitos testes prévios em 46 salas desocupadas e em 10 salas ocupadas por estudantes. 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.

Por sua vez, a preocupação com a qualidade ambiental nas edificações escolares deve ser uma prática comum, visto que as crianças, jovens e adultos gastam mais tempo nos ambientes escolares do que em sua própria edificação residencial.

Sendo assim uma das funções principais dos espaços construídos é atender ao bem estar do ser humano, de modo que ele possa realizar suas atividades com conforto em todos os seus aspectos sensoriais. Segundo Labaki (2001), a melhoria das condições luminosas no ambiente construído deveria ser uma preocupação constante nestes locais, tanto por parte de projetistas quanto por parte dos usuários das edificações.

Seep *et al.* (2002) desenvolveram um estudo de caso em uma sala de aula construída a alguns anos no espaço físico em estudo, que era alvo de reclamações dos professores com relação às condições acústicas. A sala apresentava altos níveis de ruídos e baixa inteligibilidade da fala. A ideia do trabalho era recomendar melhorias para as condições acústica desta sala, que possuía nível de reverberação em frequências médias de aproximadamente 1,5 segundos e também um alto nível de ruído. 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 0,5 segundos.

Em Turim, na Itália, Astolfi *et al.* (2003) desenvolveram um trabalho em dezesseis escolas de ensino fundamental e em quatro universidades, no qual as intenções eram investigar o conforto acústico com medições e análises subjetivas. Concluíram que os ruídos excessivos no ambiente e a reverberação nas salas de aula interferiam na comunicação da fala e reduziavam a capacidade de aprendizagem dos alunos, causando fadiga nos professores devido ao esforço vocal.

Zannin *et al.* (2003) afirmam que por anos eram apenas necessários os conhecimentos adquiridos com a experiência profissional para resolver problemas acústicos que ocorriam nas edificações, mas com o crescimento e desenvolvimento constante das cidades e o rápido aumento do número de veículos automotores o número de reclamações por parte da população com relação ao ruído gerado nas cidades de médio e grande porte teve um aumento gradativo.

Segundo Loro (2003), há décadas a necessidade de boa acústica para salas de aula é assunto de interesse dos primeiros profissionais a possuírem contato com o projeto da sala de aula como arquitetos e engenheiros até os profissionais usuários finais como fonoaudiólogos e pedagogos. Em muitos dos casos o aspecto acústico é abordado de maneira simplista ou até mesmo negligenciado. Geralmente, o que acaba sendo muito considerado pelos projetistas são os aspectos funcionais (manutenção), estéticos (espaços físicos) e principalmente custos.

Com um bom planejamento arquitetônico, obtém-se um desempenho de ambiente satisfatório, mesmo que as adversidades climáticas possam influenciar nas condições térmicas, na qualidade acústica e também nas condições ideais de iluminação, sendo natural ou artificial. Trabalhos como o de Losso (2003), exemplificam diversos estudos que comprovam a importância de aspectos acústicos para propiciar um melhor aproveitamento acadêmico dos estudantes.

Eniz e Garavelli (2005) realizaram uma investigação sobre condições acústicas em escolas no Distrito Federal, no qual foram avaliados tempo de reverberação e ruído de fundo das salas. Os resultados mostraram uma situação crítica devido maior parte das escolas estarem situadas em locais com alto volume de ruídos aéreos. Apenas uma escola apresentou resultados compatíveis com as normas.

Para Batista *apud* Ferreira (2006), os arquitetos deveriam iniciar os projetos arquitetônicos, nas suas várias etapas, com a acústica das salas de aula em mente, o que no futuro acarretaria em diminuição dos problemas. O mesmo autor ressalta que poucos projetistas percebem a importância deste problema em escolas, hospitais e edifícios.

Segundo Ferreira (2006), o tema acústica de salas de aula tem sido analisado e discutido na última década 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 – Cancun, 2002; Euronoise – Nápoles, 2003; International Conference on Acoustics – ICA – Japão, 2004; Internoise – Rio de Janeiro, 2005;

Nos últimos anos aconteceram eventos no Brasil e no exterior, com o intuito de discutir os problemas de acústica, dentre eles destacam-se: Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica – Sobrac – Belém, 2012; Internoise – Innsbruck, 2013). Nota-se que o tema tem ganhado relevância não só no exterior, mas também no Brasil.

Internacionalmente, também encontra-se trabalhos como o de Theodosiou e Ordoumpozanis (2008) que realizaram um estudo em escolas maternas e de ensino fundamental da Grécia. Eles avaliaram o conforto, a eficiência energética e a qualidade interna do ar, através de medições, consumo de energia e questionários. Neste estudo, os autores afirmam que o maior problema encontrado no ambiente estudantil eram as esquadrias, pois tratavam-se de componentes com elevada transmitância térmica, apresentando locais de grande perda de calor devido ao emprego de vidros simples sem a devida vedação.

Outro estudo no âmbito internacional é o de Li e Tsang (2008) no qual estes destacam a importância da iluminação natural, particularmente em ambientes escolares, já que ela é considerada a melhor fonte de luz para proporcionar uma boa interpretação das cores. Sua qualidade está diretamente ligada a seu ajuste à resposta visual humana. Pois a iluminação é o fator que mais auxilia na realização das atividades estudantis.

No trabalho desenvolvido por Correa (2001) foi realizado uma análise comparativa de ambientes visuais de duas salas de aulas com novos sistemas de iluminação. Estas salas foram escolhidas como modelo de teste para otimização do sistema de iluminação das salas de aula do Centro Tecnológico da UFSC. As duas salas possuem janelas horizontais com elemento de controle de iluminação fixo e externo. A metodologia desenvolvida comparou os dados medidos antes e depois da implementação dos novos sistemas de iluminação, além de avaliar as condições lumínicas para as tarefas visuais de leitura no quadro “negro” e escritura nas mesas. Critérios qualitativos como equilíbrio de luminâncias, ofuscamento e visibilidade constituíram a base para a análise do campo visual das principais atividades visuais das salas de aula. Concluiu-se que o novo método utilizado, não alterou os resultados obtidos como era

esperado. Os novos métodos adotados ficaram próximos dos antigos, demonstrando a necessidade de constante desenvolvimento de novas formas de se aproveitar melhor a iluminação nos ambientes.

Alguns estudiosos têm se dedicado a avaliar a inteligibilidade das palavras na sala de aula. A eficiência lumínica das salas de aula e se o aluno possui uma boa visão dentro do ambiente de ensino, pois, no ambiente escolar quanto maior a dificuldade de entendimento do aluno, maior será a sua dificuldade de aprendizado e posteriormente de desenvolvimento das atividades aprendidas dentro da sala. Todos estes estudos desenvolvidos nos âmbitos nacional e internacional serviram de motivação para o desenvolvimento desta pesquisa na UFU. Esperava-se contribuir para o desenvolvimento dos novos ambientes escolares desta universidade no que tange ao conforto acústico e de iluminação.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Para facilitar o entendimento do trabalho e a clareza nas informações, este foi organizado em capítulos. No Capítulo 02 é apresentado o estado da arte sobre acústica e iluminação, além dos conceitos necessários para desenvolvimento da pesquisa.

No Capítulo 03 são apresentados o planejamento e a metodologia utilizada para a determinação da qualidade acústica por meio do cálculo do coeficiente de reverberação e da absorção das salas de aulas estudadas, e para as análises da iluminação natural e artificial dos ambientes.

No Capítulo 04 são apresentados os resultados e discussões do trabalho, a avaliação técnica realizada nos ambientes e dos parâmetros abordados no trabalho. Assim, buscou-se comparar os resultados obtidos em loco com as recomendações normativas.

Por fim, no Capítulo 05 são apresentadas as considerações finais do trabalho e as perspectivas para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ACÚSTICA E REVERBERAÇÃO

Mesmo que arquitetos e engenheiros não se atentem para os cuidados a serem tomados em nível de projeto ou de execução, o conforto acústico é sempre almejado e necessário para qualquer tipo de edificação. Embora a exigência não seja explícita pelo usuário final, ele pressupõe o ambiente atende a tais requisitos.

O desconforto acústico é um problema que surge quando o nível de ruído existente ao redor do usuário o atrapalha na execução de algumas 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 da qualidade do ambiente construído.

Os problemas causados pelo desconforto acústico podem levar as pessoas a desgastes físicos e psicológicos causados por uma grande exposição a ruídos excessivos ao ser humano. 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 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.

Uma solução para o conforto acústico pode ser obtida por meio do isolamento do ambiente em relação ao seu entorno, como por exemplo através da escolha adequada dos materiais para as superfícies ou do tratamento das mesmas visando absorver o som que ali mesmo é produzido. Seja qual for a solução adotada, o conhecimento detalhado das propriedades acústicas dos materiais é de suma importância para se alcançar um ambiente acusticamente confortável.

2.1.1 Parâmetros dos Materiais

Nos ambientes construídos, a minimização do som transmitido pelas superfícies é obtida através da reflexão e da absorção. Os materiais que são absorvedores e aplicados às superfícies minimizam o som refletido por meio do princípio da dissipação (MAGALHÃES, 2013).

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 porosidade.

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.

Segundo Edan (2000), nos materiais porosos quanto maior sua espessura maior será essa capacidade de absorção em baixa frequência e melhor será a sua capacidade de absorção. Sendo que para estes materiais o coeficiente de absorção cresce em percentagem decimal de 0,0 (sem energia sonora absorvida) a 1,0 (absorção perfeita), à medida que se aumenta a frequência sonora.

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. Os parâmetros que definem o conforto acústico 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.

Os efeitos de ruídos excessivos em um ambiente somados a reverberação nas salas de aula podem interferir no reconhecimento da fala e tendem a degradar o processo de aprendizado dos alunos.

2.1.2 Parâmetros de Projetos

Em um estudo de conforto acústico o primeiro dado importante a ser considerado é a finalidade do local a ser estudado. Inicialmente deve-se fixar o nível médio de ruído aceitável para o ambiente, adotando todas as precauções para que os ecos e ressonâncias impróprias sejam posteriormente eliminadas e o tempo de reverberação resultante seja adequado as frequências analisadas. A evolução nos últimos anos da construção civil, a qual pode ser percebida nas novas tecnologias e materiais, o aprimoramento das teorias de cálculo e redução nas dimensões dos elementos estruturais e de vedação, entre outros, teve como consequência o deterioramento do ambiente acústico das salas de aula. Nas décadas passadas, as salas de aula eram mais silenciosas e agradáveis, pois utilizava-se a ventilação natural, devido ao ruído de fundo ser menor e ao baixo número de fontes geradoras de ruídos externos. Cenário diferente se comparado aos dias atuais no qual, a necessidade em reduzir custo das edificações e com o grande aumento do ruído de tráfego, as salas de aulas têm apresentado um nível de ruído e de reverberância maiores.

Segundo Egan, (2000), os três problemas comuns na arquitetura acústica, de um ambiente são:

- 1) Proteger o usuário em espaços externos ou internos quanto aos ruídos do ambiente.
- 2) Controlar o som alto em espaços fechados.
- 3) Reduzir a transmissão sonora entre os cômodos (ou de fora para dentro ou vice-versa).

Segundo Ferreira (2006), o grupo ANSI (American National Standards Institute) S12 W/G 42 da Sociedade Americana de acústica realizou um levantamento sobre o aumento do ruído em salas de aula. No qual estes listaram, alguns aspectos observados no levantamento:

- 1) O sistema de condicionamento de ar é projetado e adaptado para muitas salas antigas o que têm elevado o ruído de fundo ideal para ambientes de aprendizagem;
- 2) O tempo de reverberação deve ser reduzido adotando-se materiais absorventes nas paredes e no teto;
- 3) O ruído urbano cresce de acordo com o crescimento das cidades, e a tecnologia de fabricação de portas e janelas para isolamento dos ruídos externos não evoluíram na mesma proporção;

- 4) Devidos às mudanças sociais e familiares os comportamentos dos estudantes não têm sido o mesmo de décadas anteriores.

Segundo Ferreira (2006), no estudo desenvolvido por 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.

Para Egan, (2000), são parâmetros importantes em uma avaliação de um ambiente escolar:

- 1) Dimensionamento do volume cúbico do ambiente;
- 2) Analisar as condições do tempo de reverberação;
- 3) Pela análise do diagrama de raios, mostrar como o som é distribuído por reflexos de superfícies no teto e nas paredes do ambiente. Após a análise, sugere-se recomendações de melhorias;
- 4) Verificar o tempo de decaimento inicial da emissão sonora pelo diagrama de raios através da sua distribuição e reflexão no teto e nas paredes do ambiente.

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.

Segundo Loro (2003), as unidades educacionais em um ou dois pavimentos são menos expostas a ruídos difundidos pela vizinhança. Por outro lado, as unidades verticais inseridas em locais

de edificações mais baixas, ficam mais sujeitas aos ruídos distantes. Ou seja, as salas de aulas localizadas nos andares superiores estarão mais propícias à ação do ruído em seu entorno. Estes ruídos repassados aos edifícios escolares que são construídos próximos a vias de tráfego de veículos ou de qualquer outro local onde o ruído é bem definido, o mais indicado é colocá-los de forma paralela ou perpendicular à via onde o ruído está presente.

Segundo Frangos (2003), espessuras diferentes de paredes do tipo gesso acartonado, podem isolar diferentes frequências de som. Para ele quanto maior a espessura de uma parede maior será a sua capacidade de absorver o som, entretanto, maior será o custo destas paredes. Outra forma encontrada para reduzir os ruídos é a utilização de lã de vidro ou fibra mineral na cavidade formada entre as camadas da parede. A melhor solução obviamente depende de uma análise de custo-benefício que varia para cada caso.

Este autor também ressalta que se deve tomar o cuidado para não colocar portas de salas voltadas diretamente uma para a outra em lados opostos de um corredor. O espaçamento das portas ao longo da circulação cria um caminho longo, menos direto para que o ruído passe de um ambiente ao outro.

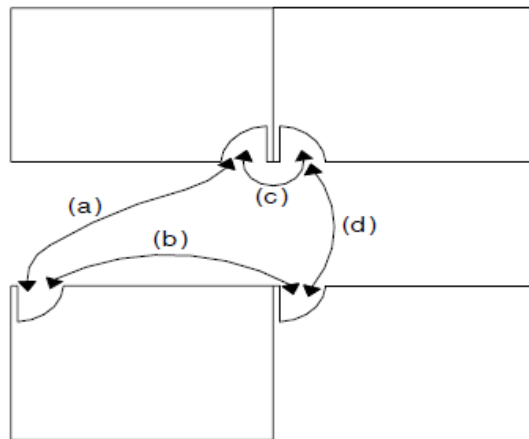
A posição das portas deve ser levada em consideração visto que a absorção sonora do ar é baixa quando comparada com outros materiais. Quanto maior a distância entre as salas maior será a contribuição do ar para o conforto acústico. O mesmo vale para a área interna das salas de aulas, no qual quanto maior volume da sala maior será o efeito do ar. Para salas menores o efeito do ar é praticamente desprezível. Sendo que para os diferentes tamanhos de sala o ar quase não absorve em baixas frequências, sendo apenas de interesse prático a absorção para frequências acima de 1000Hz.

Na

Figura 1 é mostrado arranjos de portas adequadas e não adequadas em ambientes escolares. Nota-se que os arranjos ilustrados na

Figura 1-a e na Figura 1-b são adequadas devido a proliferação do som necessitar de percorrer uma maior distância para se propagar de uma sala a outra, ao contrário dos arranjos mostrados na Figura 1-c e na Figura 1-d, em que as distâncias entre as portas das salas são menores.

Figura 1 - Layout de portas em salas de aula adequadas e não adequadas acusticamente



Para Magnani *et al.* (2010), uma forma de auxiliar na acústica do ambiente é através da utilização das barreiras acústicas. Estas podem ser definidas como dispositivos com massa e altura mínimas necessárias, instaladas entre fontes ou fontes de som e receptor, de forma a produzir uma redução do nível de pressão sonora. Se uma onda sonora encontra um obstáculo em seu caminho de propagação, sempre que as dimensões deste forem compatíveis ao comprimento da onda incidente, ocorrerá uma difração. Atrás da barreira é formada uma região denominada zona de sombra acústica, ou seja, ausência de propagação sonora atrás do obstáculo. A zona de sombra acústica é maior para barreiras altas e para altas frequências. Portanto, a atenuação obtida depende da altura e da posição da barreira e do comprimento da onda acústica. Por outro lado, barreiras de dimensões pequenas, a região de sombra pode desaparecer totalmente.

Além das propriedades físicas dos materiais e alguns dos parâmetros de projeto que auxiliam na análise da acústica do ambiente a ser estudado é necessário conhecer os parâmetros físicos e os limites normativos a serem alcançados pelos ambientes.

2.1.3 Parâmetros Físicos e Normativos

Primeiramente é necessário entender a distinção existente entre som e ruído. Som é definido como as vibrações de ar audíveis e ruído é o som que incomoda ou perturba, ou seja, é o tipo de som não desejável. O parâmetro acústico medido, mais comum, é a pressão sonora, uma vez que ela é a grandeza considerada pelo nosso sistema de audição.

Segundo Gerges (1995), o ruído é causado pelas vibrações das moléculas do meio com velocidade “u” dada em m/s, através de compressões e rarefações, gerando uma variação de pressão total. Esta pressão total é a chamada Pressão Sonora “p”, dada em Pascal. O número de ciclos por segundo destas vibrações das moléculas é chamado “Frequência” medida em Hz. As ondas acústicas propagam-se com velocidade chamada de velocidade de som “c”. Sendo que no ar, a velocidade de som é dada pela Equação 1.

$$c \approx 331 + 0,6t$$

Equação 1

sendo:

- c: velocidade do som em m/s;
- t: temperatura em °C, (para 20°C temos c=343m/s).

Outra importante propriedade das fontes de ruído é a chamada Potência Sonora “W”, dada em Watts. A Potência Sonora depende apenas da própria fonte, ou sejam não depende do ambiente ou distância de medição.

Outro parâmetro importante é o coeficiente de absorção dos materiais. Sabe-se que o coeficiente de absorção sonora do ar, varia de acordo com a umidade relativa, sendo menor em umidades relativamente elevadas, isso explica porque se ouve ruídos mais distantes em dias chuvosos. A onda sonora ao atravessar o ar provoca uma agitação nas partículas atmosféricas, que leva a dissipação de energia em forma de calor. Portanto quanto mais agitadas estiverem as moléculas, maior será a dissipação e maior será a perda de energia sonora.

A distância atingida pelo som ao ar livre depende, entre outras razões, do sentido do vento que atua sobre a onda sonora. Caso o movimento do ar esteja no mesmo sentido que a onda sonora, a distância percorrida por esta e sua velocidade serão maiores. Se a fonte estiver próxima ao solo, o vento provoca uma intensificação, do som junto a superfície terrestre, através das inúmeras reflexões entre o solo e as camadas superiores do ar, que apresentam maiores velocidades do vento. Porém, quando o vento está na direção contrária ao fluxo sonoro, o mesmo dificulta a propagação do som a grandes distâncias, produzindo uma região de sombra acústica.

A temperatura é outro parâmetro que influencia na propagação do som. Quando a temperatura do ar diminui juntamente com a altura da fonte e densidade do ar, a velocidade do som é menor nas camadas atmosféricas mais inferiores, consequentemente a onda sonora possui uma menor

velocidade nas camadas mais altas da atmosfera e maiores velocidades nas camadas mais baixas. Nesta situação ocorre uma zona de sombra acústica junto ao solo.

Por outro lado, quando a temperatura do ar é maior em altitude, a onda sonora sofre reflexões sucessivas entre o solo e as camadas superiores do ar, e o som percorre grandes distâncias. Esta condição do ar ocorre geralmente a noite quando a terra perde calor por radiação.

Quando combina-se estes dois fatores vento e temperatura, à medida que a temperatura aumenta, a velocidade do vento também aumenta, e a combinação de seus gradientes determina efeitos diversos sobre uma fonte sonora.

Se o gradiente de temperatura é negativo e as ondas sonoras se propagam no mesmo sentido do deslocamento do vento, as ações do vento e da temperatura tendem a se anular nas camadas superiores e somar-se nas camadas inferiores do ar. Enquanto que, para as ondas sonoras no sentido contrário ao vento, as ações somam-se nas camadas superiores e anulam-se nas camadas inferiores.

Para Rolla e Gerges (1993), dos vários processos de absorção existentes, o ressonador de Helmholtz é um dos indicados para absorção em baixas frequências. O ressonador de Helmholtz consiste de um espaço físico com um volume V , comunicando-se com o meio externo através de uma pequena abertura de área S e comprimento E . O mecanismo de absorção pode ser explicado considerando o ressonador como uma fonte com um certo grau de liberdade acústica, no qual suas ondas sonoras se propagam dentro do espaço, sendo que estas se dissipam através da abertura. O ar seria a barreira isolante e o responsável por dissipar a energia sonora de dentro do ambiente.

No trabalho desenvolvido por Rolla e Gerges (1993), os autores estudaram a eficiência na absorção de ruído de baixa frequência de blocos de cimento com cavidade quando transformados em ressonadores de Helmholtz. Eles também determinaram os coeficientes de absorção sonora de blocos nacionais e dos ressonadores em câmara reverberante, obtendo resultados que passavam de 23 a 80% da absorção quando a frequência era de 250Hz. Isso aconteceu para os blocos transformados em ressonadores.

Outro conceito relevante é o de tempo de reverberação. Para Kuttruff *apud* Ferreira (2006), o tempo de reverberação é definido como sendo o intervalo de tempo, em segundos, que o nível de pressão sonora em um ambiente, leva para decair 60 decibéis (dB) a partir do instante em que é interrompida a fonte geradora.

Em um ambiente as ondas sonoras propagam-se em todas as direções a partir da fonte, em um espaço fechado existirá ondas sonoras diretas e refletidas em direção ao receptor. A onda direta

é a que chega sempre em primeiro lugar e com maior nível de pressão sonora, devido à distância percorrida ser menor, criando o mínimo de atenuação. Logo após a onda direta são recebidas as várias ondas sonoras reflexivas nos vários planos existentes em uma sala.

O professor de física de Harvard, 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 2.

$$TR = 0,161 \times \frac{V}{A} \text{ (s)} \quad \text{Equação 2}$$

sendo:

- TR = tempo de reverberação do recinto (s);
- V = volume do ambiente (m³);
- A = área de absorção (m²).

No qual a área de absorção pode ser calculada também por:

$$A = \sum \alpha \times S \quad \text{Equação 3}$$

onde:

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

O coeficiente de absorção sonora “ α ” é um parâmetro de difícil medição principalmente porque o mesmo depende da maneira na qual o material é instalado, do ângulo de incidência sonora no caso de amostras pequenas, das características do ambiente, entre outros. Vários métodos foram desenvolvidos para a determinação do coeficiente de absorção, sendo os mais empregados: o método da câmara reverberante e o método de tubo de onda estacionária. Estes métodos possuem normas internacionais que os descrevem tais como a ISO 10534-2:1998.

Para Rolla (1995), o método de câmara reverberante é o mais utilizado, embora seja o mais caro. Este depende de laboratórios e equipamentos adequados. O método economicamente mais acessível seria o de tubo de onda estacionária. Para um projetista, ainda assim, o tubo de onda estacionário ou um tubo de impedância, como também é conhecido é relativamente caro.

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 4.

$$A = A_a + A_b + A_e + A_p + A_l \text{ (m}^2\text{)} \quad \text{Equação 4}$$

A definição dos elementos envolvidos na determinação da área de absorção sonora equivalente para o método teórico indireto, que além dos elementos construtivos da sala de aula, também são consideradas as áreas de absorção sonora dos elementos relativos à funcionalidade do ambiente (mesas, cadeiras, pranchetas, pessoas, etc.), bem como a atenuação sonora do ar, a atenuação sonora equivalente total é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Áreas de Absorção sonora equivalente dos elementos adicionais de funcionalidade do ambiente

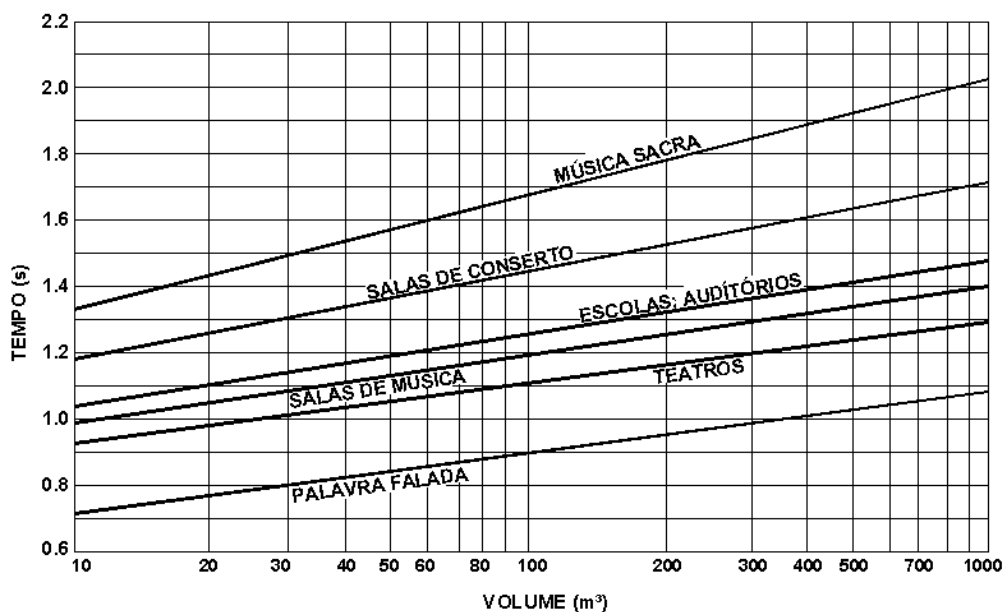
A	Absorção equivalente da sala	m ²
A _b	Absorção equivalente das paredes	m ²
A _e	Absorção equivalente dos objetos	m ²
A _p	Absorção equivalente às pessoas na sala	m ²
A _l	Absorção equivalente do ar no ambiente	m ²
F	Frequência	m ²

FONTE: Hohmann *et al.* (2004)

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 Brasil, para tempos de reverberação são utilizados os valores de tempos ótimos especificados pela ABNT NBR-12179:1992. Na Figura 2 são ilustrados os tempos de reverberação demonstrados na norma brasileira para uma frequência de 500Hz, em diferentes ambientes e volumes dos espaços físicos em que se propagam.

Figura 2 - Tempo de Reverberação a uma frequência de 500Hz



FONTE: ABNT NBR 12179:1992

Para um ambiente escolar, quanto menor o tempo de reverberação melhor se tornaria o local, mas esta afirmativa não é necessariamente verdade visto que, os seres humanos são capazes de diferenciar os sons refletidos dos sons diretos, isso ocorrerá sempre que os sons refletidos forem recebidos após 80ms em relação ao som direto. Desta forma compreende-se que tempos inferiores ao dito não provocam qualquer tipo de perturbação ao ouvinte, podendo então neste caso ser as ondas refletidas uma forma de potencializar o nível de pressão sonora do orador. Outro fator que deve ser analisado em tempos de reverberação muito próximos de zero, é que estes podem criar espaços considerados muito “secos”, ou seja, espaços desconfortáveis a audição e consequentemente estes viriam a causar sonolência nos ouvintes. Por isso, aconselha-se que em ambientes escolares sejam utilizados tempos de reverberação não muito próximos a zero, para que este efeito não ocorra visto que em salas de aula é necessário que os alunos possuam o maior entendimento e atenção para o aprendizado.

Desta forma salas de aula que são consideradas bastante inteligíveis podem vir a se tornar em uma verdadeira sala de repouso com condições elevadas para tal feito. Por este motivo, valores um pouco mais elevados podem ser utilizados nas salas de aula para que as mesmas não se tornem ambiente monótonos. Sugere-se que o valor seja de até mais 0,2 s no Tempo de Reverberação (TR), do ambiente (SILVA, 2013).

Este pequeno acréscimo no tempo de reverberação provoca uma leve redução da inteligibilidade, ou seja, uma diminuição na capacidade de se expressar por parte dos docentes

e de entender por parte dos discentes. Por outro lado, isto gera benefícios no sentido de redução da sonolência causada pelo ambiente.

Portanto uma forma de auxiliar os docentes em suas oratórias nas salas de aula de ensino é projetá-las para um tempo de reverberação médio máximo de 0,7s e para locais onde possuam pessoas com dificuldades auditivas deve-se manter os valores entre 0,3 ou 0,4s.

Segundo Roman *apud* Ferreira (2006), a ANSI (American National Standards Institute), aprovou em junho de 2003 o padrão de referência de critérios de desempenho e exigências do projeto acústico para escolas. Orientações, critérios e exigências foram formatadas para se conseguir um elevado grau de inteligibilidade nos espaços destinados ao aprendizado. A norma DIN 18041 – Schallschutz in Schulen (Controle de Ruído em Escolas) recomenda que salas de aula com boas condições acústicas devem ter de 4 a 5m³ por aluno. No Brasil, a ABNT NBR 10152:1987 estipula os níveis de pressão sonora para conforto acústico no ambiente construído. Nas salas de aula, o nível sonoro equivalente para ambientes desocupados deve estar entre 40 e 50 dB(A), sendo que o valor inferior desta faixa representa o nível sonoro para conforto acústico, enquanto o valor superior representa o nível sonoro aceitável para a finalidade daquele ambiente.

No trabalho desenvolvido por Rolla e Barbosa (1993), foi analisado o bloco de Maternal da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), quanto ao nível de pressão sonora, tempo de reverberação e inteligibilidade. Como resultados obtidos notou-se que os tempos de reverberação foram muito superiores ao estipulado como tempo ótimo para o ambiente. Como solução foi dada a alternativa de introduzir mais materiais absorventes dentro do espaço físico para adequar o mesmo para o tempo de reverberação ideal.

No ano de 2000 foi publicado um documento pela comissão técnica de acústica arquitetônica da Acoustical Society of America elaborado por Seep *et al.* (2002). Nele foram apresentadas recomendações para a construção de escolas com aspectos acústicos adequados. Neste documento o tempo de reverberação a ser utilizado em salas de aula deveria ser da ordem de 0,4 a 0,6s independente do volume da sala.

Em 2002 foi publicado uma nova norma nos Estados Unidos da América, referenciada por ANSI S12.60, sendo esta a primeira norma mundial referente as condições acústicas de salas de aula. A grande maioria dos profissionais se baseia nela, pois são indicados os valores limites para ruídos de fundo, tempo de reverberação e o valor limite aceitável de transmissão sonora entre espaços adjacentes. Nesta norma o tempo de reverberação é a média aritmética dos tempos

de reverberação das frequências de 500, 1000 e 2000Hz. No Quadro 1 são exemplificados os limites legislativos e normas de alguns países.

Quadro 1 - Resumo de limites legislativos e normas de vários países

País / Fonte	Gama de frequências em Análise	Tempo de reverberação, TR em (s)
Alemanha / DIN 18041	250 a 2k Hz (4 bandas)	$\leq 0,32 \times \log V - 0,17$ Exemplo: $\leq 0,6$ se $V=200\text{m}^3$
Brasil / ABNT NBR 12179:1992	500Hz	$0,7 \leq TR \leq 1,1$ se $10 \leq V \leq 1000\text{m}^3$ Exemplo: $\leq 0,9$ se $V=100\text{m}^3$
Espanha / DB-HR	500 a 2k Hz (3 bandas)	$\leq 0,5$
EUA / ANSI/ASA S12.60-2010	500 a 2k Hz (3 bandas)	$\leq 0,6$ se $V < 283 \text{ m}^3$ $\leq 0,7$ se $283 \leq V \leq 566 \text{ m}^3$
França / Decreto de 25/04/2003	500 a 2k Hz (3 bandas)	$0,4 \leq TR \leq 0,8$ se $V \leq 250 \text{ m}^3$ $0,6 \leq TR \leq 1,2$ se $V > 250 \text{ m}^3$
Noruega / NS 8175	125 a 2k Hz (5 bandas)	$\leq 0,2 \times$ altura média da sala Exemplo: $\leq 0,6$ se altura=2,8 m
Portugal / RRAE	500 a 2k Hz (3 bandas)	$\leq 0,15 \times V^{1/3}$ Exemplo: $\leq 0,9$ se $V=200 \text{ m}^3$
Reino Unido / BB 93	500 a 2k Hz (3 bandas)	$\leq 0,6$ para ensino primário $\leq 0,8$ para ensino secundário
Suécia / SS 25268	250 a 4k Hz (5 bandas)	$\leq 0,5$ para ensino primário $\leq 0,6$ para ensino secundário
Suíça / SAI 181	250 a 2k Hz (4 bandas)	$\leq 0,32 \times \log V - 0,17$ Exemplo: $\leq 0,6$ se $V=200\text{m}^3$

No ano de 2010 a norma americana ANSI S12.60 foi atualizada. Na parte um em que referenciava as condições acústicas necessárias em salas de aula, foi indicado que para locais com volumes inferiores a 283m^3 , o tempo de reverberação deverá ser inferior a 0,6s, para volumes compreendidos entre 283 e 566 m^3 , os tempos de reverberação deverão ser inferiores a 0,7s e para volumes superiores a 566m^3 a norma não apresenta nenhum valor.

O conforto acústico nos ambientes escolares ainda é um assunto que gera muitas discussões e muitos estudos. Com a evolução tecnológica, tanto de hardwares quanto de softwares, muitas ferramentas computacionais estarão à disposição de projetistas para auxiliar na análise acústica dos ambientes a um custo relativamente baixo. Isto possibilitará a elaboração de edificações adequadas para o desenvolvimento educacional e a redução do esforço físico realizado por muitos professores no exercício de sua profissão.

No próximo tópico deste capítulo será abordado outro tema que causa sérios problemas na capacidade de alunos e professores executarem as suas atividades no ambiente escolar. A iluminação tem sido alvo de estudos a muitos anos e sua utilização de forma correta pode auxiliar consideravelmente no desenvolvimento das atividades escolares e no nível de concentração por parte dos discentes.

2.2 CONFORTO LUMÍNICO

A determinação das características de iluminação de um ambiente pode ser feita por meio do nível de luminância, do fluxo luminoso necessário, da eficiência energética, do tipo de atividades desenvolvidas no ambiente e outros. Segundo Caram *et al.* (1995), à região do visível está associada a intensidade de luz branca transmitida, o que influencia diretamente no grau de iluminação de um ambiente.

No trabalho de Da Graça *et al.* (2001) foi analisado a utilização de alguns métodos de avaliação de iluminação natural, quais sejam: método de fluxo dividido, modelos em escala reduzida, área relativa das janelas e avaliação pós-ocupação. Verificaram a viabilidade de utilização destes métodos para qualificar e avaliar os projetos arquitetônicos de escolas de ensino fundamental e médio do estado de São Paulo. Abordaram os métodos utilizando um quadro comparativo dos principais métodos de avaliação o que possibilitou o entendimento dos parâmetros necessários para aplicação de cada modelo, bem como a pertinência destes parâmetros na fase de anteprojeto. Os autores concluíram que era necessário desenvolver um método simplificado de avaliação para a iluminação natural das salas de aula, considerando-se especificamente os dados existentes na fase de anteprojeto.

Entretanto, não é só na fase de anteprojeto que deve ser levado em consideração a análise da iluminação do ambiente. A iluminação do ambiente deve ser levada em consideração na fase projetual, no processo construtivo e também na pós ocupação do ambiente.

No caso das escolas em que a leitura é a atividade predominante nas salas de aula, o ambiente deve proporcionar conforto lumínico adequado, o qual é avaliado por meio de alguns parâmetros. Logo, torna-se necessário elucidar alguns conceitos para a compreensão da metodologia empregada e dos resultados obtidos.

2.2.1 Eficiência Energética

Atualmente, a otimização do consumo de energia é um dos grandes desafios enfrentados pela sociedade, pois causará futuramente grandes impactos ambientais para as gerações futuras devido à crescente escassez dos recursos naturais. Em países emergentes como o Brasil, o desperdício de energia pode representar sérios inconvenientes devido aos recursos financeiros limitados.

A função da iluminação é tornar o ambiente visível e adequado, permitindo a execução de tarefas necessárias com conforto visual. Projetos que não aproveitam toda a potencialidade da iluminação natural para atingir o conforto lumínico dos ambientes internos exigem o uso de iluminação artificial e consequentemente o consumo de energia.

Quando se trata de poder público, recursos que poderiam ser investidos em áreas de extrema necessidade para a população, tais como educação e saúde, acabam sendo desviados para a geração de energia. As altas contas dos setores públicos com energia elétrica, acrescidos pelo alto valor de manutenção causado pela troca constante de lâmpadas, tem consumido cada vez mais o escasso orçamento anual de alguns setores públicos. Na educação por exemplo isto tem impedido a reposição de lâmpadas de algumas instituições de ensino assim como a manutenção da pintura das salas de aulas, o que posteriormente tem reduzido o desempenho dos discentes devido aos inadequados níveis de iluminação.

É fato que as salas de aula funcionam majoritariamente durante o dia, portanto, a valorização da luz natural resultaria em melhores condições ambientais, além de favorecer uma economia de energia, devido a não utilização de luz artificial. Por esses e outros motivos a condição de trabalho em edifícios educacionais tem se apresentado como insatisfatórias.

O melhor aproveitamento da iluminação solar é alcançado com a otimização da interação da luz solar direta com o projeto da edificação. Ao invés do projetista simplesmente rejeitar esta forma de iluminação do ambiente, o mesmo opta por um ambiente interno mais confortável e produtivo, e ao mesmo tempo pela economia de energia.

Quando a luz solar é levada em conta não se trata apenas de um estilo arquitetônico para os dias atuais, mas também um resultado final duradouro, capaz de ampliar princípios básicos da consciência e eficiência energética do ambiente. A luz solar auxilia o ser humano nas necessidades psico fisiológicas e ao mesmo tempo auxilia na produção de um ambiente confortável e produtivo, ambientando o local de uma forma mais prazerosa, cheio de cores, volume e contraste.

Se forem considerados precedentes históricos, nas civilizações antigas, o uso consciente da luz solar foi mais amplamente relacionado com a arquitetura religiosa, ampliando e iluminando os templos sagrados. Exemplos que vão desde os egípcios até as igrejas católicas podem ser observados em toda a história global.

Um dos problemas encontrados na utilização da luz solar é que esta luz é melhor aproveitada nas fachadas dos edifícios. Isto faz com que locais próximos a sua entrada fiquem muito bem iluminados e espaços mais afastados fiquem em extremo breu. Portanto, uma forma de se reduzir este reflexo é através da distribuição de iluminação natural nos ambientes centrais da edificação, aproveitando melhor a sua eficiência luminosa.

A luz solar realiza a sua distribuição em um ambiente por diversas formas, a mesma pode ser manipulada por reflexão, transmissão, refração, polarização, absorção e difusão, sendo que de acordo com cada ambiente cada uma destas formas pode responder de forma diferente.

Mas, não é só a luz solar que auxilia em uma eficiência energética predial, a iluminação artificial também é uma grande responsável por auxiliar neste conforto. Segundo Vianna e Gonçalves (2001), as lâmpadas se diferenciam entre si não só pelos diferentes fluxos luminosos que elas irradiam, mas também pelas diferentes potências que consomem. Para compará-las é necessário conhecer quantos lúmens são gerados por watt absorvido. A essa grandeza dá-se o nome de Eficiência sem prévio aviso (antigo “Rendimento Luminoso”).

2.2.2 Eficiência Luminosa

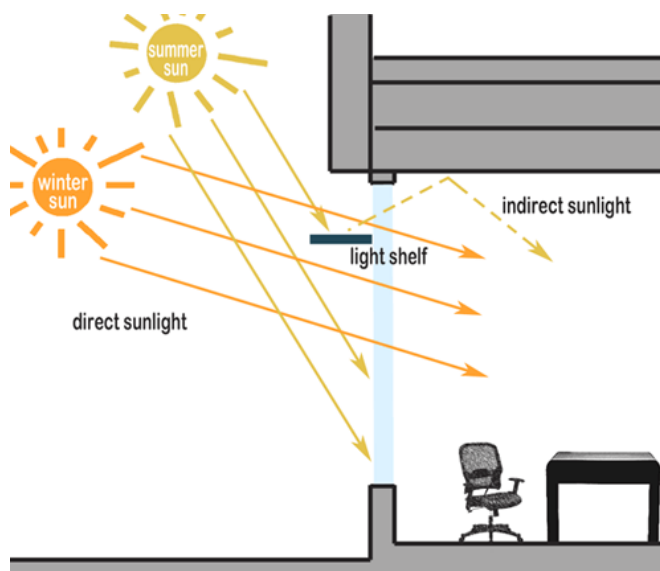
Segundo Magalhães (1995), a luz visível é uma radiação eletromagnética, com velocidade de 300.000km/s, de frequências altas e de ondas curtas.

Pereira e Souza (2001) afirmam que uma fonte de luz ideal seria aquela que converteria toda sua potência de entrada (W) em luz (lm). Infelizmente, qualquer fonte de luz converte parte da potência em radiação infravermelho ou ultravioleta. A habilidade da fonte de converter potência em luz é chamada de eficiência luminosa.

Segundo Caram *et al.* (1995), o infravermelho interfere diretamente nas condições internas de conforto ambiental através do ganho de calor. A elaboração projetual inadequada impacta negativamente nas condições internas do ambiente construído, e por conseguinte no conforto dos usuários finais.

Segundo Magalhães (1997), uma das formas utilizadas para se obter uma melhor distribuição da luz solar são as *light-shelves*, que promovem um sombreamento sem perturbar a visão do exterior, também oferecendo uma distribuição da luz solar com um mínimo de ofuscamento. Figura 3. Sua presença reduz a iluminação próxima à janela e redistribuem a luz para os locais mais ao fundo do ambiente.

Figura 3 - Funcionamento dos Light Shelves



Fonte: <http://vincesarmy.blogspot.com.br/2014/11/daniels-review-light-shelves-unite-and.html>

As salas de aula normalmente são construções em que algumas de suas aberturas geralmente são direcionadas para corredores voltados para áreas externas abertas para a iluminação externa. Estas salas recebem luz de janelas baixas dispostas nestes corredores, este lado da sala é considerado como a fachada que não é diretamente ensolarada o que reduz o aproveitamento da iluminação externa.

Para melhor aproveitamento da iluminação natural geralmente, as salas de aula são projetadas com janelas altas nas fachadas que são diretamente ensolaradas, onde poderiam ser instalados os *light-shelves*. Este, rebaixado, permite que a luz direta incidente seja refletida pelo teto e promova uma melhor distribuição da iluminação interna. O efeito dos *light-shelves* também

pode ser utilizado sobre a janela baixa auxiliando na redução do ofuscamento que ocorre na sua proximidade.

No âmbito da UFU foi desenvolvido um trabalho por Silva *et al.* (2003) cujo objetivo era desenvolver geometrias otimizadas “light-shelves” para sistemas de iluminação natural para as salas de aula dos campus universitários aproveitando melhor a luz solar. A ideia do trabalho era controlar efetivamente a fonte de luz, de forma a oferecer apenas a quantidade e distribuição necessárias ao ambiente, e ainda eliminar o ofuscamento e o super aquecimento do ambiente. A conclusão que os pesquisadores chegaram é que os elementos de controle efetivamente distribuem a luz de forma mais uniforme e equilibra a penetração de luz e calor no ambiente, possibilitando inclusive que sistemas com abertura zenital (aberturas que permitem a entrada de iluminação de cima para baixo) pudessem ser utilizados em locais de baixa latitude, ou seja, locais quentes e com altos índices de luminosidade externa, como o caso de Uberlândia.

Outra forma de controlar a luminosidade num ambiente é por meio da instalação de brises na fachada. Segundo Silva (2011), o *brise* surgiu no momento em que foi preciso introduzir elementos que protegessem as aberturas da radiação solar, porém estes elementos deveriam ser aceitos com a introdução de princípios modernos de modulação, padronização e industrialização. Além de compor esteticamente os edifícios com os conceitos abstratos e funcionalidades do modernismo.

Composto por lâminas paralelas, horizontais, verticais ou combinados, o *brise* pode ser fabricado de diferentes materiais e tem como função o controle da radiação solar excessiva, interferindo também na luminosidade e na visão para o exterior (SILVA, 2011). Pois, devido a localização do país no hemisfério sul, as fachadas voltadas para o norte são aquelas que mais necessitam de cuidados, pois são as mais expostas à radiação solar. Assim como as fachadas leste e oeste, que recebem radiação solar nos períodos da manhã e a tarde com inclinações variáveis e as fachadas sul que na maior parte do país não são atingidas ou recebem radiação com pequeno ângulo de inclinação.

O problema encontrado nas escolas segundo Bertolotti e Moura (2007) é que as janelas das escolas públicas normalmente não possuem um controle da radiação solar direta, ou então utilizam protetores mal dimensionados e obstrutivos que reduzem a luz natural, fazendo com que a iluminação elétrica permaneça acesa por mais tempo que o necessário. Para melhorar a distribuição da luz natural, os autores sugerem a utilização das aberturas zenitais contendo dispositivos com seleção angular e difusores opacos que promovem um adequado controle da radiação solar direta, evitando problemas com ofuscamento e aquecimento das salas de aula em

climas quentes, ao mesmo tempo que permitem um melhor aproveitamento da iluminação natural, tanto difusa quanto direta refletida. O resultado final é maior conforto visual e economia de energia.

O ofuscamento é um dos problemas que podem ser causados no interior de ambientes por falta de eficiência luminosa. De acordo com a ABNT NBR 5461:1991, ofuscamento pode ser definido como: “Condição de visão na qual há desconforto ou redução da capacidade de distinguir detalhes ou objetos, devidos a uma distribuição desfavorável das luminâncias, ou a contraste excessivo”. Segundo Silva e Giralt (1995), no primeiro caso, traduz a falta de harmonia entre a sensibilidade de partes da retina submetidas simultaneamente a iluminamentos diferentes. Já o segundo, resulta do tempo necessário à própria adaptação. O olho humano é capaz de ajustar-se a luminância média do campo de visão e sob grandes contrastes as áreas menos luminosas não são visíveis (subexposição) e as áreas que estão excessivamente brilhantes causam desconforto (superexposição).

A luminância natural é uma medida do fluxo fotométrico por unidade de área, consistindo numa grandeza física que fornece informações sobre o fluxo de energia eletromagnética na faixa espectral do visível. Contudo, o olho humano não é igualmente sensível a todos os comprimentos de onda da radiação visível, de maneira que essa sensibilidade é levada em conta na curva de resposta de um medidor de luminância. Desta forma, a luminância, medida em Lux (lúmens por m²), representa a curva de resposta do olho humano à radiação solar incidente. (SANTOS *apud* SILVA, 2011).

Mesmo que o local esteja sem contraste o ofuscamento pode ocorrer sempre que a luminância média do campo de visão estiver em excesso de cerca de 25.000 cd/m². Embora este fenômeno seja considerado como um fenômeno subjetivo, o ofuscamento é classificado como direto, por reflexão, de desconforto e perturbador ou impotência.

Segundo a ABNT NBR 5461:1991, o ofuscamento é considerado direto quando o mesmo é causado por objetos auto luminosos, que estão situados no campo visual, particularmente por aqueles situados próximos ao eixo de visão.

Já quando o ofuscamento é por reflexão a ABNT NBR 5461:1991, trata o mesmo como sendo causado quando as imagens refletidas aparecem na mesma direção ou em uma direção próxima a do objeto observado.

Para esta norma o ofuscamento de desconforto é aquele que causa um desconforto visual, mas sem necessariamente enfraquecer a visão dos objetos.

Para Silva e Giralt (1995), quando o ofuscamento é de desconforto, o mesmo é irritante, mas necessariamente não prejudica o desempenho visual do usuário. Frequentemente é atribuído à

tendência da vista de fixar-se sobre os pontos mais brilhantes do campo de visão e deste modo aparenta fototropismo, ou seja, atração que as plantas possuem pela luz. O grau de desconforto causado por este tipo de ofuscamento varia dependendo da luminância e do tamanho da fonte, do ângulo entre a fonte e a linha de vista do observador, da luminância de fundo e do nível de adaptação da vista do observador.

Para a ABNT 5461:1991, o ofuscamento perturbador é aquele que enfraquece a visão dos objetos, porém não necessariamente causa desconforto visual.

Segundo Tavares (2000), o ofuscamento perturbador ou de *impotência*, prejudica o desempenho da tarefa visual e pode ter três causas diferentes. A primeira é a difusão da luz nas lentes do olho produzindo uma “venda” de luminância na retina. A segunda seria o tempo insuficiente para a vista se adaptar à nova iluminância excessivamente diferente e por último seriam os fantasmas criados, no qual, neste fenômeno os processos fotoquímicos essenciais à nossa visão sofrem temporariamente distúrbios, devido ao olho se tornar muito carregado com a luz. Por este motivo o cérebro torna-se confuso e as pessoas continuam a ver uma sucessão de imagens do brilho do objeto ou reflexão alternativamente positiva e negativa de energia irregular e de diminuição de frequência. Com isto a visão completa é frequentemente restabelecida em 5 ou 10 minutos após o evento.

Ambos os trabalhos, Silva *et al.* (2003) e Bertolotti e Moura (2007), buscaram solucionar os problemas da falta de eficiência e do ofuscamento. Por essas e outras razões, o conforto lumínico tem uma importante influência sobre os alunos em uma sala de aula, chegando até a reduzir o rendimento escolar.

Segundo Durante *et al.* (2007), para um controle da iluminância excessiva responsável pelo ofuscamento ocorrido dentro das edificações pode-se utilizar elementos de controle externos ou internos. Estas barreiras para a luz também auxiliam no bloqueio do calor incidente pela abertura, conforme sua posição e características dos materiais. Um exemplo destas proteções são os brises. Quando utilizados criteriosamente, contribuem de maneira acentuada na redução da incidência de luz direta no ambiente e na proteção contra os ganhos térmicos advindos da radiação solar, permitem uma ventilação natural e podem ser empregados como um elemento visual diferenciado, constituindo-se no próprio caráter arquitetônico da edificação.

A ABNT NBR 5413:1992² determina o nível de iluminamento de acordo com a utilização do ambiente. Os valores variam com a idade média dos ocupantes e com a duração do trabalho.

² Os edifícios avaliados neste trabalho foram construídos há mais de 10 anos enquanto vigorava a ABNT NBR 5413:1992. Assim, optou-se por utilizá-la como referência normativa embora ela tenha sido cancelada em 2013.

Vale ressaltar que os olhos não são capazes de distinguir níveis de iluminamento, mas luminâncias. Por exemplo, um papel branco possui maior luminância do que as letras escuras nele impressas, embora ambos estejam sob o mesmo nível de iluminamento.

Para Moreira (1987), a diferença de luminâncias ou das refletâncias espectrais existente entre o papel branco e as letras escuras que permite a visão das letras por meio de contraste. Este fenômeno da visão é melhor avaliado se estudado sob a forma de luminâncias, pois, a visão humana apresenta o fenômeno da constância de brilho, de modo a identificar as mesmas relações de luminâncias sob diferentes iluminâncias. Os valores absolutos das luminâncias são, no entanto, uma ideia da iluminância na superfície, uma vez que a primeira grandeza depende da segunda. Mas, na prática, ainda é preferido ao conceito de nível de iluminamento, isso porque sua medida é mais fácil e segura do que a mensuração de luminâncias. Para medir a luminância são necessários equipamentos mais caros e complexos, chamados de luminancímetros.

É sempre a função a que se destina o local que determinará quais os fatores mais importantes a serem considerados no momento de se projetar a iluminação. Por isto a iluminação inadequada das salas de aula poderia ser evitada, caso muitos dos projetistas e executores realizassem uma avaliação preliminar do desempenho lumínico dos espaços a serem construídos.

2.2.3 Fluxo Luminoso

Segundo Vianna e Gonçalves (2001), o fluxo luminoso pode ser definido como a radiação total da fonte luminosa, entre os limites de comprimento de onda (380 e 780 nm). O fluxo luminoso é a quantidade de luz emitida por uma fonte, medida em lúmens, na tensão nominal de funcionamento.

Para Da Luz (2014), é a potência total emitida por uma fonte de luz ou a potência de energia luminosa de uma fonte que o olho humano é capaz de perceber. O lúmen pode ser definido como o fluxo luminoso emitido segundo um ângulo sólido de um esterradiano, por uma fonte puntiforme de intensidade invariável em todas as direções e seu valor é igual a 1 candela. Cada lâmpada ou fonte luminosa possui seu tipo e potência, apresentando desta forma diferentes fluxos luminosos.

Segundo Costa (2000), a força geradora do fluxo luminoso é a intensidade luminosa que, é um vetor luminoso emitido por uma fonte. Sendo o módulo deste vetor o seu valor em candelas;

sua direção é medida dentro de uma esfera, segundo uma direção na qual a fonte luminosa estaria no centro; e por fim, o sentido é do centro para o extremo da esfera.

2.2.4 Determinação dos níveis de iluminância (E)

O olho humano possui uma capacidade muito grande de adaptação às condições de iluminação existente. Isso pode ser notado verificando-se a percepção humana frente a condições tão extremas de luz, como o sol direto e à noite.

“Em algumas tarefas, o modo como o olho nos indica se o nível de iluminação está ou não adequado é exatamente através da nossa reação fisiológica, ou seja, o maior ou menor esforço que se fazemos para ver, e consequentemente, o maior ou menor cansaço que sentimos” (VIANNA e GONÇALVES, 2001).

Os níveis de iluminância “E” são determinados empiricamente através de testes que relacionam o desempenho da tarefa visual com suas variações. Entre 1927 e 1932, estudos realizados, chamados de Hawthorne mostraram que a intensidade visual está diretamente relacionada ao nível de iluminação e que ela é determinada principalmente pela relação de luminância entre as tarefas e o seu entorno (FGV, 2014).

Logicamente, há a necessidade de considerar o problema econômico que envolve o aumento do nível de iluminância. A decisão deve ser tomada levando em consideração o máximo de intensidade visual que será conseguida, sem, contudo, que os níveis de iluminância sejam demasiadamente elevados. O desempenho na realização de uma tarefa obviamente se relaciona com a intensidade visual, mas também com a complexidade e a dificuldade da própria tarefa em si, da capacidade e experiência que o próprio indivíduo tem em realizá-la. Abaixo estão listados alguns fatores que segundo Rondon (2007), devem ser levados em consideração para determinação do nível de iluminação para atividades visuais:

- a) O tamanho dos detalhes críticos dessas tarefas;
- b) A distância que esses detalhes são vistos;
- c) A luminância das tarefas (função do fator de reflexão);
- d) Os contrastes entre tarefas/entornos;
- e) A velocidade com que essas tarefas devem ser desenvolvidas;
- f) O grau de precisão exigida na sua realização;

g) Idade de quem realiza.

A determinação das características de um ambiente não é feita somente por meio do nível de iluminância necessário, mas por uma série de outros fatores. Muitas vezes, o nível de iluminância pode não ser tão importante frente as características que desejamos empregar ao ambiente, o uso das cores, o jogo entre luz e sombra etc. A função do local que determinará quais os fatores merecem maior preocupação. Sabe-se, que as necessidades encontradas numa igreja, por exemplo, são diferentes das encontradas em restaurantes, cinemas e habitações, pois há diferenciação entre cada caso.

Segundo Rondon (2007), o critério mais utilizado para se determinar os níveis de iluminação convenientes para cada tarefa é o de maior eficiência. Num primeiro momento, a eficiência foi sinônimo de produtividade. Ainda hoje ela é de certa forma entendida assim: maior rapidez no trabalho, menor cansaço e eliminação de erros cometidos.

2.2.5 Níveis mínimos de iluminância

A ideia de quanto maior a eficiência lumínica maior a produtividade foi decrescendo a partir do momento em que no Brasil a ABNT NBR 5413:1992 entrou em vigor em abril de 1992. O objetivo desta norma era estabelecer valores de iluminância média mínima para iluminação em interiores, onde se realizem atividades de comércio, indústria, ensino, esporte, entre outras. A norma estabelece como condições gerais:

- a) A iluminância deve ser medida no campo de trabalho. Quando este não for definido, entende-se o nível do referente a um plano horizontal a 0,75m do piso;
- b) No caso em que seja necessária uma elevada luminância em limitado campo de trabalho, pode-se usar iluminação suplementar;
- c) A iluminação no restante do ambiente não deve ser inferior a 1/10 do valor adotado para o campo de trabalho, mesmo que haja recomendação menor;
- d) Recomenda-se que a iluminância em qualquer ponto do campo de trabalho não seja inferior a 70% da luminância média determinada segundo a ABNT NBR 5382:1985.
- e) Para o estudo em questão a iluminância recomendada em salas de aula segundo a ABNT NBR 5413:1992 é de 300 lux.

Em 21/03/2013, a ABNT cancelou a norma ABNT NBR 5413:1992, substituindo a mesma pela norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013. Esta nova norma trata da iluminação de ambientes de trabalho (interior) e se tornou parâmetro para aplicação técnica em projetos e padrão de avaliação de iluminância nos ambientes ocupacionais.

A ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 considera que para ambientes em que haja aulas noturnas, classes e educação de adultos, a iluminância indicada é de 500lux. Um aumento no mínimo aceitável de 200lux se comparado a norma anterior.

No capítulo 3 serão apresentadas as metodologias utilizadas nas avaliações de conforto acústico e lumínico de salas de aula de 2 blocos didáticos, 3Q e 5O, do campus Santa Mônica da UFU.

3. PLANEJAMENTO E METODOLOGIA

3.1 PLANEJAMENTO E LEVANTAMENTO DE DADOS

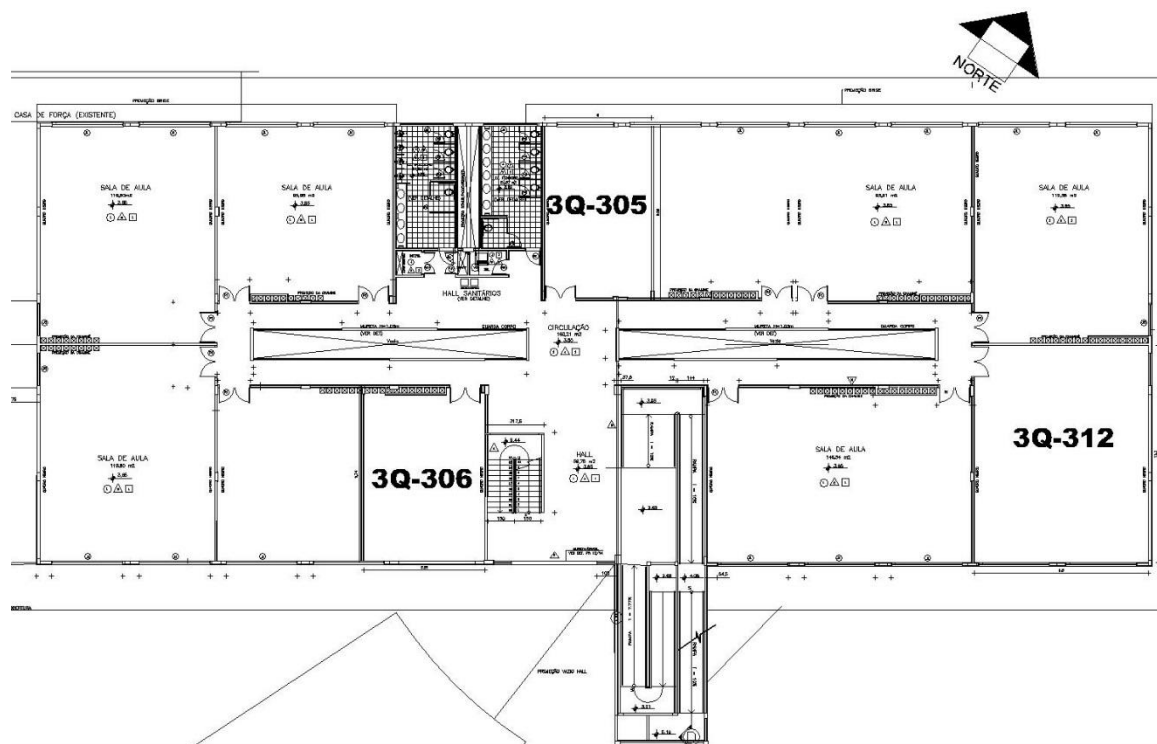
A pesquisa foi desenvolvida em dois edifícios do Campus Santa Mônica da UFU, na cidade de Uberlândia-MG. Os blocos escolhidos estão demarcados na Figura 4, sendo estes os blocos 3Q e 5O. Ambos são blocos já consolidados dentro do campus universitário. A escolha destes blocos foi motivada devido sua posição 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.

Além disto, estes blocos estão localizados nas proximidades da estação meteorológica da UFU, que leva a acreditar na confiabilidade dos dados que serão levantados nas medições de conforto lumínico.

O bloco 3Q (Figura 5) é constituído por três andares típicos, o andar escolhido para a realização das avaliações foi o seu terceiro andar, construído em uma segunda etapa de construção do bloco. As salas escolhidas para realização dos estudos foram as salas 3Q-305, 3Q-306 e 3Q-312. Ressalta-se que estas salas localizam-se em pontos que necessitam de maior isolamento acústico, o que justifica a escolha.

A primeira está localizada ao lado dos banheiros do andar e a segunda fica ao lado da entrada principal do andar. Ambos os locais podem emitir sons que podem posteriormente atrapalhar os alunos durante o aprendizado. Salienta-se que devido a necessidade de adequação da instituição, as salas 3Q-305 e 3Q-306 são resultado da subdivisão de salas maiores. Esta também é uma das razões que levou a escolha destas salas.

Figura 5 - Disposição das salas do Bloco 3Q



FONTE: Diretoria de Infraestrutura - UFU

Quanto a iluminação, as salas 3Q-305 e 3Q-306, possuem suas fachadas voltadas mais para noroeste e sudeste, respectivamente. Devido à alta incidência solar na cidade de Uberlândia, durante vários meses ao ano, a análise destas salas é conveniente para verificar se as mesmas estão aproveitando adequadamente a luz solar.

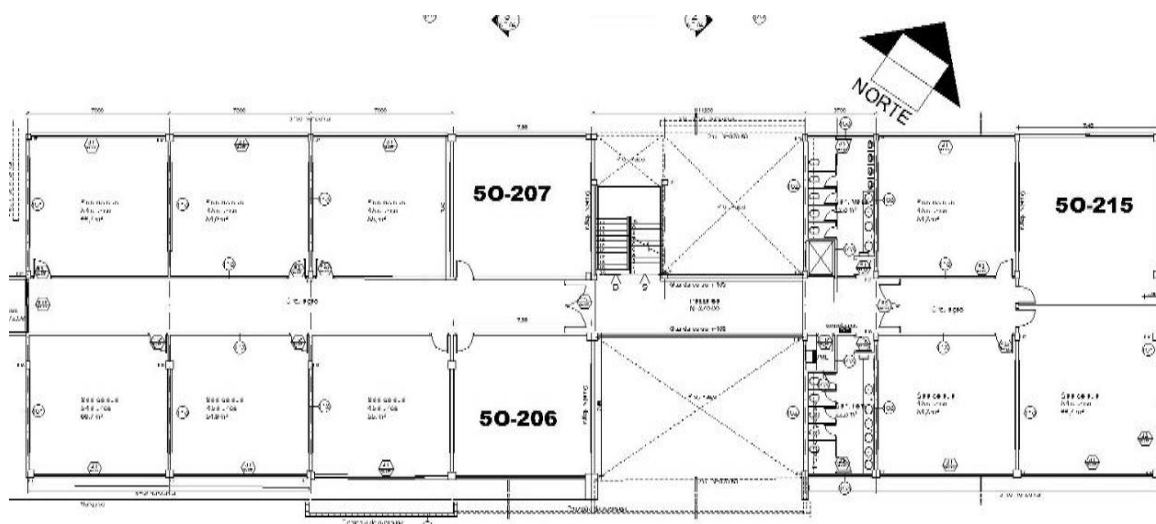
A sala 3Q-312 foi escolhida devido as suas características físicas de projeto não terem sofrido alterações significativas como nas outras duas salas. Sua localização mais afastada dos pontos considerados com um ruído mais elevado, como a entrada principal do bloco, sua avaliação permitirá verificar se acusticamente a sala com maiores dimensões neste bloco também estão adequadas acusticamente. Quanto a iluminação a motivação em avaliar esta sala, é que a mesma está voltada para a estação meteorológica da universidade, e a área principal das janelas está voltada para a face sudeste.

O segundo bloco escolhido foi o 5O, onde foram avaliadas as salas 5O-206, 5O-207 e 5O-215. Este bloco também possui três pavimentos tipos e um pavimento subsolo de anfiteatros. As salas escolhidas estão representadas na Figura 6. A primeira sala, 5O-206, está localizada ao lado do saguão de entrada do bloco e voltada para a rua de acesso principal do campus. A 5O-

207 está localizada ao lado das escadas de acesso dos andares do bloco, com uma das faces voltada para a área de estacionamento dos blocos próximos.

A outra sala escolhida foi a sala 5O-215, com sua face principal de janelas voltada para a estação meteorológica, e mais afastada acusticamente da principal área de ruídos do bloco. No campo lumínico, a sala 5O-206, permite avaliar o aproveitamento lumínico natural quando se possui árvores em frente à entrada principal de luz do ambiente. A sala 5O-207 possui a face de janelas mais voltadas para noroeste sem interferências na entrada de luz. E por fim a sala 5O-215 tem suas janelas mais voltadas para nordeste.

Figura 6 – Disposição das salas do Bloco 50



FONTE: Diretoria de Infraestrutura - UFU

Para a análise do conforto acústico foram previstas análises teóricas dos tempos de reverberação e da capacidade de absorção acústica dos ambientes estudados. Para realizar este estudo foi necessário conhecer todos os coeficientes de absorção dos materiais, realização de medição dos tamanhos das salas e dos materiais utilizados.

A avaliação do conforto lumínico exigiu que fossem realizadas medições *in loco* da luminância em diversos pontos das salas de aula. Estes dados eram necessários para a determinação da eficiência da iluminação natural e artificial das salas. Para as medições foi utilizado um luxímetro, e os dados obtidos foram posteriormente tratados por meio de programa computacional SURFER 11.0 utilizado para gerar os gráficos da iluminação.

Na próxima seção é abordado a metodologia utilizada para o desenvolvimento das avaliações das salas de aula.

3.2 LEVANTAMENTO DO CONFORTO ACÚSTICO

As salas serão avaliadas teoricamente em três frequências: 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz. As análises referem-se especificamente a absorção sonora e o tempo de reverberação de cada ambiente. Para alcançar estes resultados foi necessário levantar as características físicas do ambiente, área e tipo de material que compõe o piso, o teto e as paredes, bem como a área das aberturas. Para determinação destas áreas foi realizado medições in loco. Os coeficientes de absorção sonora utilizados neste trabalho foram obtidos por meio da ABNT NBR 12179:1992 e para os materiais que não constavam na mesma foram utilizados catálogos técnicos dos materiais encontrados na sala e que foram adquiridos pela universidade.

Para cada sala de aula foram realizadas medições quanto suas dimensões, materiais que compõem as mesmas, tamanho da área das janelas, área das portas, área de alvenaria com reboco liso, forro, utilização de gesso acartonado, área do piso. Todas estas variáveis são fatores necessários para o cálculo de reverberação do som, dentro de ambientes escolares.

O método utilizado no trabalho para análise da reverberação foi o método de Sabine. Para cada sala foram analisados o tempo de reverberação e a absorção para quatro condições:

- sala cheia com porta e janelas abertas;
- sala com 60% de sua capacidade e com porta e janelas abertas;
- sala cheia com porta e janelas abertas;
- sala com 60% de sua capacidade 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, que estipula um valor de referência para cada volume de sala de aula e uma média aritmética entre os valores obtidos por frequência. Os resultados obtidos para área de absorção sonora são dados pela soma dos valores de absorção obtidos para cada material na respectiva frequência e situação estudada.

Para a medição das áreas de cada espaço físico foi utilizado uma trena eletrônica com um alcance de até 50m para medição in loco. Este equipamento permitiu uma maior precisão nas medições realizadas e utilizadas no trabalho. A identificação dos materiais utilizados em cada sala foi por conferência dos mesmos in loco, e informações recolhidas nos projetos disponíveis no sítio de editais da universidade. Na Tabela 2 são apresentados os dados levantados quanto

as dimensões de cada sala pesquisada e na Tabela 3 são apresentados os coeficientes de absorção sonora utilizados e levantados para a realização deste estudo.

Tabela 2 - 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

Tabela 3 - Coeficientes de Absorção dos Materiais encontrados nas salas de aulas estudadas

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

3.3 CÁLCULO CONFORTO LUMINOSO

Para o cálculo de conforto lumínico foi abordado tanto a iluminação natural quanto a artificial. Para tanto, foram realizadas medições *in loco* da intensidade luminosa em diversos pontos dentro destas salas de aula. Novamente, a análise das salas 3Q-305 e 3Q-306 permitirá verificar se as mesmas atendem as exigências normativas mesmo após as mudanças na fase projetual. Para a avaliação das salas de aula foi considerado a norma ABNT NBR 5413:1992, pois os espaços físicos foram projetados conforme a norma que estava em vigor e não houve nas salas de aula uma adequação para atender a nova norma em vigência desde o ano de 2013.

Para os ensaios de conforto luminoso, foram realizados croquis das salas de aulas definindo os pontos de medição. O objetivo era verificar a iluminação da sala como um todo. Os croquis das salas são apresentados no desenvolvimento dos resultados e discussões no capítulo 4. Para a análise das salas foi utilizado um luxímetro da marca Minipa modelo MLM – 1020, com faixa de medição de 0 a 20000 lux. O equipamento também possui um data logger de 2044 registros para armazenamento de suas medições. Outra característica importante do equipamento é a possibilidade de medição utilizando programa computacional para armazenar e analisar as medições diretamente no computador. O procedimento adotado para medição foi, conforme orientação da ABNT NBR 15215-4:2005, item 6.1.4:

- Determinação do índice local (K);
- Disposição dos pontos de medição;
- Determinação da altura do plano de trabalho.

O índice local K determina a quantidade de pontos a serem utilizados para medir de forma homogênea a iluminância do ambiente e segundo a ABNT NBR 15215-4:2005 com erro inferior a 10%. A quantidade de pontos de medição é diretamente associada ao valor do índice local K conforme disposto no Quadro 2.

Quadro 2 – Relação entre o índice local K e a quantidade de pontos de medição

Fator K	Número de Pontos
$K < 1$	9
$1 \leq K < 2$	16
$2 \leq K < 3$	25
$K > 3$	36

FONTE: ABNT NBR 15215-4:2005

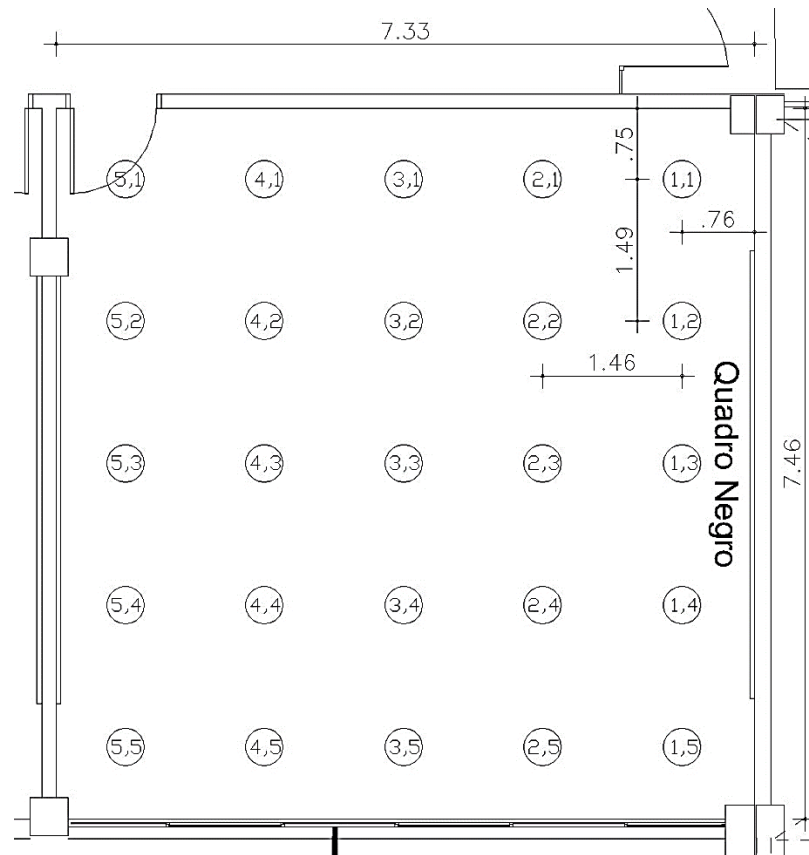
Para determinação do índice local (K), inicialmente é necessário determinar a altura entre o plano de trabalho e a parte inferior da verga da janela (H). Outras medidas necessárias são, o comprimento (C) e a largura (L) do ambiente. Estas medidas foram obtidas através de medição in loco utilizando-se de trena eletrônica com alcance de até 50m. Com estas informações calcula-se o valor de K por meio da Equação 5.

$$K = \frac{CxL}{Hx(C + L)} \quad \text{Equação 5}$$

Com o valor K obtido foi distribuído na sala os pontos a serem medidos como pode ser exemplificado na Figura 7, tomando-se o cuidado para que os pontos estejam distantes igualmente um do outro para que a medição seja mais adequada e não possua desvios e interferências quanto as paredes.

Para as medições de iluminação natural e artificial foram utilizados os mesmos pontos para medição homogênea do ambiente independente da iluminação do ambiente, como mostra a Figura 7.

Figura 7 - Exemplo de distribuição dos pontos de medição Iluminação Natural conforme ABNT NBR 15215-4:2005



3.4 LEVANTAMENTO ILUMINAÇÃO NATURAL

Para o estudo da iluminação natural o primeiro ponto a ser avaliado é a obtenção do dado que segundo a ABNT NBR 5461:1992, é chamado de Fator Luz do Dia (FLD), pois, este faz uma avaliação da disponibilidade de iluminação natural em um determinado ambiente. Para o estudo da iluminação natural as medições foram realizadas atendendo a necessidade de máximo de entrada de luz natural no ambiente, para isso todas as janelas estavam abertas e as luzes apagadas. O horário das medições ocorreu entre as 10h 00min e às 13h 30min. Horário considerado com maior incidência de raios solares nos ambientes.

Segundo Nabil e Mardaljevic (2005), há iluminância úteis da luz natural, no qual em seu trabalho são especificados máximos e mínimos de iluminância para que não ocorra situações em que, se a iluminância estiver abaixo de um valor mínimo, pode não contribuir de maneira útil para a percepção do ambiente visual ou para a realização das tarefas. Inversamente, se a iluminância é muito alta, acima de um máximo, pode produzir desconforto térmico ou visual.

Após a citada pesquisa, chegaram às seguintes conclusões:

- Iluminâncias da luz natural menores que 100 lx são geralmente consideradas insuficientes para serem a única fonte de iluminação ou para colaborarem significativamente com a iluminação artificial.
- Iluminâncias da luz natural no intervalo entre 100 e 500 lx são consideradas eficazes tanto como a única fonte de iluminação como em conjunção com a iluminação artificial.
- Iluminâncias da luz natural no intervalo entre 500 e 2000 lx são muitas vezes percebidas como desejáveis ou pelo menos toleráveis.
- Iluminâncias da luz natural maiores que 2000 lx são suscetíveis de produzir desconforto visual ou térmico.

Neste trabalho a avaliação da iluminação natural será segundo os parâmetros citados e também utilizando o Programa de Recuperação de Espaços didáticos (Pro-Ed), Universidade de São Paulo (USP), através de verificar o percentual do fator de luz do dia médio nas salas de aula. Para calcular este parâmetro é necessário obter primeiramente o fator luz do dia médio (FLDm). Este valor é dado pela média do fator luz do dia obtido por meio da Equação 6, este fator permite conhecer o potencial de aproveitamento de luz natural em seu interior para variadas épocas do ano e diferentes condições do céu. A iluminância média (E_m), é dada pela média dos pontos medidos no ambiente.

$$FLD = \frac{P}{E} \quad \text{Equação 6}$$

sendo:

- P a iluminância de cada ponto e,
- E a iluminância externa, adotada 65000lux.

Para estas medições foram utilizados os pontos exemplificados na Figura 7, para obter a quantidade de lux medida em cada ponto. Foi utilizado o luxímetro MLM, para medir cada ponto e realizar o levantamento e montar os gráficos lumínicos de cada sala. Com estes dados medidos foi confeccionado gráficos utilizando o software SURFER versão 11.6, para se obter os gráficos isométricos para cada sala.

Nos gráficos desenvolvidos é possível a visualização das curvas de iluminação do ambiente construído e verificar se a sala está sendo atendida de forma correta quanto a iluminação.

3.5 LEVANTAMENTO ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

Um estudo a ser feito para o ambiente estudantil após a análise das salas de aula quanto a iluminação natural é se com a utilização da luz artificial as salas de aula estariam adequadas para o estudo dos alunos que utilizam o ambiente no período noturno. Esta é uma preocupação importante visto que diferentemente dos alunos nos períodos diurnos e vespertinos que possuem o auxílio da luz natural caso haja falhas na iluminação artificial, estes alunos do período noturno não possuirão auxílio nenhum caso haja alguma falha.

O primeiro passo para realização da análise é entender como foram medidos e como foi realizado a análise dos dados obtidos. Para uma melhor compreensão e observação dos resultados foram utilizados os mesmos pontos de medição da iluminação natural como o exemplo usado na Figura 8, para medir a iluminação artificial nos locais estudados.

O equipamento utilizado foi o mesmo luxímetro utilizado para medir a iluminação natural, evitando divergências entre os resultados apresentados. A medição deve ser realizada com todas as janelas e portas fechadas, no caso dos brises também devem ser fechados para que não haja interferência da iluminação externa na medição. Estas medições deverão ocorrer no período noturno para que se obtenha os valores corretos para as medições.

A primeira sala analisada foi a 3Q-305, a seguir é apresentado o método de análise empregado também para as demais salas do estudo. O primeiro ponto a ser observado é quanto à fórmula utilizada para cálculo da iluminância média (Equação 7), dado pela ABNT NBR 5382:1985, item 4.1.5.

$$Em = \frac{MP + MT(n - 1) + MC(n - 1)(m - 1) + ML(m - 1)}{mn} \quad \text{Equação 7}$$

Sendo:

- n – número de luminárias
- m – número de linhas
- MC – média dos pontos C
- ML – média dos pontos L
- MT – média dos pontos T
- MP – média dos pontos P

Os pontos MC, ML, MT e MP são os pontos apresentados na Figura 8. Os pontos chamados de P, são os pontos que estão nos cantos diametralmente opostos no ambiente, com isto teria um balanço entre a luminosidade dos cantos da sala.

Os pontos demarcados como L, são os pontos que estão nas meias áreas paralelas a dois lados da sala para uma análise da iluminação do ambiente nestes locais. Os pontos demarcados como T são os pontos que estão nas meias áreas paralelas dos dois outros lados da sala para complementar a análise da iluminação ao redor da sala.

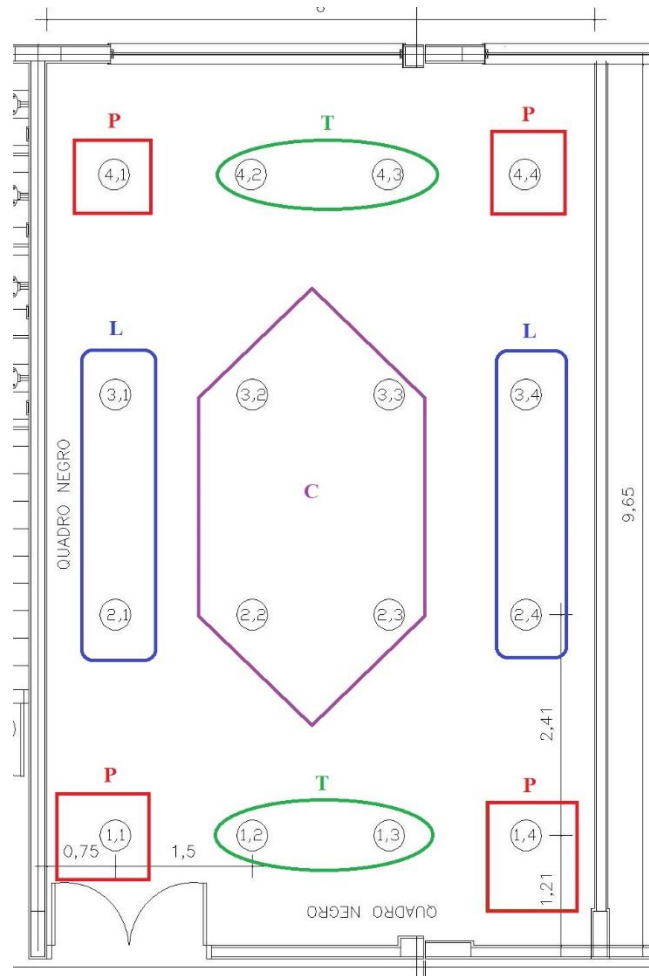
E por fim os pontos marcados como C são os pontos centrais da sala que estão sob maior influência das luminárias da sala de aula e que tendem a ser os locais mais bem iluminados no ambiente.

Portanto, todos os pontos demarcados nas salas são utilizados para verificar a distribuição da iluminação dentro do ambiente como mostrado na Figura 8.

Para a numeração dos pontos de medição da sala foi utilizada uma representação matricial (P_{ij}), sendo:

- i: posição do ponto horizontalmente e,
- j: posição do ponto verticalmente.

Figura 8 - Distribuição dos pontos Análise Iluminação Artificial



No Capítulo IV são apresentados os resultados obtidos nas análises de conforto acústico e lumínico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE DA ABSORÇÃO SONORA E DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Para o estudo da absorção sonora e do tempo de reverberação, a primeira análise a ser apresentada é a da sala 3Q-305, a qual está situada ao lado do banheiro feminino no terceiro andar do bloco 3Q. A sala fica de frente ao único acesso do andar, seja por meio da rampa ou das escadas. A mesma possui uma área de 59,22m². Na Tabela 4 e na

Tabela 5 são apresentados os resultados obtidos para a absorção sonora e o tempo de reverberação da sala 3Q-305, respectivamente. As planilhas com detalhamento dos cálculos de reverberação realizados para cada sala estão no Apêndice deste trabalho.

Por meio do Gráfico 1 é possível comparar mais facilmente a capacidade de absorção da sala para as três frequências consideradas na análise, 500, 1000 e 2000Hz. Nota-se que independente da frequência a capacidade de absorção sonora do ambiente é relativamente alta para a sala de aula com suas portas e janelas abertas. Para todas as frequências o maior responsável em aumentar a capacidade de absorção sonora foram alunos sentados em carteiras com pranchetas, seguidos pelo forro do teto da sala de aula. Isto ocorreu devido aos valores de coeficiente de absorção destes dois materiais serem os maiores dentro da sala e conseqüentemente pois estes possuem uma maior área e quantidade para auxiliar na redução de ruídos no interior. Além disto, o forro foi projetado com uma capacidade de absorção maior ao escolher um material mais poroso. Assim evita-se que os sons absorvidos sejam retransmitidos para o ambiente. Quando as portas e janelas estão fechadas, a absorção sonora é reduzida o que demonstra a importância de serem escolhidos materiais adequados para paredes ou pisos que auxiliem o forro na absorção acústica da sala.

Tabela 4 – Resultados obtidos para Absorção Sonora da Sala 3Q-305

Tipo de Análise	Absorção ($S_i \cdot \alpha_i$) por frequência (m²)		
	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Portas e janelas fechadas, sala cheia	41,681	58,217	68,908
Portas e janelas abertas, sala cheia	51,292	68,522	79,210
Portas e janelas fechadas, sala 60%	32,335	42,677	52,512
Portas e janelas abertas, sala 60%	42,472	53,402	63,550

Tabela 5 – Resultados obtidos para o tempo de Reverberação Sonora da Sala 3Q-305

Tipo de Análise	Tempo de Reverberação por frequência (s)		
	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Portas e janelas fechadas, sala cheia	0,718	0,514	0,434
Portas e janelas abertas, sala cheia	0,584	0,437	0,378
Portas e janelas fechadas, sala 60%	0,926	0,702	0,570
Portas e janelas abertas, sala 60%	0,705	0,561	0,471
Média	0,733	0,553	0,463
Média Total	0,583		

Estes altos valores de absorção por parte dos materiais, refletiram positivamente no tempo de reverberação sonora como é observado no Gráfico 2. Segundo a norma ANSI S12.60, para um local com volume inferior a 283m³, que é o caso desta sala que possui um volume de 186m³, o tempo de reverberação deve ser inferior ou igual a 0,6 s.

Gráfico 1 - Resultados obtidos para a Absorção Sonora da Sala 3Q-305

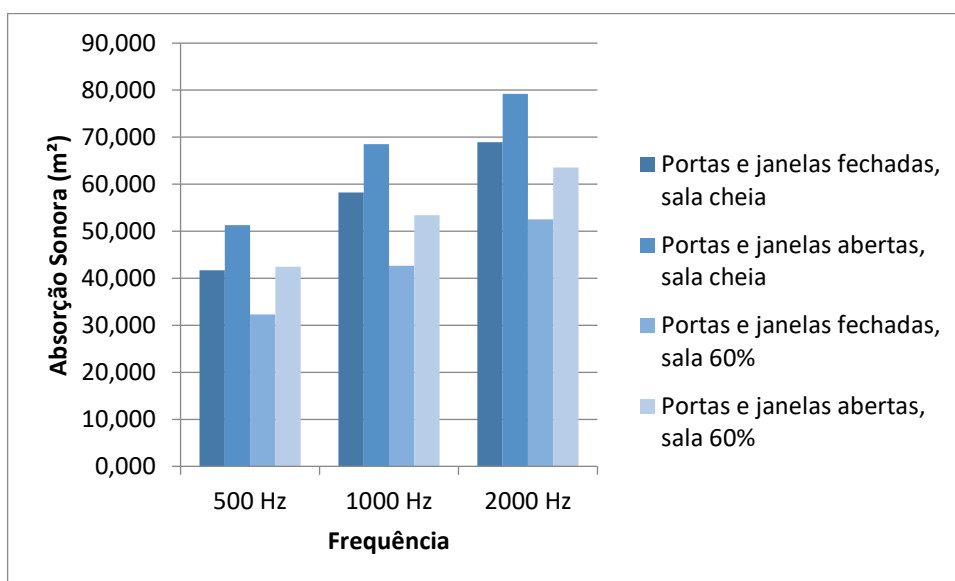
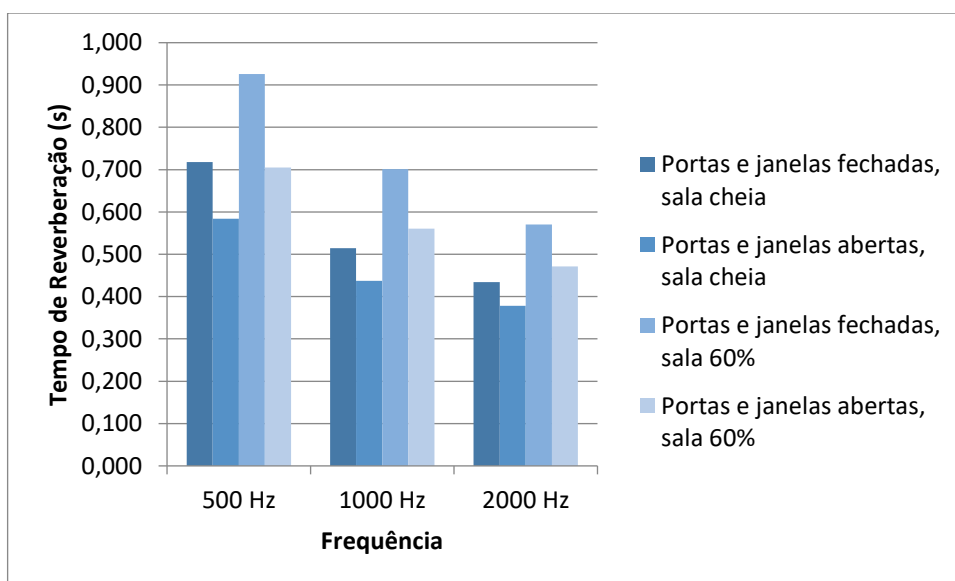


Gráfico 2 – Resultados obtidos para o Tempo de Reverberação Sonora da Sala 3Q-305



Na análise da sala 3Q-305, a quando a sala esteve com 60% de sua ocupação esta apresentou um tempo de reverberação médio superior a 0,6 s, para as frequências de 500 e 1000Hz. Este acréscimo no tempo de reverberação pode ser justificado pela redução da quantidade de materiais presentes em sala (60% de ocupação) que absorvem o som emitido dentro da sala. Contudo, o tempo de reverberação médio total (0,583 s) está dentro dos limites da norma ANSI S12.60.

Assim como se levado em comparação com a palavra falada da ABNT NBR 12179:1992, que estipula para a frequência de 500Hz o tempo de reverberação para volumes até 200m³, o tempo de reverberação deve ser inferior a 0,9s a sala 3Q-305 no seu tempo médio para esta frequência atende ao normativo.

A segunda sala analisada foi a sala 3Q-306, uma sala localizada ao lado da entrada do 3º andar do bloco, com localização de frente para bebedouros e banheiros e suas janelas estão voltadas para o arruamento do campus universitário. Na Tabela 6 e na Tabela 7 são mostrados os resultados da absorção do ambiente e do tempo de reverberação, respectivamente.

Tabela 6 - Resultados obtidos para a Absorção Sonora Sala 3Q-306

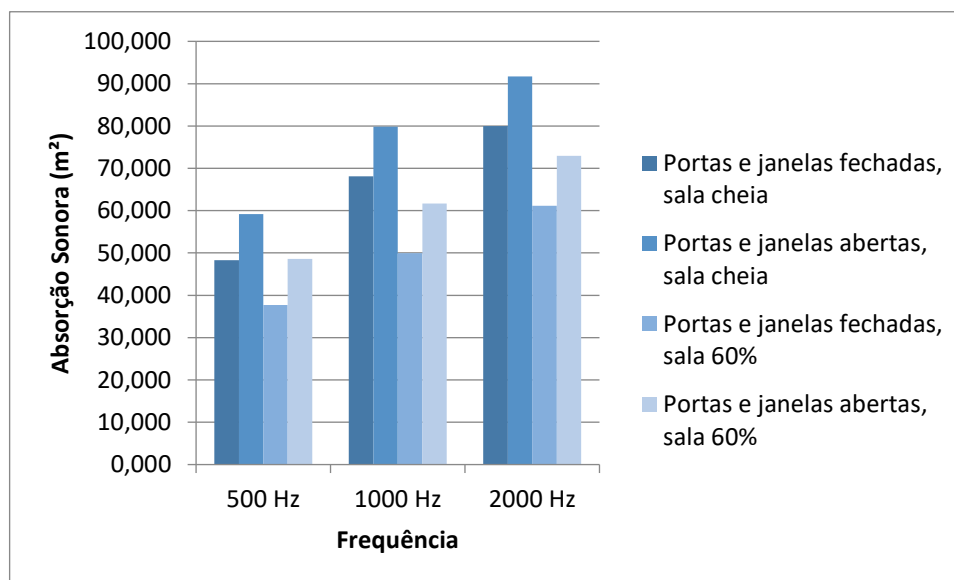
Tipo de Análise	Absorção (Si*ai) por frequência (m²)		
	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Portas e janelas fechadas, sala cheia	48,294	68,119	79,956
Portas e janelas abertas, sala cheia	59,018	79,697	91,620
Portas e janelas fechadas, sala 60%	37,710	49,975	61,164
Portas e janelas abertas, sala 60%	48,434	61,553	72,828

No Gráfico 3 são apresentados os valores para a absorção da sala para cada situação analisada. Novamente observa-se uma redução na capacidade de isolamento acústico da sala quando a mesma se encontra cheia, havendo a necessidade de dispersão do som ambiente para fora do local. Independentemente da quantidade de pessoas na sala, quando a sala está com portas e janelas fechadas, a absorção sonora é menor se comparada com a sala com portas e janelas abertas, o que era de se esperar pois uma parte do som escapa para fora do ambiente. Em todas as frequências o maior responsável pela absorção sonora foram alunos em carteiras e a lã de vidro aplicada sobre o teto da sala, pois estes além de possuir materiais com maior capacidade de absorção, possuem uma maior área dentro da sala.

Tabela 7 - Resultados obtidos para o Tempo de Reverberação Sonora Sala 3Q-306

Tipo de Análise	Tempo de Reverberação por frequência		
	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Portas e janelas fechadas, sala cheia	0,708	0,502	0,427
Portas e janelas abertas, sala cheia	0,579	0,429	0,373
Portas e janelas fechadas, sala 60%	0,906	0,684	0,559
Portas e janelas abertas, sala 60%	0,706	0,555	0,469
Média	0,725	0,542	0,457
Média Total	0,575		

Gráfico 3 – Resultados obtidos para a Absorção Sonora da Sala 3Q-306

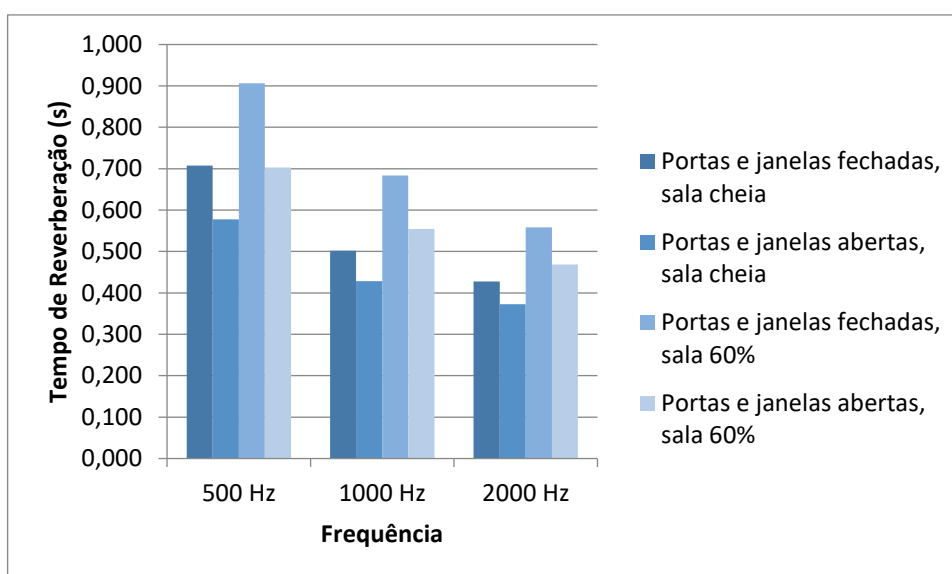


Os altos valores de absorção por parte dos materiais refletiram positivamente no tempo de reverberação sonora. Tendo esta sala um volume de 212m³, a única frequência em que a sala apresentou um tempo de reverberação superior ao recomendado pela norma ANSI S12.60 conforme mostrado no Gráfico 4 foi para a frequência de 500Hz. Assim como para a primeira

sala, o tempo de reverberação médio total atendeu ao normativo, sendo o tempo desta sala de 0,574s que está dentro dos limites da norma ANSI S12.60. Se fosse comparado com a ABNT NBR 12179:1992, o tempo de reverberação para a palavra falada (500Hz) para volumes de 220m³ o tempo de reverberação máximo é de aproximadamente 0,91s, o que no caso da sala 3Q-306 foi atendido pelo seu tempo de reverberação médio desta frequência ser de 0,724s.

Por se tratarem das duas salas avaliadas neste bloco com características semelhantes e volume inferior a 283m³ as duas salas atenderiam aos parâmetros normativos tanto para a norma americana quanto para a norma brasileira. Tendo estas duas salas terem sido subdivisões de salas maiores da etapa projetual, mesmo com as modificações que ocorreram estes espaços físicos não perderam suas características de absorção sonora para atender aos parâmetros estipulados pelas normas avaliadas.

Gráfico 4 - Resultados obtidos para o Tempo de Reverberação Sonora Sala 3Q-306



A última sala analisada no bloco 3Q foi a sala 3Q-312. Uma sala localizada no fundo do 3º andar do bloco, com localização de canto 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. Na Tabela 8 e na Tabela 9 são mostrados os resultados da absorção do ambiente e do tempo de reverberação, respectivamente.

Tabela 8 - Resultados obtidos para a Absorção Sonora da Sala 3Q-312

Tipo de Análise	Absorção ($S_i \cdot \alpha_i$) por frequência (m²)		
	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Portas e janelas fechadas, sala cheia	69,387	98,031	116,153
Portas e janelas abertas, sala cheia	84,873	114,799	133,319
Portas e janelas fechadas, sala 60%	55,275	73,839	91,097
Portas e janelas abertas, sala 60%	70,761	90,607	108,263

Tabela 9 - Resultados obtidos para o tempo de Reverberação Sonora da Sala 3Q-312

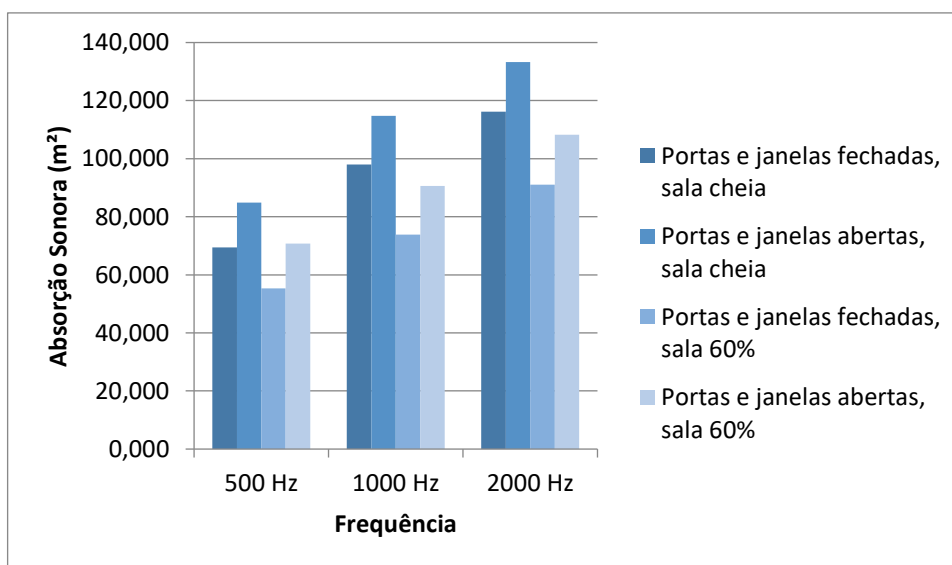
Tipo de Análise	Tempo de Reverberação por frequência		
	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Portas e janelas fechadas, sala cheia	0,896	0,634	0,535
Portas e janelas abertas, sala cheia	0,733	0,542	0,466
Portas e janelas fechadas, sala 60%	1,125	0,842	0,682
Portas e janelas abertas, sala 60%	0,879	0,686	0,574
Média	0,908	0,676	0,565
Média Total	0,716		

No Gráfico 5 é apresentado os resultados obtidos para a absorção sonora para as três frequências num diagrama de barras. Observa-se que independente da frequência, a capacidade de absorção sonora do ambiente foi superior se comparado com as salas 3Q-305 e 3Q-306. Entende-se que esta diferença é decorrente principalmente das diferenças de dimensões das salas, uma vez que

a sala 3Q-312 possui um volume de 386 m^3 relativamente superior ao volume das salas 3Q-305 e 3Q-306. Outra análise pontual é que esta sala continuou com as mesmas dimensões da fase projetual, não havendo modificações durante sua execução. 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.

O maior valor de absorção sonora foi encontrado para a sala cheia e com portas e janelas abertas, isso ocorre porque o som encaminhado para estes locais é completamente dispersado, visto que não retornam para o ambiente. Nota-se também que independente da frequência a capacidade de absorção sonora do ambiente da maior sala 3Q-312, foi sempre superior se comparado as outras salas anteriores, principalmente quando a sala de aula esteve com suas portas e janelas abertas. Pode-se associar este resultado ao fato da mesma possuir uma maior quantidade de materiais absorventes.

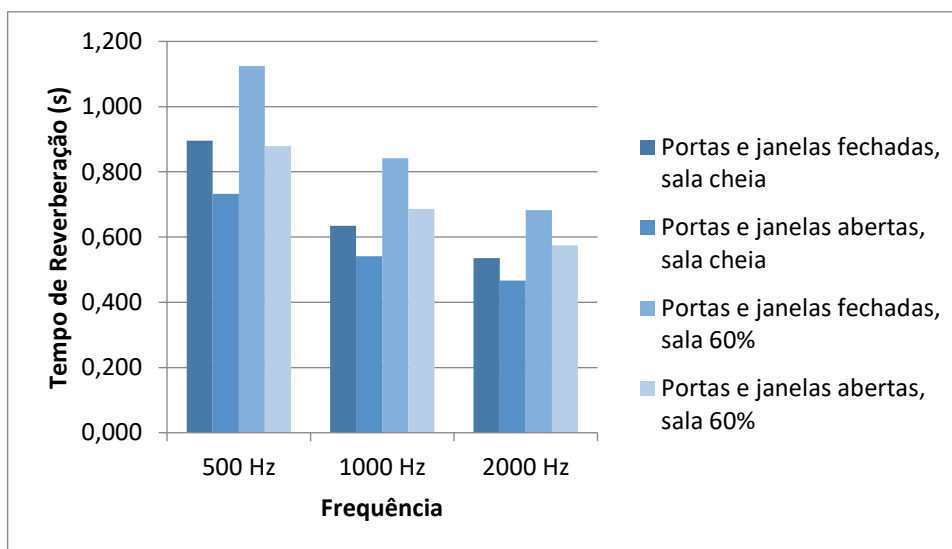
Gráfico 5 - Resultados obtidos para a Absorção Sonora da Sala 3Q-312



Para uma sala com um volume de 386 m^3 , que é superior a 283 m^3 e inferior a 566 m^3 , o tempo de reverberação médio aceito pela norma é inferior ou igual a $0,7 \text{ s}$. Mesmo a sala possuindo materiais com alta capacidade de absorção a mesma não conseguiu absorver todo o som necessário para a sala estando com portas e janelas fechadas nas frequências de 500 Hz e

também na média total do tempo de reverberação. Porém, mesmo que os coeficientes de absorção estarem vinculados a áreas maiores, estas áreas de absorção não foram capazes de atender o tempo de reverberação solicitado em norma, como pode ser observado no Gráfico 6. Isto ocorreu devido aos baixos valores dos coeficientes de absorção para a frequência de 500Hz o que acarretou no tempo de reverberação superior ao normativo. Para esta frequência o maior tempo de reverberação observado foi com sala de aula com 60% de sua ocupação e com portas e janelas fechadas. Isso ocorreu devido à grande reverberação que existe em ambientes maiores com baixa ocupação. Quando a sala está vazia a tendência é que o tempo de reverberação dentro do ambiente aumente devido a absorção sonora ser inferior a mesma com maior ocupação. Grande parte da absorção sonora foi possível devido a escolha do jateamento de pistofibra no forro da sala que possui um alto coeficiente de absorção sonora. Embora, a sala tenha apresentado tempos de reverberações inferiores ao estipulado por norma para esta área que é de 0,7 s como é solicitado pela norma ANSI S12.60, o tempo de reverberação médio total (0,716 s) foi superior a este limite. Se levado em consideração a norma brasileira ABNT NBR 12179:1992, o tempo de reverberação para a frequência de 500Hz para este volume é de aproximadamente 1,0s, o que foi alcançado pela sala em seu tempo médio para esta frequência.

Gráfico 6 – Resultados obtidos para o Tempo de Reverberação Sonora da Sala 3Q-312



Para o bloco 5O, a primeira análise realizada foi para a sala 5O-206. Ela está situada ao lado do saguão do bloco, no segundo andar, com janelas voltadas para o arruamento do campus. Com relação a vedação vertical da sala, esta possui paredes divisórias de gesso acartonado, tanto na

divisão para o corredor quanto na sua divisão com a sala ao lado. Na Tabela 10 e na Tabela 11 são apresentados os resultados obtidos na análise da absorção e da reverberação da sala 5O-206.

Tabela 10 - Resultados obtidos para a Absorção Sonora da Sala 5O-206

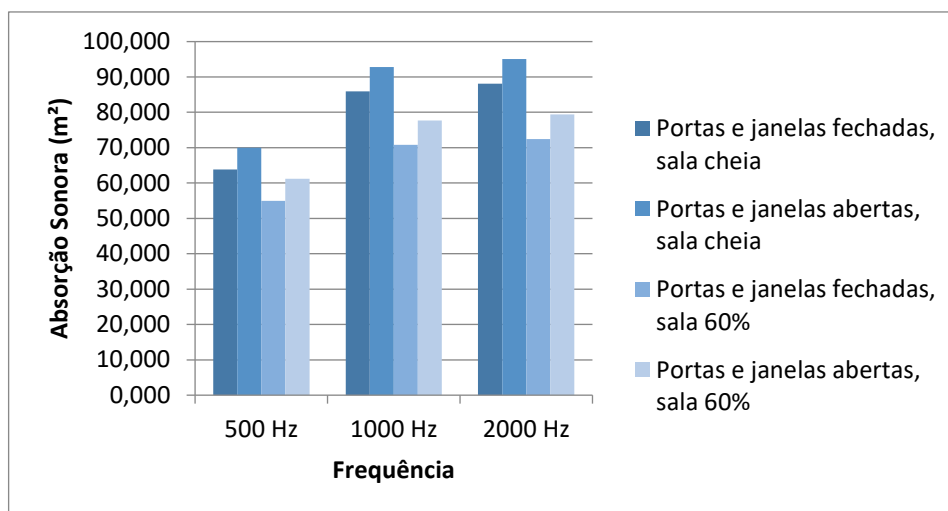
Tipo de Análise	Absorção (Si*ai) por frequência (m²)		
	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Portas e janelas fechadas, sala cheia	63,795	85,894	88,058
Portas e janelas abertas, sala cheia	69,987	92,807	95,083
Portas e janelas fechadas, sala 60%	54,950	70,757	72,388
Portas e janelas abertas, sala 60%	61,192	77,703	79,433

Tabela 11 - Resultados obtidos para o Tempo de Reverberação Sonora da Sala 5O-206

Tipo de Análise	Tempo de Reverberação por frequência		
	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Portas e janelas fechadas, sala cheia	0,393	0,292	0,285
Portas e janelas abertas, sala cheia	0,358	0,270	0,264
Portas e janelas fechadas, sala 60%	0,456	0,354	0,346
Portas e janelas abertas, sala 60%	0,409	0,322	0,315
Média	0,404	0,310	0,302
Média Total	0,339		

No Gráfico 7 e no Gráfico 8 são apresentados os resultados para a absorção sonora e o tempo de reverberação para as diversas situações consideradas e frequências analisadas.

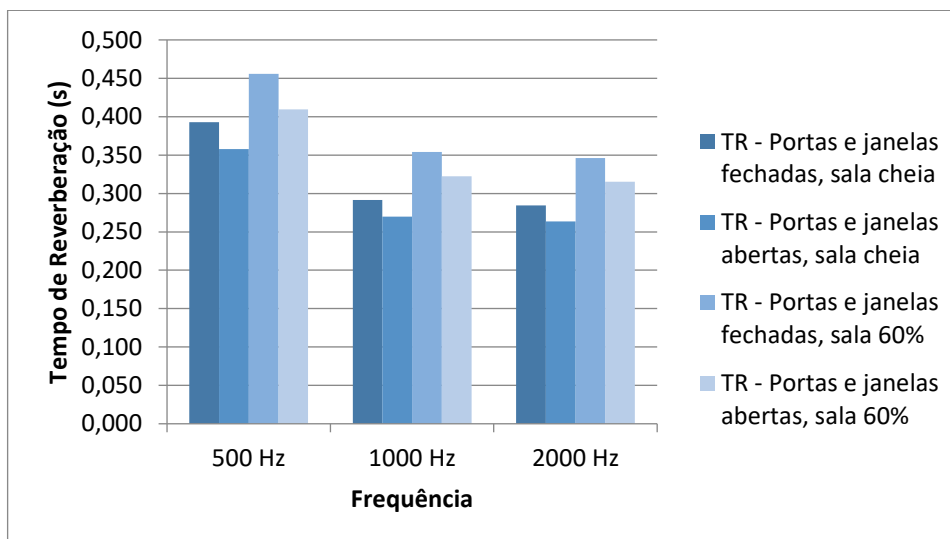
Gráfico 7 - Resultados obtidos para a Absorção Sonora da Sala 5O-206



O melhor resultado para a absorção sonora do ambiente foi obtido para a frequência de 2000 Hz e o pior resultado ocorreu quando a sala esteve fechada e com sua ocupação reduzida para a frequência de 500 Hz, conforme pode ser notado no Gráfico 7. Isso demonstra a diminuição na capacidade de isolamento acústico da sala quando a mesma se encontra fechada. Para todas as frequências analisadas a maior contribuição para a absorção sonora é proveniente do forro, devido sua uma maior área e quantidade de um mesmo material na sala de aula, além deste material possuir o melhor coeficiente de absorção. Para todas as situações analisadas, nenhuma apresentou tempo de reverberação superior ao limite da norma ANSI S12.60.

Para todas as situações analisadas, não houve nenhuma em que a reverberação foi superior ao limite da norma ANSI S12.60. Se compararmos os tempos de reverberação a norma brasileira ABNT NBR 12179:1992 o tempo de reverberação para palavra falada foi bem abaixo do estipulado pela norma que é de aproximadamente 0,9s. Para a frequência de 500Hz, que é a frequência levada em consideração para a norma o tempo médio desta sala foi de 0,404s bem abaixo do estipulado. O que demonstra que as escolhas dos materiais foram bem realizadas para atender as normas comparadas neste trabalho.

Gráfico 8 - Resultados obtidos para o Tempo de Reverberação da Sala 5O-206



Outra sala analisada foi a sala 5O-207. Localizada em frente à sala 5O-206, suas janelas estão voltadas para o estacionamento do bloco e as ruas externas ao campus um pouco mais afastadas da sala. Esta sala possui dimensões aproximadas a anterior assim como os seus materiais construtivos sendo os mesmos. Na Tabela 12 e na Tabela 13 são mostrados os resultados para a absorção do ambiente e do tempo de reverberação, respectivamente.

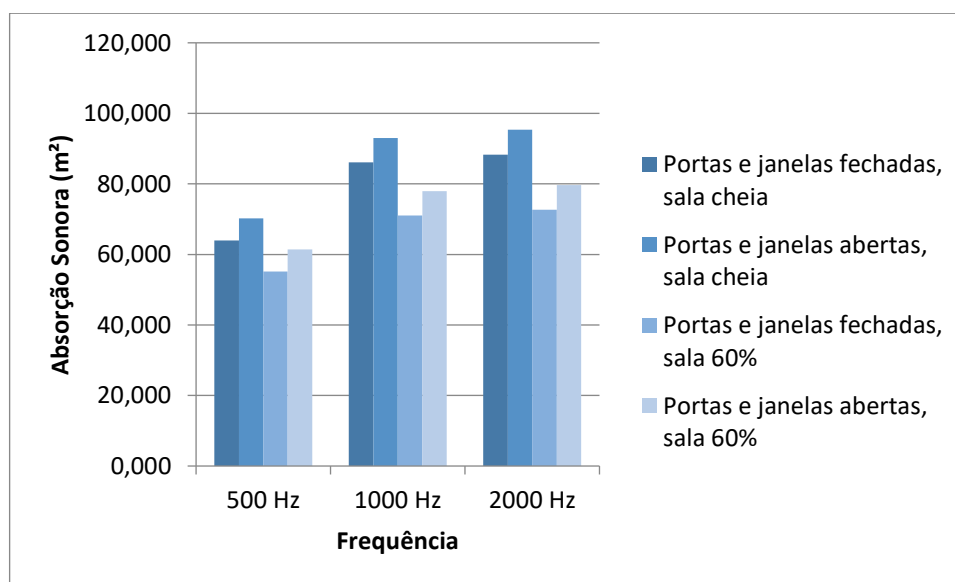
Tabela 12 - Resultados obtidos para a Absorção Sonora da Sala 5O-207

Tipo de Análise	Absorção ($S_i \cdot a_i$) por frequência (m^2)		
	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Portas e janelas fechadas, sala cheia	63,990	86,131	88,295
Portas e janelas abertas, sala cheia	70,181	93,043	95,320
Portas e janelas fechadas, sala 60%	55,145	70,994	72,626
Portas e janelas abertas, sala 60%	61,386	77,940	79,670

Tabela 13 - Resultados obtidos para o Tempo de Reverberação Sonora da Sala 5O-207

Tipo de Análise	Tempo de Reverberação por frequência		
	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Portas e janelas fechadas, sala cheia	0,394	0,292	0,285
Portas e janelas abertas, sala cheia	0,359	0,271	0,264
Portas e janelas fechadas, sala 60%	0,457	0,355	0,347
Portas e janelas abertas, sala 60%	0,410	0,323	0,316
Média	0,405	0,310	0,303
Média Total	0,339		

Gráfico 9 - Resultados obtidos para a Absorção Sonora da Sala 5O-207

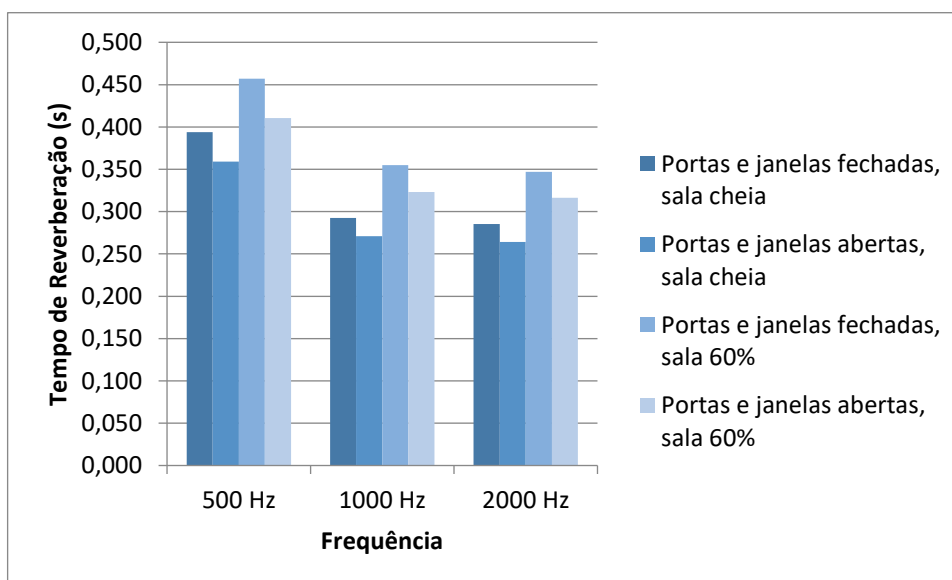


Assim como nas outras salas analisadas, a absorção da sala é melhor quando as portas e janelas estão abertas. Quando a sala está cheia e com portas e janelas fechadas com 60% de sua capacidade, a absorção sonora apresentou os menores valores para o ambiente, principalmente,

para a frequência de 500Hz como mostrado no Gráfico 9. A sala 5O-207 também possui uma maior capacidade de absorção quando o som está na frequência de 2kHz.

Embora os valores de absorção por parte dos materiais sejam relativamente baixos, a sala apresentou tempos de reverberação sonora aceitáveis, como pode ser visto no Gráfico 10. Tendo esta sala um volume de 156m³, em nenhum momento a reverberação foi superior a 0,6s, valor este recomendado pela norma ANSI S12.60. Assim como na sala anterior conforme orientação da norma brasileira ABNT NBR 12179:1992, o tempo de reverberação máximo permitido para este volume é de aproximadamente 0,9s, sendo o valor obtido bem abaixo do estipulado pela norma brasileira, o que mostra que as escolhas dos materiais construtivos destas salas fizeram com que o espaço físico atendesse as duas normas.

Gráfico 10 - Resultados obtidos para o Tempo de Reverberação Sonora da Sala 5O-207



A última sala escolhida para análise no bloco 5O, foi a sala 5O-215. Localizada no fundo do 2º andar do bloco, 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.

Na

Tabela 14 e na Tabela 15 são mostrados os resultados das análises realizadas para a absorção sonora do ambiente e do tempo de reverberação, obtido para a sala respectivamente.

Tabela 14 - Resultados obtidos para a Absorção Sonora da Sala 5O-215

Tipo de Análise	Absorção ($S_i \cdot \alpha_i$) por frequência (m²)		
	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Portas e janelas fechadas, sala cheia	75,675	102,502	103,734
Portas e janelas abertas, sala cheia	86,094	114,168	115,837
Portas e janelas fechadas, sala 60%	65,091	84,358	84,942
Portas e janelas abertas, sala 60%	75,510	96,024	97,045

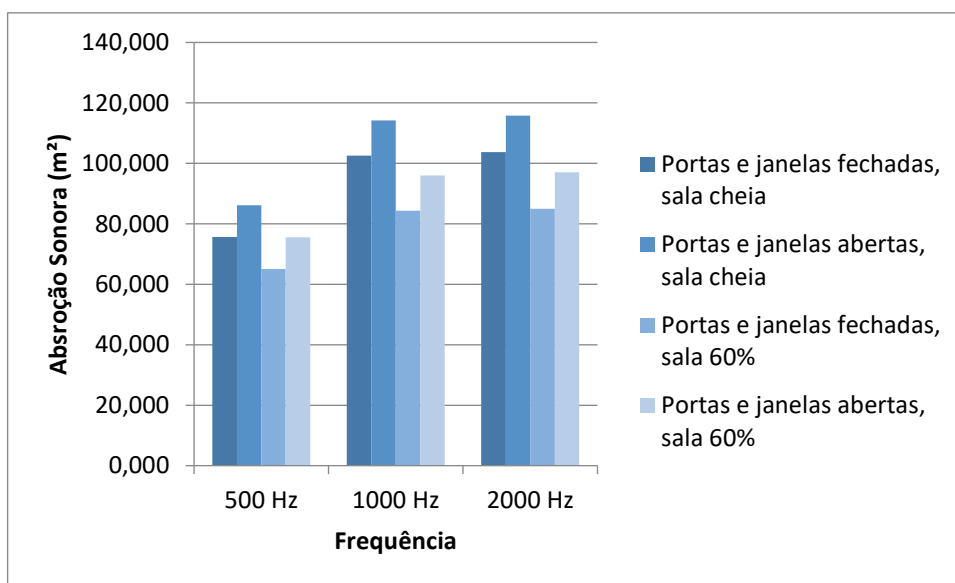
Tabela 15 - Resultados obtidos para o Tempo de Reverberação Sonora da Sala 5O-215

Tipo de Análise	Tempo de Reverberação por frequência		
	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Portas e janelas fechadas, sala cheia	0,400	0,296	0,292
Portas e janelas abertas, sala cheia	0,352	0,265	0,262
Portas e janelas fechadas, sala 60%	0,466	0,359	0,357
Portas e janelas abertas, sala 60%	0,401	0,316	0,312
Média	0,405	0,309	0,306
Média Total	0,340		

Observa-se no Gráfico 11, que independente da frequência a capacidade de absorção sonora do ambiente foi semelhante ao das salas do seu respectivo bloco, isso facilmente se explica devido à dimensão da sala ser aproximadamente igual às demais, devido à área de alguns tipos de materiais e principalmente aos coeficientes de absorção dos materiais das salas serem os mesmos pois todas as salas possuíam os mesmos materiais construtivos.

O maior valor para a absorção sonora foi encontrado para a sala cheia e com portas e janelas abertas, isso ocorre porque parte do som que é encaminhado para fora da sala, não sendo refletido no interior do ambiente. Assim como a presença de muitos alunos dentro da sala de aula absorve grande parte do som existente dentro do ambiente. A maioria dos resultados de baixa absorção do ambiente ocorreu para a situação da sala com portas e janelas fechadas e sua capacidade reduzida.

Gráfico 11 - Resultados obtidos para a Absorção Sonora da Sala 5O-215



Outro resultado a ser observado para esta sala é que, em todas as frequências, o maior responsável por aumentar a capacidade de absorção sonora foi o teto da sala, pois este possui uma maior área e quantidade de um mesmo material na sala de aula com maior capacidade de absorção sonora para auxiliar na redução de ruídos no seu interior. Isso se deve ao seu maior coeficiente de absorção do material.

Para uma sala com um volume de 188m^3 , o limite máximo para o tempo de reverberação médio aceito pela norma ANSI S12.60 é 0,6s. Nota-se pelo Gráfico 12 que a sala 5O-215 atendeu este limite para todas as frequências. Inclusive quando é feito a análise da sala na frequência de 500Hz, com a norma brasileira ABNT NBR 12179:1992, que estipula o tempo de reverberação máximo de aproximadamente 0,9s a mesma teve um tempo médio de reverberação para esta frequência inferior ao normativo (0,405s).

Gráfico 12 - Resultados obtidos para o Tempo de Reverberação Sonora da Sala 5O-215

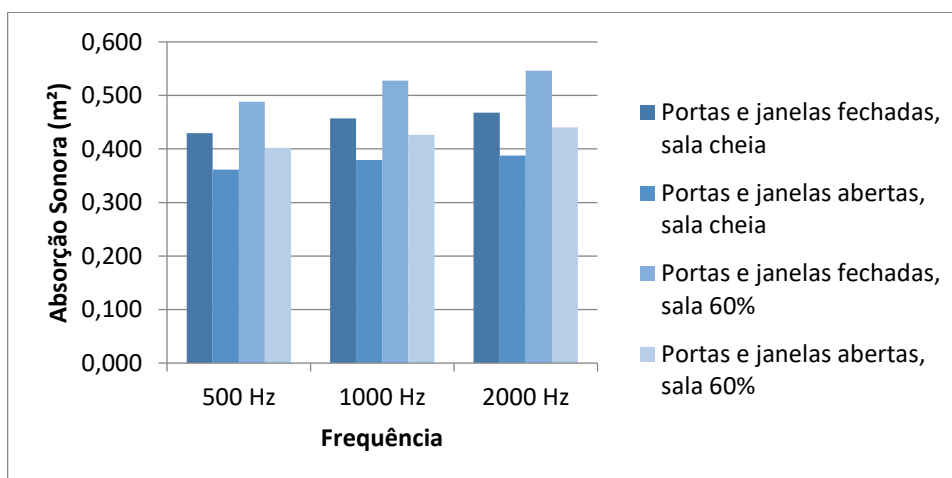
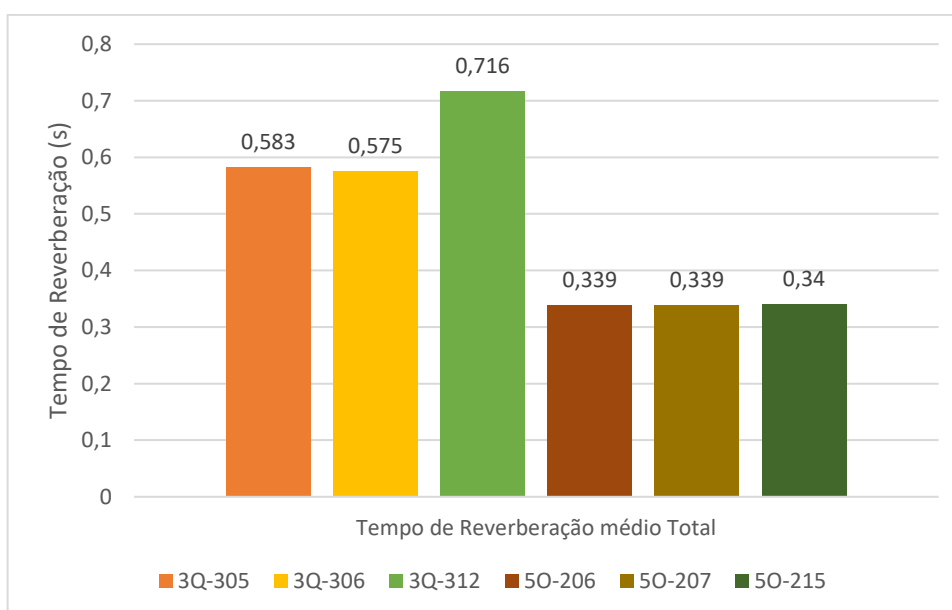


Gráfico 13 – Resultados obtidos para o Tempo de reverberação médio total das salas de aula



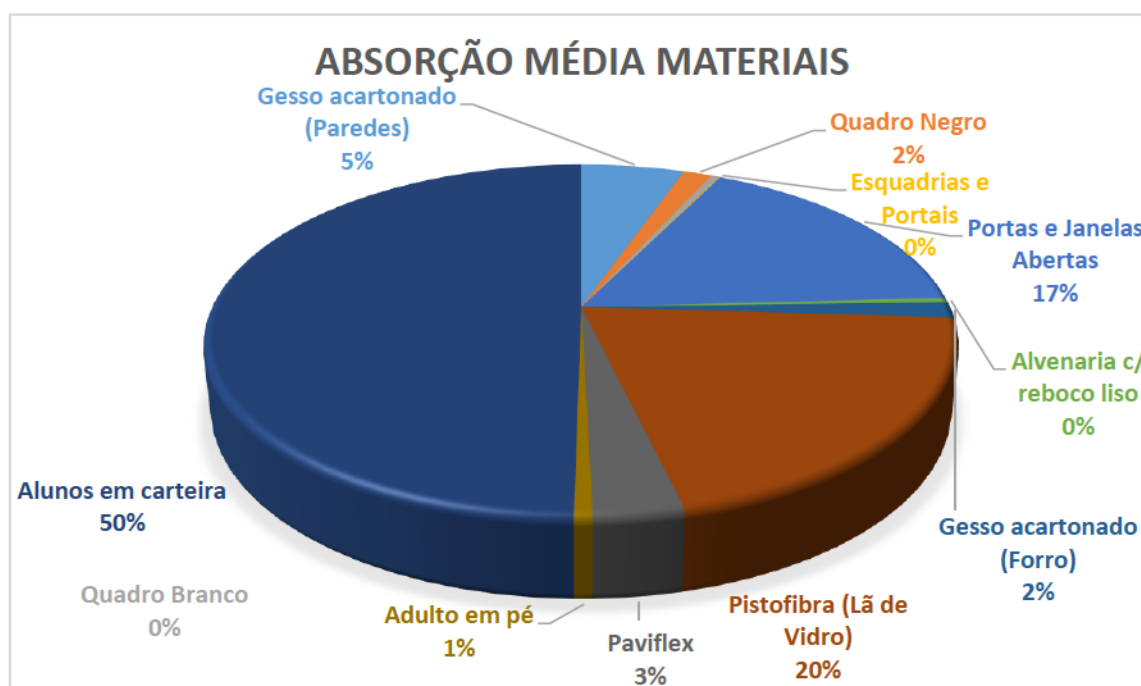
No Gráfico 13 são mostrados os tempos médios de reverberação para todas as salas de aulas. Um comparativo realizado para avaliar qual sala possuiu o melhor tempo de reverberação. Pode-se observar que se compararmos salas com volumes bem próximos como a sala 3Q-305 e a sala 5O-215, que possuem materiais construtivos diferentes, nota-se que a escolha do forro da sala do bloco 5O refletiu positivamente para atender o tempo de reverberação estipulado pela norma ANSI S12.60 que é de 0,6s. A diferença entre os tempos de reverberação foi de aproximadamente 0,25s entre as duas salas. Nota-se também que a única sala que possuiu um tempo de reverberação médio total superior ao normativo foi o da sala 3Q-312. Avaliando o

desempenho do tempo de reverberação das salas estudadas caso tivesse sido escolhido o forro das salas do bloco 5O, para a sala 3Q-312 possivelmente a mesma possuiria um tempo de reverberação inferior ao normativo isso porque os coeficientes de absorção do forro como um todo são superiores ao forro utilizado na sala.

4.1.1 Avaliação da Absorção Sonora Média das Salas de Aula

Nesta seção serão apresentados os resultados para a contribuição de cada material utilizado no piso, teto, paredes e esquadrias nas salas para a absorção sonora do ambiente. Foi calculado a média da absorção sonora dos valores obtidos nas frequências avaliadas para cada material que compõe a sala.

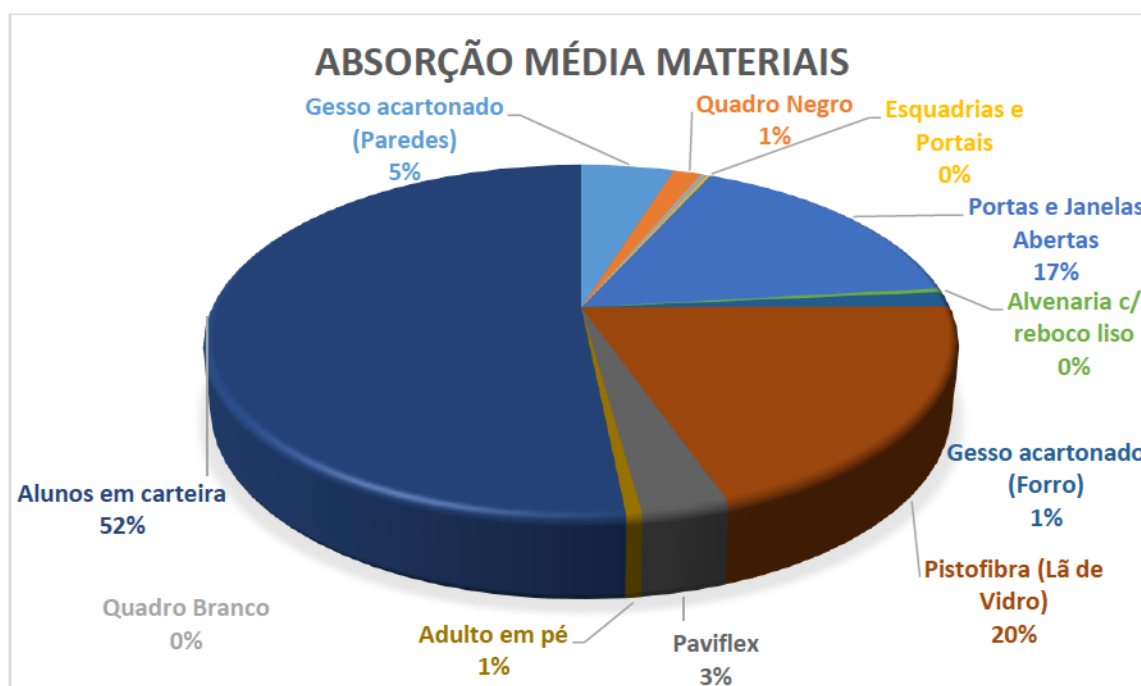
Gráfico 14 – Distribuição da Absorção Sonora entre os materiais da Sala 3Q-305



No Gráfico 14 são ilustrados os resultados obtidos para a sala 3Q-305. O material que tem a maior contribuição para a absorção sonora são os alunos em carteira. Entretanto, o forro é dividido em dois tipos de materiais, que quando somados representam a segunda maior parte da absorção do ambiente. Portas e janelas abertas contribuíram para que aumente-se a absorção porém sugere-se que outros materiais sejam utilizados para que não haja tanta necessidade de manter estes locais abertos.

A seguir são apresentados os resultados obtidos para a sala 3Q-306, que possui características construtivas semelhantes a sala 3Q-305. Os resultados para a sala 3Q-306 são mostrados no Gráfico 15, que apresenta os valores médios percentuais de absorção do ambiente. Nesta sala o maior responsável pela absorção sonora novamente são os alunos em carteira, isso ocorre pela representatividade dos mesmos perante aos demais materiais e aos seus valores de coeficientes de absorção serem um dos maiores.

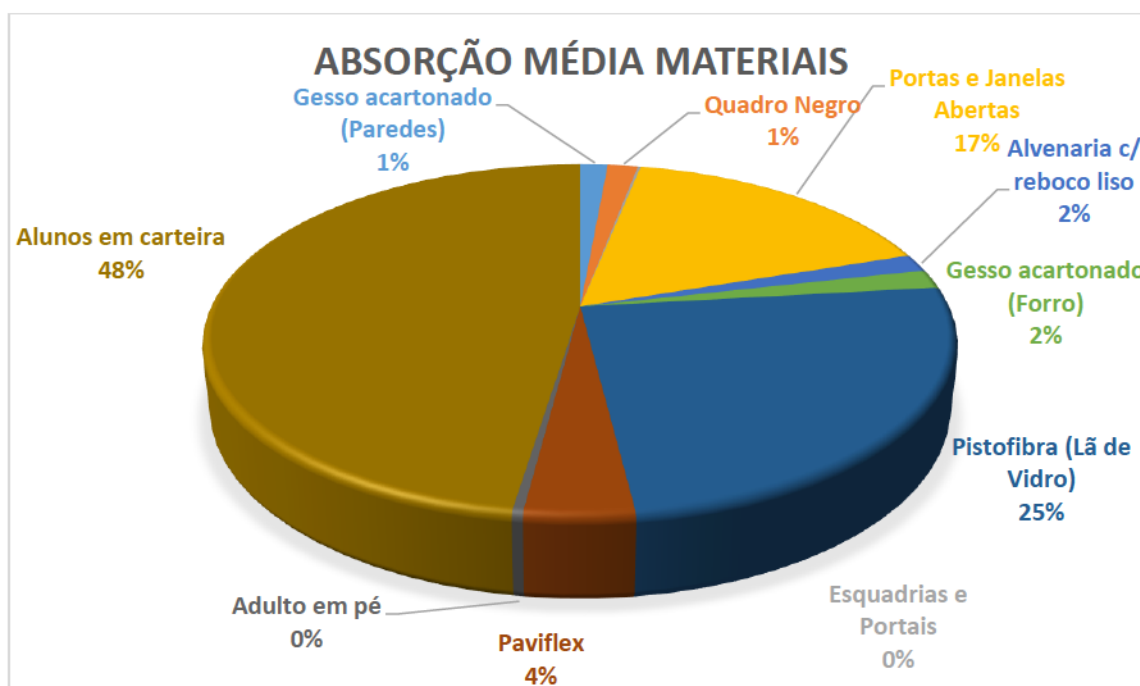
Gráfico 15 - Distribuição da Absorção Sonora entre os materiais da Sala 3Q-306



Por fim, foi analisada a 3Q-312 no bloco 3Q. Embora esta seja a maior sala do bloco os resultados foram semelhantes aos observados para as salas 3Q-305 e 306. Nota-se por meio do Gráfico 16, que mesmo com o aumento da área da sala de aula o maior responsável pela absorção sonora continuou sendo os alunos em carteira, porém devido a uma maior área com presença da pistofibra de lã vidro no teto a capacidade de absorção do mesmo possuiu o segundo maior percentual de absorção sonora.

O forro e o piso possuem a mesma área, no entanto, os materiais que compõe o forro possuem valores de índice de absorção maiores que o do piso. Logo, a contribuição do forro para a absorção sonora é relativamente superior que a do piso. A absorção maior por parte dos materiais do forro quando somados foi verificada em todas as salas do bloco 3Q, porém esta absorção em nenhuma sala foi superior a alunos em carteira.

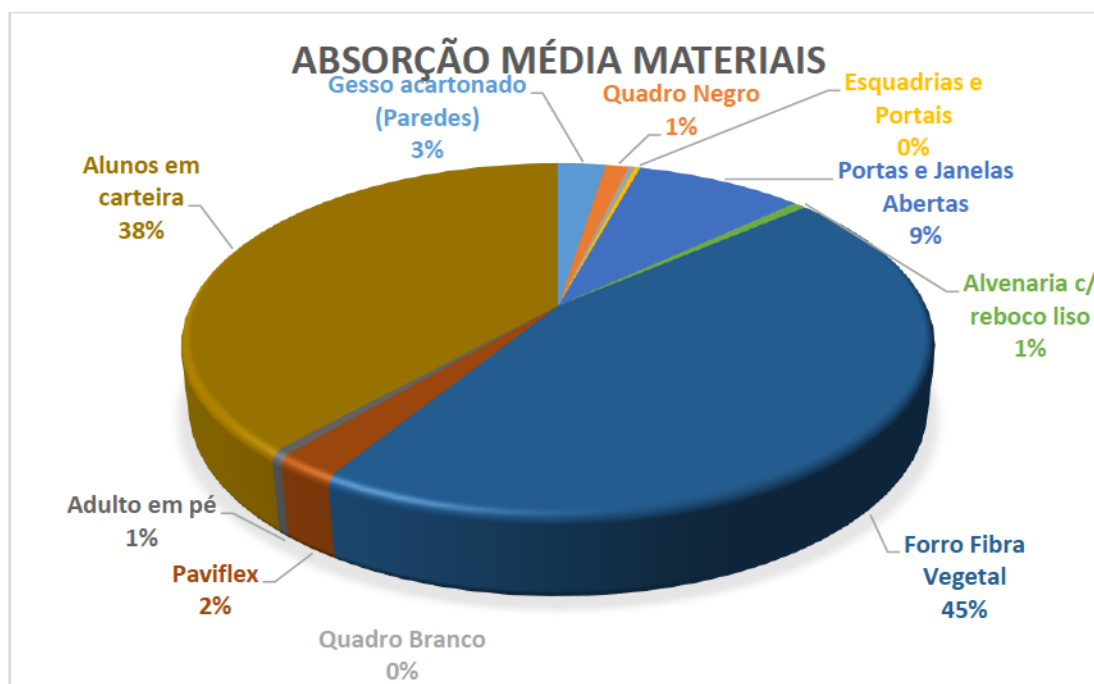
Gráfico 16 - Distribuição da Absorção Sonora entre os materiais da Sala 3Q-312



A primeira sala a ser analisada quanto ao seu valor médio percentual de absorção por material no Bloco 5O é a 5O-206. Uma sala voltada para o arruamento do campus necessita de materiais isolantes para evitar a prospecção de ruídos de fundo advindos do arruamento externo ao ambiente. Nota-se através do Gráfico 17, que a troca do forro do bloco anterior que antes era constituído por gesso acartonado e pistofibra de lã de vidro, para o forro utilizado neste bloco que é constituído de placas de fibra vegetal, fez com que o forro torna-se o maior responsável pela absorção sonora no ambiente. Outra observação é que esta sala apresenta área menor e maior utilização de paredes com gesso acartonado quando comparada com as salas do bloco 3Q.

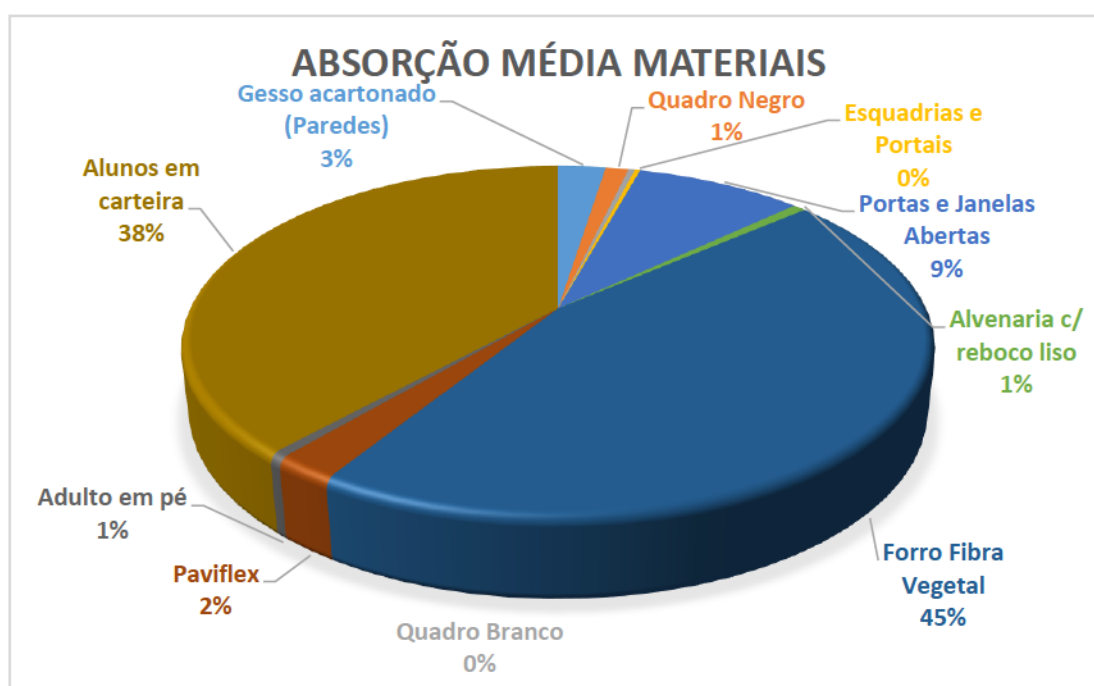
Este bloco foi projetado para que as vedações verticais entre as salas fossem construídas com gesso acartonado. Esse material possui um coeficiente de absorção maior que o da parede com revestimento em reboco liso, o que permitiu um maior auxílio na absorção frente ao bloco anterior e posteriormente uma redução no tempo de reverberação das salas de aula do bloco 5O.

Gráfico 17 - Distribuição da Absorção Sonora entre os materiais da Sala 50-206



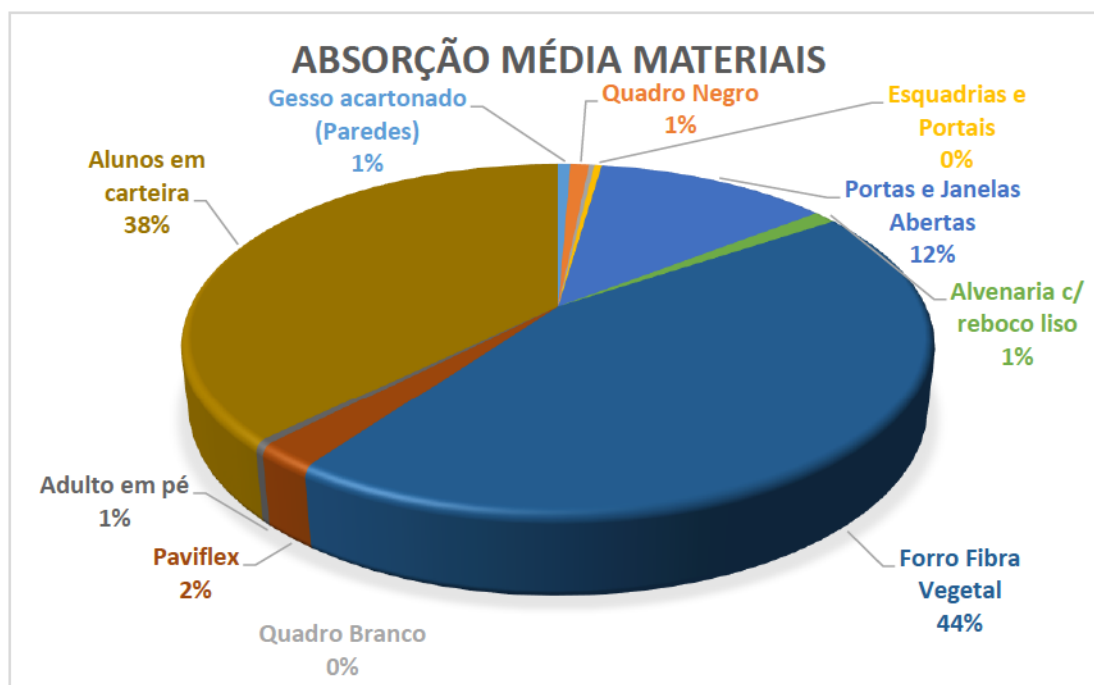
A seguir apresenta-se os resultados obtidos para a sala 50-207, os quais podem ser observados por meio do Gráfico 18. De todos os materiais novamente o forro é o maior responsável pela absorção sonora da sala, atingindo para esta sala 47% de contribuição.

Gráfico 18 - Distribuição da Absorção Sonora entre os materiais da Sala 50-207



Por fim a última sala a ser analisada quanto a participação dos materiais na absorção sonora da sala foi a 5O-215. A sala possui dimensões superiores as outras duas salas deste bloco, com maior capacidade de área de dispersão sonora através das janelas. Porém o que observa-se é a predominância de absorção sonora através do forro, como é observado no Gráfico 19. Embora, esta sala tenha área maior de janelas, as mesmas não foram capazes de superar a absorção sonora de alunos em suas carteiras de estudo. Isso se explica devido a quantidade de alunos ser superior a já observadas em outras salas, porém as mesmas possuem valores próximos ao encontrado para porta e janelas.

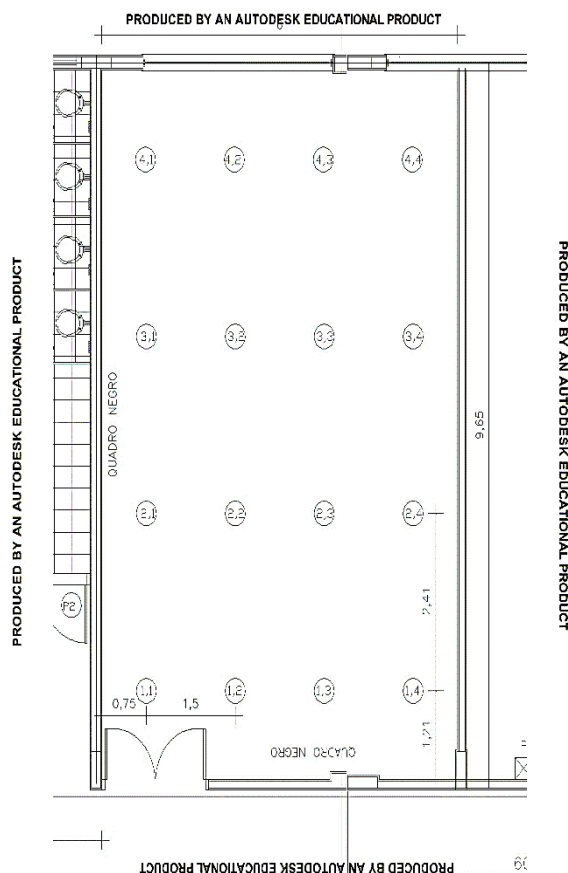
Gráfico 19 - Distribuição da Absorção Sonora entre os materiais da Sala 5O-215



4.2 ANÁLISE DA ILUMINÂNCIA NATURAL

A primeira sala a ser realizada a análise da iluminância média natural foi a sala 3Q-305, a mesma está voltada para a face noroeste do campus. Para esta sala, o valor do parâmetro K foi de 1,59. Utilizando o Quadro 2 obtém-se a quantidade de pontos de medição para a sala de aula, no caso 16 pontos. Os pontos foram distribuídos na sala de maneira que ficassem equidistantes, como está mostrado na Figura 9.

Figura 9 - Pontos de Medição Sala 3Q-305



Os pontos foram distribuídos com distâncias nas linhas de 1,50 m e nas colunas com distâncias de 2,44 m. A distribuição equidistante dos pontos permitiu uma análise mais uniforme dos dados obtidos, pois os dados foram coletados levando em consideração todo o espaçamento da sala de aula. Os cálculos e dados obtidos para a iluminação natural da sala estão mostrados na Tabela 16, inclusive, os valores calculados no índice, juntamente com os dados medidos in loco, conforme os procedimentos realizados e descritos no capítulo 3 deste trabalho.

Como pode ser visto no Gráfico 20, os pontos com menor incidência de luz solar foram os pontos na linha 1, ou seja, os pontos mais distantes da janela. Estes pontos obtiveram medições inferiores a 150 lux. No caso do ponto P_{1,3} a baixa luminosidade ocorreu também devido ao ponto estar próximo ao quadro negro não havendo reflexão da iluminação natural no ponto. Ressalta-se que o ponto P_{1,4} está localizado sobre a mesa do professor, o que tornaria a atividade de leitura naquele local cansativa.

Tabela 16 - Resultados obtidos para a iluminação Natural Sala 3Q-305

		Medida (m)	Índice (K)	Pontos a serem medidos (n)		n utilizado	
Comprimento		9,65	1,59	K < 1	9	16	
Largura		6,00		1 ≤ K < 2	16	n divisões	
Altura		2,32		2 ≤ K < 3	25	4	
Área (m²)		57,9		K>3	36		
Pontos de Medição					Pontos de Medição		
Linha	Coluna	Iluminância Medida (P)	Iluminância Média (Em)		Linha	Coluna	Fator Luz do Dia (FLD)
1	1	197,1	373,75		1	1	0,30%
2	1	193,4	Iluminância Externa (E)		2	1	0,30%
3	1	396	65000		3	1	0,61%
4	1	804	Fator Luz do Dia Médio (FLDm)		4	1	1,24%
1	2	155,8			1	2	0,24%
2	2	193,9	0,58%		2	2	0,30%
3	2	325	Iluminância Indicada para Salas de Aula		3	2	0,50%
4	2	980			4	2	1,51%
1	3	136,5	300		1	3	0,21%
2	3	188,4			2	3	0,29%
3	3	315			3	3	0,48%
4	3	711			4	3	1,09%
1	4	119,5			1	4	0,18%
2	4	187,4			2	4	0,29%
3	4	292			3	4	0,45%
4	4	785			4	4	1,21%

Os pontos com maior iluminância na sala foram os pontos que se localizavam no fundo, representados por triângulos (Gráfico 20). Estes recebem iluminação solar direta devido à proximidade dos pontos com o ambiente externo da sala, mas ainda são considerados como toleráveis pelos usuários. Um problema observado nestes pontos é que devido à grande incidência de raios solares a sensação térmica aumenta para quem estiver sentado nestes locais, caso os brises estejam totalmente abertos como é mostrado na Figura 10.

Gráfico 20 – Resultados obtidos para a iluminação natural da Sala 3Q-305.

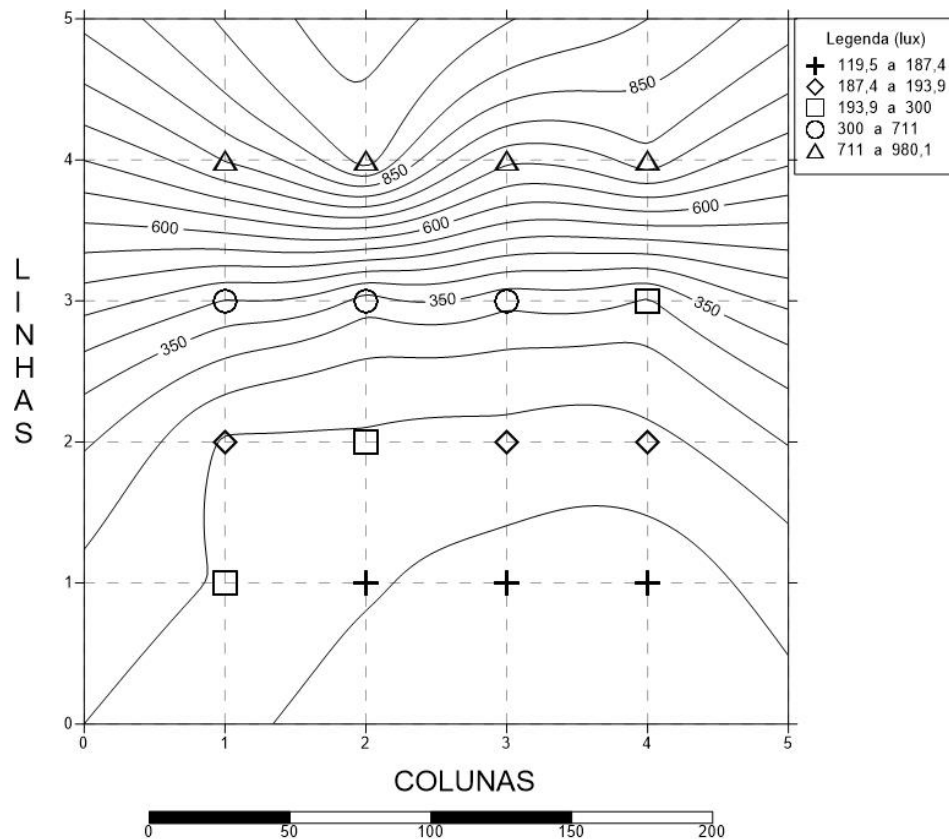


Figura 10 – Vista em perspectiva da Sala 3Q-305

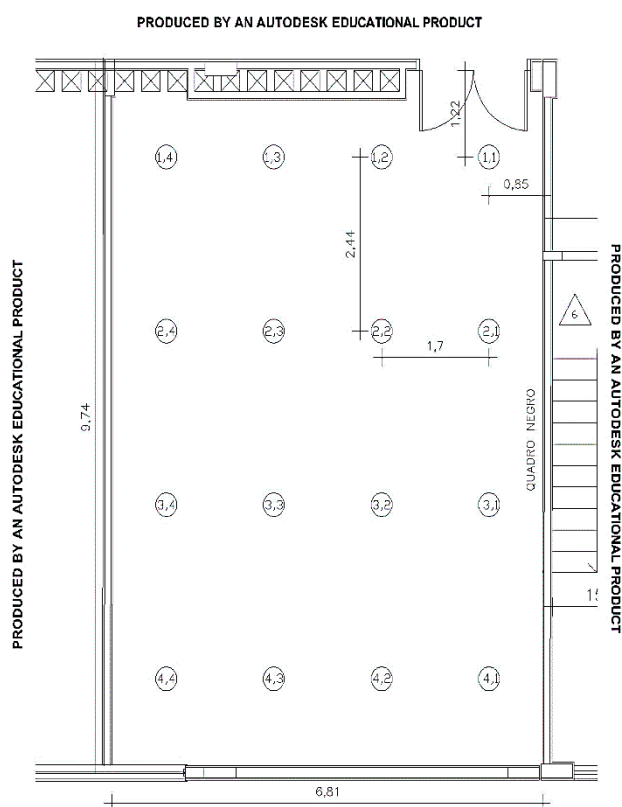


Esta sala possui iluminância média superior a indicada por norma para salas de aula, mesmo possuindo muitos pontos abaixo do indicado pela norma. Para estes pontos abaixo da norma haveria a necessidade de uma complementação com iluminação artificial para que nestes locais as atividades pudessem ser realizadas sem maiores esforços pelos usuários. Parte desta

deficiência pode ser resultado das adaptações projetuais após construção da sala visando atender as necessidades da universidade. A iluminação insuficiente pode prejudicar a concentração e o aprendizado dos estudantes sentados nas proximidades destes pontos da sala de aula. Na Figura 10 é apresentado uma vista em perspectiva da Sala 3Q-305, em que observa-se também uma janela que acabou sendo dividida devido a divisão da sala de aula durante a etapa construtiva da mesma.

A sala 3Q-306 localizada no lado oposto da sala 3Q-305 foi a segunda analisada. Para esta sala, o valor de K foi de 1,72 e a quantidade de pontos para medição é 16 (Figura 11).

Figura 11 - Pontos de Medição Sala 3Q-306



Como as características da sala 3Q-306 são semelhantes a da sala 3Q-305. No entanto, nota-se pela Tabela 17 que o desempenho luminoso desta sala ficou abaixo da sala 3Q-305, inclusive, todos os pontos de medição novamente apresentaram FLD menor que 2%. Atribui-se parte desta deficiência a localização da sala e a falta de manutenção nos brises das janelas.

Tabela 17 - Resultados obtidos para a iluminação Natural Sala 3Q-306

		Medida (m)	Índice (K)	Pontos a serem medidos (n)		n utilizado	
Comprimento		6,81	1,72	K < 1	9	16	
Largura		9,74		1 ≤ K < 2	16	n divisões	
Altura		2,33		2 ≤ K < 3	25	4	
Área (m²)		66,4		K>3	36		
Pontos de Medição					Pontos de Medição		
Linha	Coluna	Iluminância Medida (P)	Iluminância Média (Em)		Linha	Coluna	Fator Luz do Dia (FLD)
1	1	30,2	75,93125		1	1	0,05%
2	1	27,9	Iluminância Externa (E)		2	1	0,04%
3	1	25	65000		3	1	0,04%
4	1	30,4	Fator Luz do Dia Médio (FLDm)		4	1	0,05%
1	2	42,1			1	2	0,06%
2	2	43,9	0,12%		2	2	0,07%
3	2	41,8	Iluminância Indicada para Salas de Aula		3	2	0,06%
4	2	42			4	2	0,06%
1	3	68,6	300		1	3	0,11%
2	3	80			2	3	0,12%
3	3	74,9			3	3	0,12%
4	3	76,3			4	3	0,12%
1	4	134,7			1	4	0,21%
2	4	164,3			2	4	0,25%
3	4	144,2			3	4	0,22%
4	4	188,6			4	4	0,29%

Por meio do Gráfico 21 é possível observar as diferenças significativas na iluminação natural nos pontos avaliados. Devido ao problema dos brises e a sala ficar próxima as paredes do anfiteatro do bloco, e também as paredes da rampa de acessibilidade do bloco reduzirem a incidência de luz no ambiente, a iluminância em todos os pontos foi bem inferior ao necessário para execução de atividades em sala de aula. Na Figura 12 é mostrado uma vista em perspectiva da sala 3Q-306 com a luz natural adentrando no ambiente.

Os resultados alcançados mostram que os pontos próximos a janela são os que possuem a maior quantidade de lux no ambiente, porém ainda inferior ao necessário para a atividade. Se comparar o ponto com maior iluminância e o ponto com menor, a diferença entre os dois é de aproximadamente seis vezes. Nesta sala não há iluminação natural suficiente para que a mesma possa ser considerada como a fonte única de iluminação. Seria necessário utilizar durante todo o dia a iluminação artificial para possibilitar as atividades didáticas dentro do ambiente.

Gráfico 21 - Resultados obtidos para a iluminação natural da Sala 3Q-306

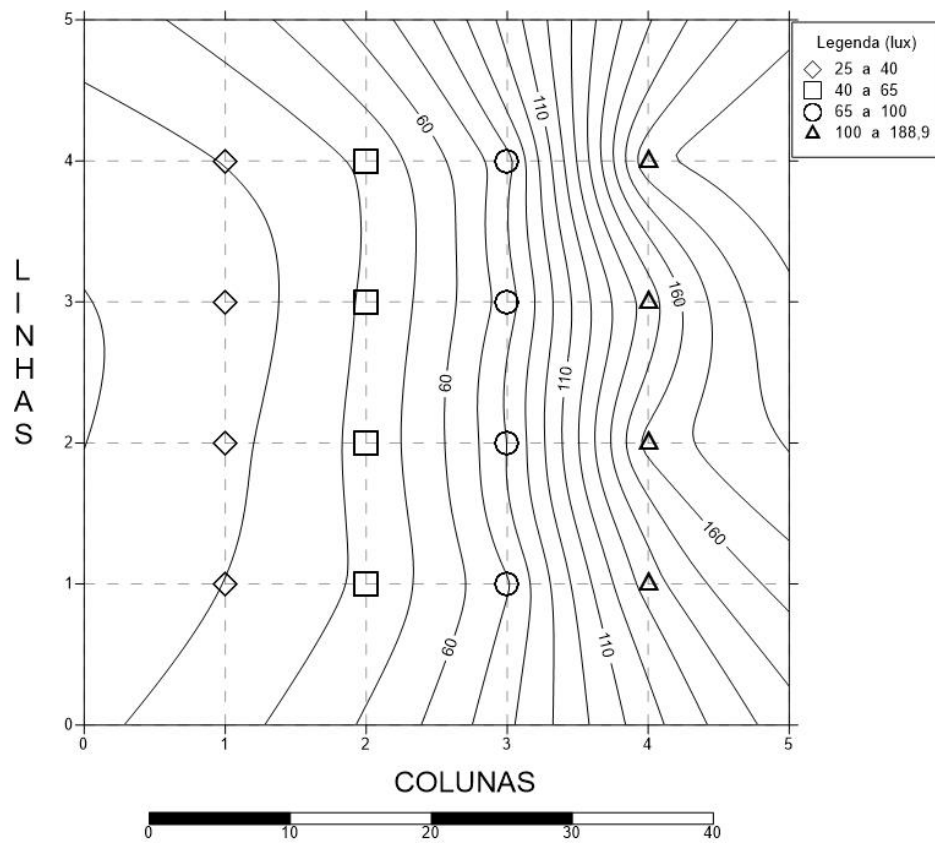


Figura 12 – Vista em perspectiva da Sala 3Q-306



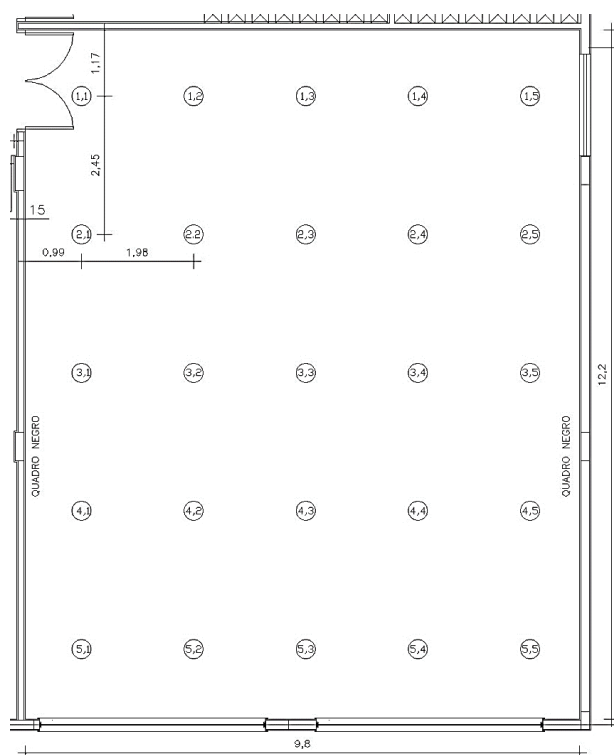
Assim como ocorreu na sala 3Q-305, nota-se que também nesta sala as carteiras estão com os assentos de costas para as janelas, fazendo com que assim os alunos não aproveitem a

iluminação natural presente no ambiente como auxiliador para realização das atividades, nota-se também assim como na sala anterior que há uma janela dividida com a sala ao lado, devido a divisão que ocorreu também nesta sala durante a etapa construtiva.

No bloco 3Q, a última sala analisada foi a 3Q-312. Sua localização é semelhante a sala 3Q-306. Suas dimensões são maiores do que as dimensões das salas 3Q-305 e 3Q-306. Para este ambiente foram avaliados 25 pontos de medição, pois o parâmetro K foi de 2,35. Cada ponto ficou distante entre si horizontalmente em 1,98m e verticalmente ficou em 2,45m.

Na Figura 13 é apresentada a distribuição de pontos em toda a sala para realização da medição.

Figura 13 - Pontos de Medição Sala 3Q-312



Observa-se pela Tabela 18, que os resultados obtidos para a iluminação natural foram semelhantes as salas anteriormente analisadas. Apesar de não existir problemas com os brises da sala e também a área externa das janelas não ser prejudicada por construções próximas a ela, a sala não pode utilizar a iluminação natural como fonte única de iluminação, pois há pontos muito abaixo do necessário para realizar atividades de acordo com a norma ABNT NBR 5413:1992. A iluminância média foi superior ao necessário para o ambiente, no entanto, isto foi provocado pelos altos valores medidos em alguns pontos. O fato é que praticamente todos

os pontos da sala necessitam de auxílio da iluminação artificial para que os usuários pudessem exercer suas atividades.

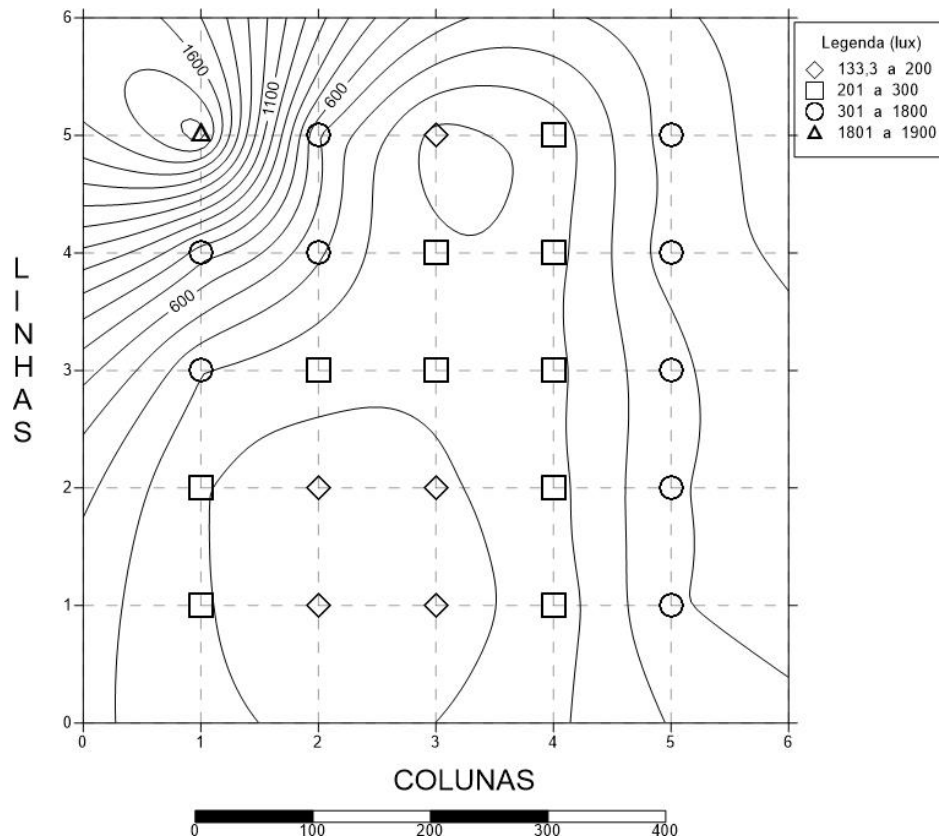
Tabela 18 - Resultados obtidos para a iluminação Natural Sala 3Q-312

		Medida (m)	Índice (K)	Pontos a serem medidos (n)		n utilizado
Comprimento		9,89	2,35	$K < 1$	9	25
Largura		12,24		$1 \leq K < 2$	16	n divisões
Altura		2,33		$2 \leq K < 3$	25	5
Área (m²)		121,1		K/3	36	
Pontos de Medição			Pontos de Medição			
Linha	Coluna	Iluminância Medida (P)	Iluminância Média (Em)	Linha	Coluna	Fator Luz do Dia (FLD)
1	1	212	384,02	1	1	0,33%
2	1	209	Iluminância Externa (E)	2	1	0,32%
3	1	307	65000	3	1	0,47%
4	1	744	Fator Luz do Dia Médio (FLDm)	4	1	1,14%
5	1	1852		5	1	2,85%
1	2	133,3	0,59%	1	2	0,21%
2	2	172	Iluminância Indicada para Salas de Aula	2	2	0,26%
3	2	239		3	2	0,37%
4	2	419		4	2	0,64%
5	2	505		5	2	0,78%
1	3	162,3		1	3	0,25%
2	3	189,3		2	3	0,29%
3	3	220		3	3	0,34%
4	3	220		4	3	0,34%
5	3	169,6		5	3	0,26%
1	4	245		1	4	0,38%
2	4	272		2	4	0,42%
3	4	277		3	4	0,43%
4	4	270		4	4	0,42%
5	4	244		5	4	0,38%
1	5	490		1	5	0,75%
2	5	483		2	5	0,74%
3	5	469		3	5	0,72%
4	5	553		4	5	0,85%
5	5	544		5	5	0,84%

No Gráfico 22 é apresentado o resultado obtido para a iluminação natural da sala 3Q-312. Muitos pontos estão abaixo do ideal, sendo estes pontos representados por losangos e quadrados no gráfico. Os pontos representados por círculos tais como os pontos P_{4,1}, P_{4,2}, P_{5,2} e P_{1,5} a P_{5,5},

foram pontos que possuíram valores acima do necessário. O ponto $P_{5,1}$ representado no gráfico por um triângulo recebia incidência do sol direta, isso porque os brises da sala estavam abertos. Por ser o ponto mais próximo a janela do fundo da sala, isto justificaria seu alto valor de iluminância de 1852 lux, como é observado na Figura 14.

Gráfico 22 - Resultados obtidos para a iluminação natural da Sala 3Q-312



Alunos sentados na região da sala próxima a janela do fundo teriam dificuldade de se manter nestes locais, primeiro devido aos reflexos dos raios solares em seus cadernos e livros e segundo porque eles sofreriam com incidência direta do sol o que tende a elevar a temperatura naquela região. Uma forma de reduzir este problema, seria a utilização nesta janela de vidros duplos para atenuar um pouco a incidência dos raios solares assim como, uma utilização no grau de inclinação dos brises de tal forma que os mesmos não atrapalhe no aproveitamento da iluminação natural que entra dentro da sala de aula e auxilia na redução da utilização da iluminação artificial dentro do espaço físico.

Figura 14 – Janela do Fundo Sala 3Q-312



Figura 15 - Janelas Laterais Sala 3Q-312



Os pontos localizados afastados das janelas apresentaram valores abaixo do esperado para iluminância indicada para o ambiente, o que justificaria quase todos os pontos ficarem abaixo do fator mínimo de luz dia para o ambiente. As possíveis causas para este problema são primeiramente a área do ambiente e segundo por ele possuir uma janela pequena no fundo da

plano de trabalho. Com essa quantidade de pontos a análise da sala ficou uniforme deixando os pontos conforme mostrado na Figura 16.

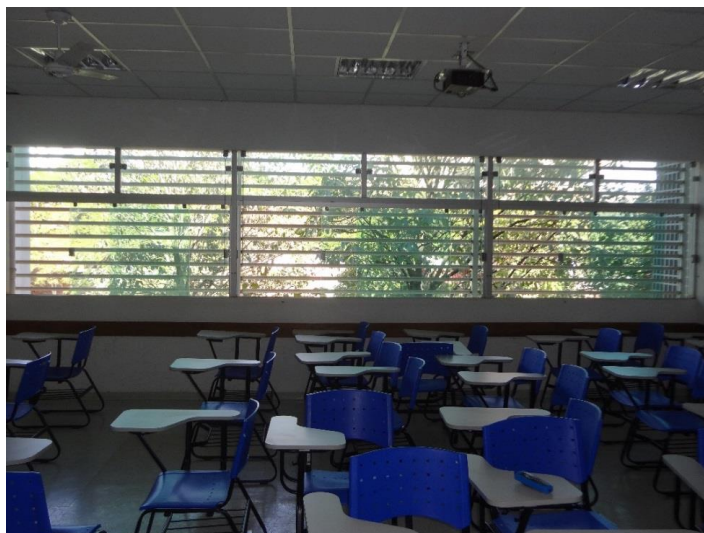
A distância horizontal entre os pontos foi de 1,46 m e a vertical de 1,49 m (Figura 16). A proximidade entre eles também permitiu checar se há uma maior variação do fluxo luminoso para pontos mais próximos.

Tabela 19 - Resultados obtidos para a iluminação Natural Sala 50-206

		Medida (m)	Índice (K)	Pontos a serem medidos (n)		n utilizado
Comprimento		7,32	2,17	$K < 1$	9	25
Largura		7,46		$1 \leq K < 2$	16	n divisões
Altura		1,70		$2 \leq K < 3$	25	5
Área (m²)		54,6		K/3	36	
Pontos de Medição				Pontos de Medição		
Linha	Coluna	Iluminância Medida (P)	Iluminância Média (Em)	Linha	Coluna	Fator Luz do Dia (FLD)
1	1	80,6	132,56	1	1	0,12%
2	1	75,9	Iluminância Externa (E)	2	1	0,12%
3	1	81,5	65000	3	1	0,13%
4	1	77,3	Fator Luz do Dia Médio (FLDm)	4	1	0,12%
5	1	70,4		5	1	0,11%
1	2	83,5	0,20%	1	2	0,13%
2	2	93,3	Iluminância Indicada para Salas de Aula	2	2	0,14%
3	2	89,5		3	2	0,14%
4	2	90,1		4	2	0,14%
5	2	96,4		5	2	0,15%
1	3	125,6		1	3	0,19%
2	3	133,3		2	3	0,21%
3	3	130,3		3	3	0,20%
4	3	138		4	3	0,21%
5	3	131		5	3	0,20%
1	4	170,5		1	4	0,26%
2	4	193,2		2	4	0,30%
3	4	193		3	4	0,30%
4	4	201		4	4	0,31%
5	4	190,1		5	4	0,29%
1	5	159,8		1	5	0,25%
2	5	200		2	5	0,31%
3	5	170,8		3	5	0,26%
4	5	187,6		4	5	0,29%
5	5	151,2		5	5	0,23%

Os dados apresentados na Tabela 19 mostram que os valores da iluminância média foram menores que o esperado para uma sala com janelas todas de vidros e com os brises funcionando muito bem como mostrado na Figura 17. Esta observação ocorreu devido nenhum ponto possuir iluminação adequada para a execução das tarefas destinadas naquele ambiente.

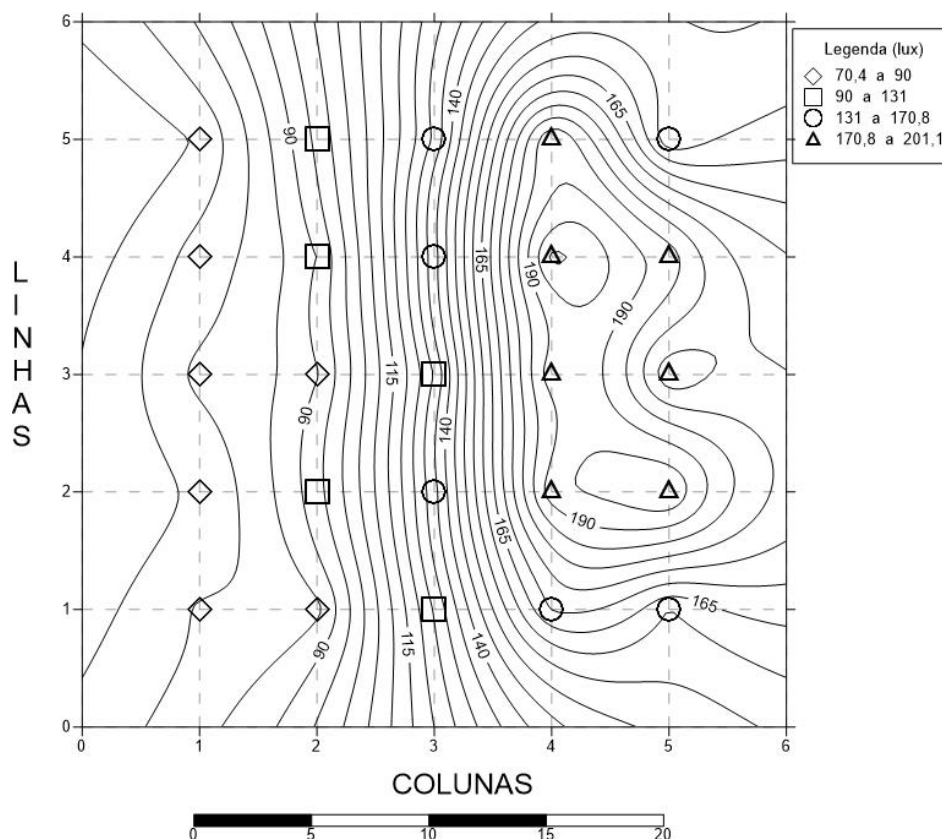
Figura 17 - Janelas Sala 5O-206



Observa-se pela Figura 17 que as janelas são amplas e permitem uma boa entrada de luz no ambiente, entretanto não foi o suficiente para atender o mínimo de iluminação necessária para que a sala tivesse uma maior eficiência energética adotando apenas a iluminação natural como uma única fonte de luz, para o ambiente. Haverá a necessidade de utilizar uma fonte complementar para a iluminação natural.

Uma causa para essa baixa luminosidade dentro da sala são as copas das árvores em frente à sala. No Gráfico 23 observa-se que os pontos próximos a janela possuem luminosidade inferior aos pontos localizados na quarta coluna. Estas árvores funcionam como barreiras para o sol externo no ambiente, catalizadores naturais de calor e também como brises naturais para a sala. Tanto que nos meses iniciais de funcionamento do bloco não haviam brises nesta sala apenas as árvores em frente as salas faziam durante alguns meses do ano a redução da iluminação natural dentro da sala de aula.

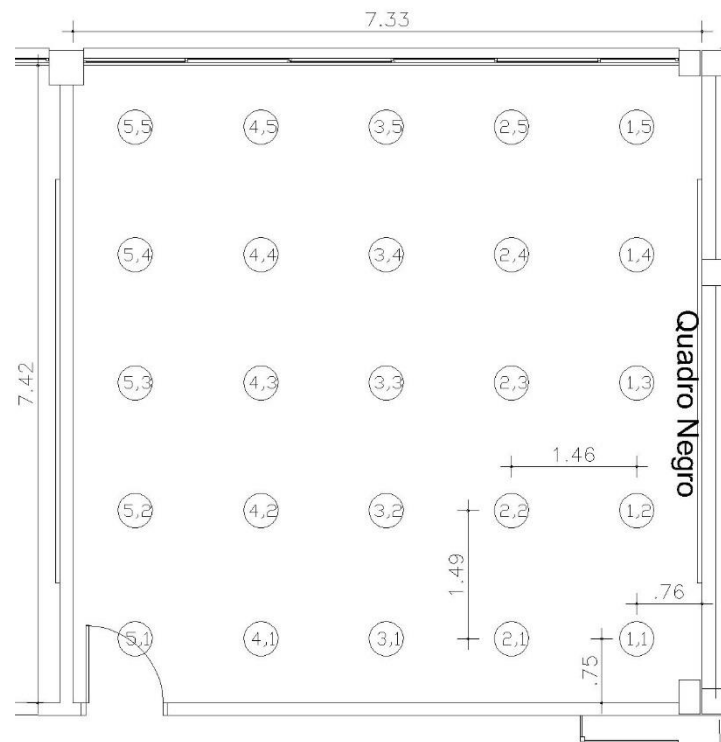
Gráfico 23 - Resultados obtidos para a iluminação natural da Sala 50-206



A seguir são apresentados os resultados obtidos para a sala 50-207, localizada em frente à sala anterior com características e dimensões semelhantes. Esta sala apresentou um desempenho de iluminância média no ambiente melhor, como pode ser observado na Tabela 20. Sua localização sem salas próximas ao seu redor permitiu o melhor aproveitamento da luz solar em todos os pontos distribuídos conforme mostrado na Figura 18.

Conforme a Tabela 20, o valor de K e a distribuição de pontos foi idêntica à da sala anterior. Porém um dos fatores que são mais notórios nesta sala é o alto valor da luminosidade da sala de aula com os brises abertos e as janelas abertas. Esta condição permitiu uma ótima penetração da luz solar no ambiente permitindo até que a iluminação natural fosse adotada como uma única fonte luminosa para o ambiente. A iluminância natural para a sala foi superior ao recomendado para salas de aula, o valor ficou em aproximadamente 939 lux, ou seja, três vezes maior que o recomendado para salas de aula. Na maior parte dos pontos medidos a iluminação é considerada desejável, para as atividades. Em outros pontos a mesma passa a ser tolerável devido ao alto valor da iluminância e apenas em dois pontos a mesma é considerada como um fator de desconforto visual.

Figura 18 - Pontos de Medição Sala 5O-207



Esses valores excessivos de iluminância como mostrado no Gráfico 24, são notados em praticamente toda a sala. Isto pode trazer problemas de concentração dos alunos e reflexos excessivos em materiais individuais e no quadro negro utilizados pelos docentes para lecionar. Uma forma de reduzir esta penetração excessiva de raios solares seria a utilização de janelas com vidro duplo, para evitar o desconforto causado pelos raios. Utilização das light shelves para melhor distribuição da iluminação dentro do espaço físico, a própria utilização dos brises existentes nas janelas da sala de aula já auxiliam na redução da iluminação natural dentro do espaço físico, porém reduzem o aproveitamento e distribuição desta iluminação dentro da sala de aula.

Na 5ª coluna os pontos representados por triângulos, a luminosidade é relativamente alta em alguns pontos como o P_{2,5} e o P_{3,5}, chegando a ser sete vezes maior que o recomendado por norma para este ambiente.

Tabela 20 - Resultados obtidos para a iluminação Natural Sala 50-207

		Medida (m)	Índice (K)	Pontos a serem medidos (n)		n utilizado
Comprimento		7,32	2,17	$K < 1$	9	25
Largura		7,46		$1 \leq K < 2$	16	n divisões
Altura		1,70		$2 \leq K < 3$	25	5
Área (m²)		54,6		K/3	36	
Pontos de Medição				Pontos de Medição		
Linha	Coluna	Iluminância Medida (P)	Iluminância Média (Em)	Linha	Coluna	Fator Luz do Dia (FLD)
1	1	451	939,4	1	1	0,69%
2	1	443	Iluminância Externa (E)	2	1	0,68%
3	1	443	65000	3	1	0,68%
4	1	440	Fator Luz do Dia Médio (FLDm)	4	1	0,68%
5	1	300		5	1	0,46%
1	2	454	1,45%	1	2	0,70%
2	2	498	Iluminância Indicada para Salas de Aula	2	2	0,77%
3	2	506		3	2	0,78%
4	2	475	300	4	2	0,73%
5	2	457		5	2	0,70%
1	3	610		1	3	0,94%
2	3	718		2	3	1,10%
3	3	786		3	3	1,21%
4	3	760		4	3	1,17%
5	3	702		5	3	1,08%
1	4	886		1	4	1,36%
2	4	1180		2	4	1,82%
3	4	1330		3	4	2,05%
4	4	1192		4	4	1,83%
5	4	1128		5	4	1,74%
1	5	1677		1	5	2,58%
2	5	2190		2	5	3,37%
3	5	2210		3	5	3,40%
4	5	1898		4	5	2,92%
5	5	1751		5	5	2,69%

Gráfico 24 - Resultados obtidos para a iluminação natural da Sala 50-207

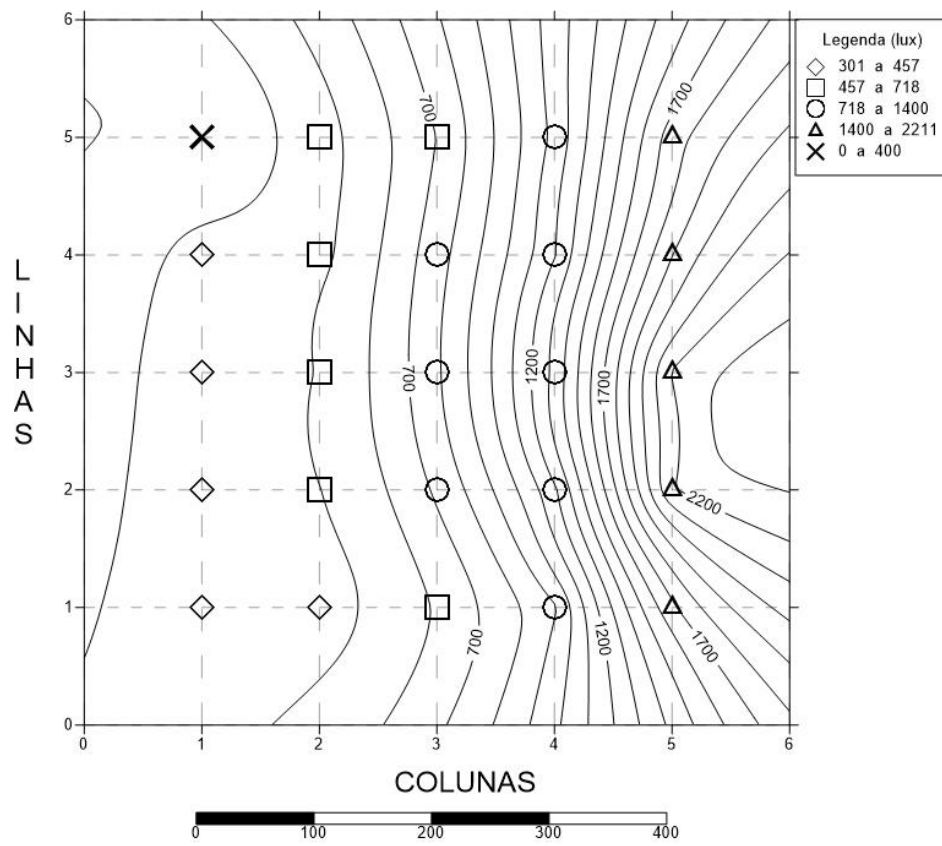


Figura 19 - Janelas da Sala 50-207



Observa-se através da Figura 19, a sala em perspectiva, sendo que para este local não há necessidade de manter os brises completamente abertos para atender a luminosidade mínima no ambiente.

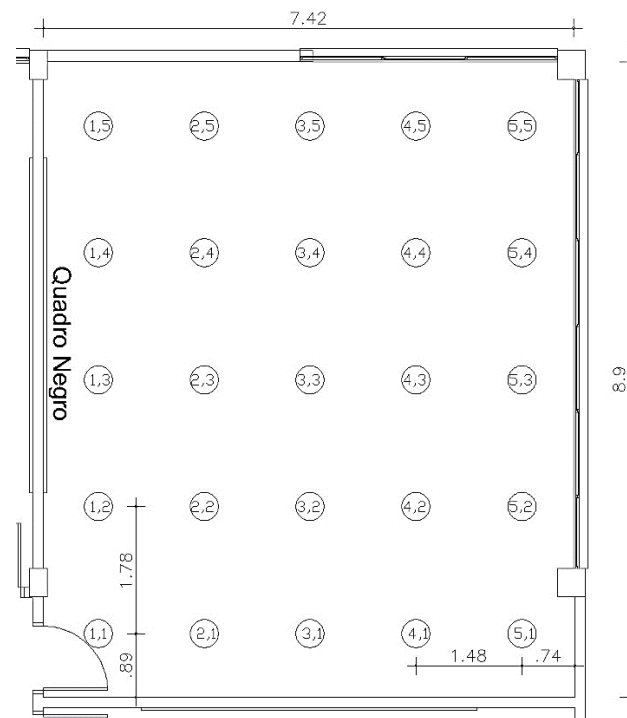
A última sala a ser realizado a análise de iluminação natural no bloco 5O foi a 5O-215. Esta sala fica no fundo do bloco com janelas no fundo da sala e uma janela na lateral. Observa-se a presença de árvores bem próximas a algumas janelas o que pode comprometer a entrada de luz para dentro do ambiente, como pode ser visualizado na Figura 20.

Figura 20 - Janelas da Sala 5O-215



Apesar de existir árvores próximas a estes pontos os seus resultados foram os maiores quando comparados a todas as demais salas. Apesar do fator luz do dia médio ser aproximadamente duas vezes maior que o indicado para salas de aula, a luz ambiente não é um fator prejudicial à sala devido a sua localização. O maior problema é que ao trabalhar com os brises todos abertos neste local o reflexo no quadro negro atrapalha alguns alunos dependendo do local em que estivessem sentados.

Figura 21 - Pontos de Medição Sala 5O-215



Na Tabela 21 são apresentados os resultados obtidos na análise da sala 5O-215. Para esta sala, o valor do parâmetro K foi igual a 2,38. Portanto, a área da sala foi avaliada por meio de 25 pontos. A distribuição destes pontos é mostrada na Figura 21.

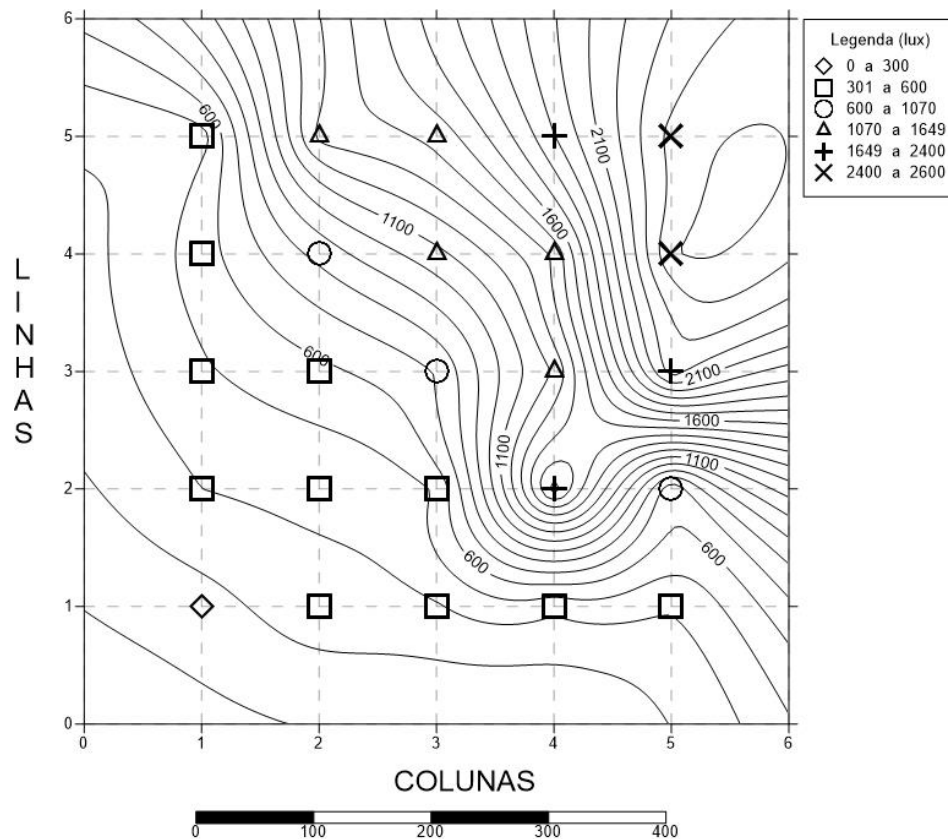
Alguns pontos apresentaram valores satisfatórios de iluminância natural como pode ser constatado na Tabela 21 e no Gráfico 25, chegando até quase duas vezes o valor indicado para sala de aula. Pontos localizados ao fundo das salas obtiveram os maiores valores de iluminância tais como os pontos P_{4,5} e P_{5,5} que estão representados no Gráfico 25 pelo "x".

Estes pontos possuem um alto valor de iluminância, superior a 2000lux, o que traria um certo desconforto aos usuários que estivessem sentados nos locais em que estão estes pontos. Apesar de não possuir uma incidência direta de luz solar nestes pontos, para os mesmos seria interessante a utilização de pelos menos vidros duplos nas janelas próximas para evitar que a iluminação natural não atrapalhe na execução das atividades dos alunos dentro da sala de aula.

Tabela 21 - Resultados obtidos para a iluminação Natural Sala 5O-215

		Medida (m)	Índice (K)	Pontos a serem medidos (n)		n utilizado
Comprimento		7,42	2,38	K < 1	9	25
Largura		8,90		1 ≤ K < 2	16	n divisões
Altura		1,70		2 ≤ K < 3	25	5
Área (m²)		66,0		K/3	36	
Pontos de Medição				Pontos de Medição		
Linha	Coluna	Iluminância Medida (P)	Iluminância Média (Em)	Linha	Coluna	Fator Luz do Dia (FLD)
1	1	261	984,76	1	1	0,40%
2	1	400	Iluminância Externa (E)	2	1	0,62%
3	1	487	65000	3	1	0,75%
4	1	560	Fator Luz do Dia Médio (FLDm)	4	1	0,86%
5	1	454		5	1	0,70%
1	2	367	1,52%	1	2	0,56%
2	2	437	Iluminância Indicada para Salas de Aula	2	2	0,67%
3	2	578		3	2	0,89%
4	2	831	300	4	2	1,28%
5	2	1328	Fator de Luz mínimo para Salas de Aula	5	2	2,04%
1	3	389		1	3	0,60%
2	3	512	2,00%	2	3	0,79%
3	3	708		3	3	1,09%
4	3	1070		4	3	1,65%
5	3	1436		5	3	2,21%
1	4	430		1	4	0,66%
2	4	1649		2	4	2,54%
3	4	1210		3	4	1,86%
4	4	1419		4	4	2,18%
5	4	1895		5	4	2,92%
1	5	411		1	5	0,63%
2	5	617		2	5	0,95%
3	5	2250		3	5	3,46%
4	5	2490		4	5	3,83%
5	5	2430		5	5	3,74%

Gráfico 25 - Resultados obtidos para a iluminação natural da Sala 50-215

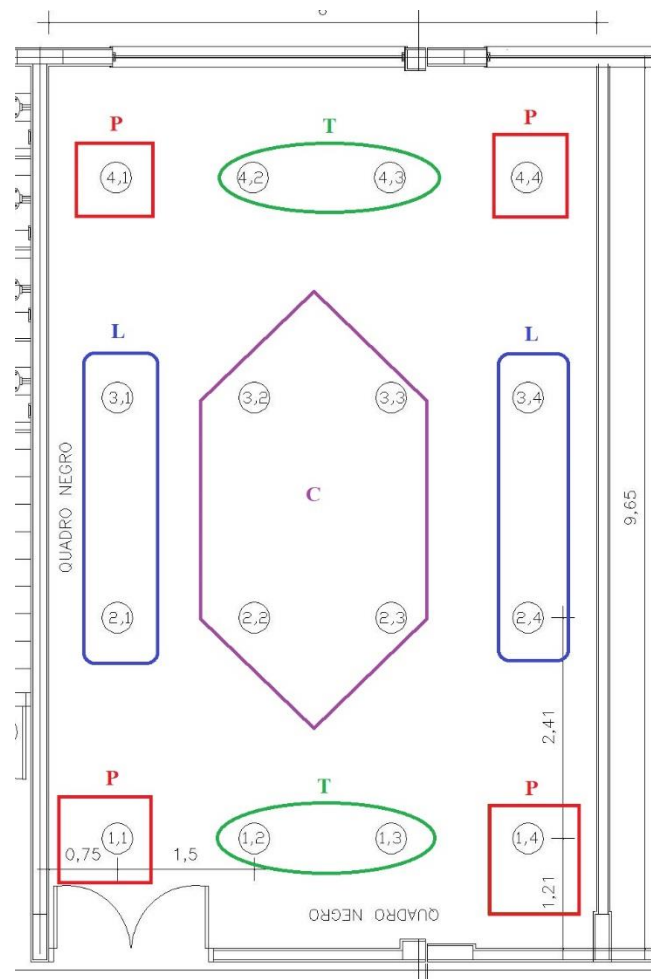


4.3 ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

Aqui serão apresentadas as análises quanto a utilização da luz artificial nas salas de aula. O objetivo é verificar se estas salas apresentam condições de iluminação adequadas para o estudo dos alunos que utilizam o ambiente no período noturno. Esta preocupação é importante visto que diferentemente dos alunos dos períodos diurnos e vespertinos que possuem o auxílio da luz natural caso haja falhas na iluminação artificial, os alunos do período noturno não possuirão auxílio nestas situações.

Os pontos MC, ML, MT e MP são mostrados na Figura 22. Nota-se que todos os pontos demarcados nas salas foram utilizados para avaliar a distribuição da iluminação dentro das salas de aulas.

Figura 22 - Distribuição dos pontos Análise Sala 3Q-305



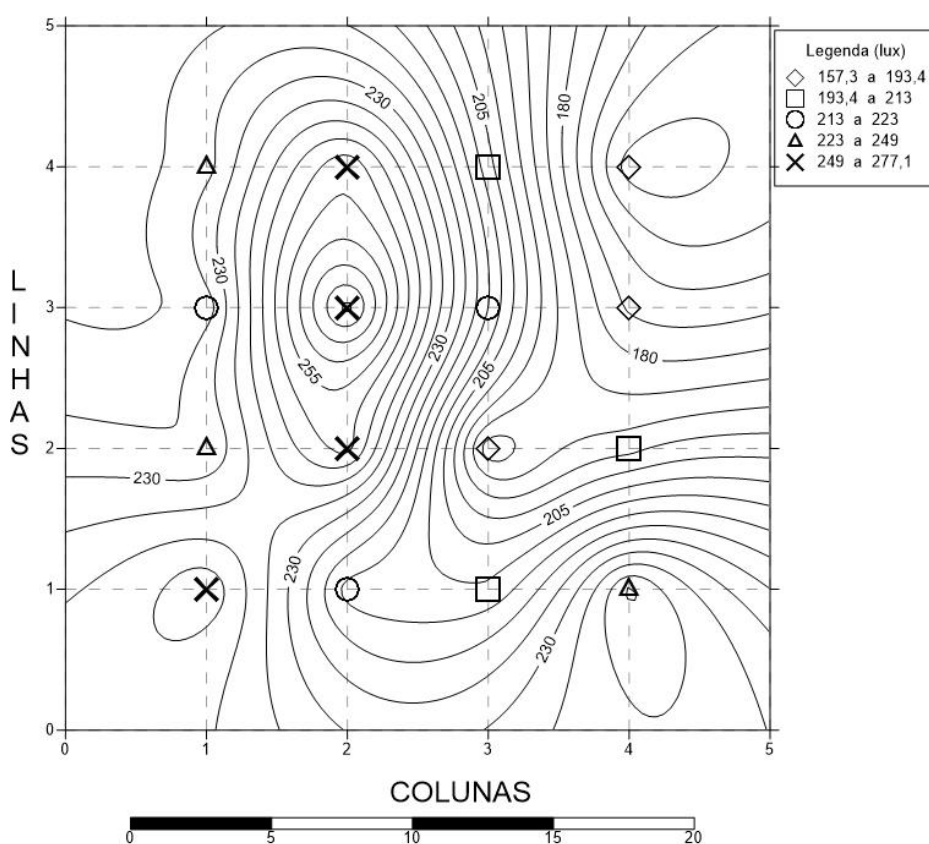
Na Tabela 22 são mostrados os pontos utilizados para medição com suas respectivas legendas, juntamente com os mesmos são observados os resultados da iluminação artificial no ambiente, a quantidade de luminárias na sala e quantas linhas de luminárias possuem na mesma. Isto tudo é levado em consideração para o cálculo da luminância média do ambiente.

Tabela 22 - Levantamento Iluminação Artificial Sala 3Q-305

1,1 (P2)	2,1 (L2)	3,1 (L1)	4,1 (P3)	1,2 (T4)	2,2 (C4)	3,2 (C3)	4,2 (T2)
249	225	222	223	213	252	277	254
1,3 (T3)	2,3 (C2)	3,3 (C1)	4,3 (T1)	1,4 (P4)	2,4 (L4)	3,4 (L3)	4,4 (P1)
211	181,5	215	207	246	193,4	174,2	157,3
Iluminância Média	223,7	Número de Luminárias		8	Número de Linhas		2

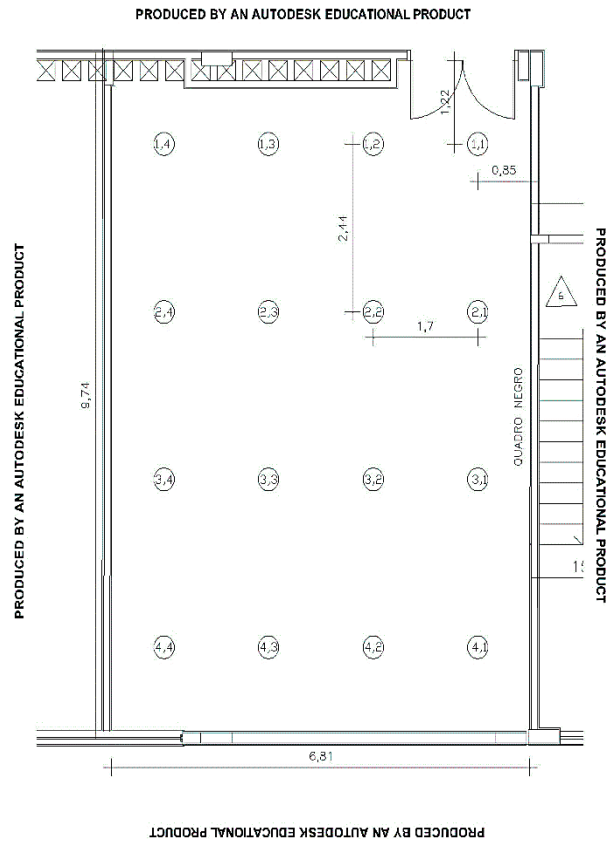
Para a sala 3Q-305, o valor da iluminância média do ambiente (223,7 lux) está abaixo do necessário para salas de aula que é 300 lux, conforme especificado na norma ABNT NBR 5413:1992. Vale ressaltar que esta sala é resultado de uma adaptação realizada para atender a demanda de salas pela Universidade, ou seja, a sala 3Q-305 e a sala 3Q-306 no projeto eram salas com dimensões bem maiores. Assim, observou-se que devido a subdivisão duas linhas de luminárias ficaram próximas a parede onde ficam os quatro últimos pontos medidos. No Gráfico 26 são apresentados os resultados para a iluminação artificial em cada ponto da sala.

Gráfico 26 – Resultados obtidos para a Iluminação Artificial da Sala 3Q-305



Uma das principais observações a serem realizadas para esta sala é quanto ao baixo valor da luminosidade nos pontos $P_{3,4}$ e $P_{4,4}$ representados no gráfico por losangos. Estes são os pontos que possuem os menores valores de 174,2 e 157,3 lux, respectivamente. Apesar de estarem próximos a uma parede e possuírem luminárias nas suas proximidades, estes recebem menos iluminação, o que configura regiões inadequadas para a realização de tarefas no ambiente. A seguir será analisada a sala 3Q-306, seus pontos foram divididos como pode ser visto na Figura 23.

Figura 23 - Pontos de medição da Sala 3Q-306



Os pontos mostrados na Figura 23, são os mesmos utilizados na medição de iluminação natural. Para auxiliar no entendimento da Tabela 23, foi colocado na frente de cada ponto as respectivas identificações quanto a localização dos pontos. Estes seguiram a mesmo procedimento da sala anterior.

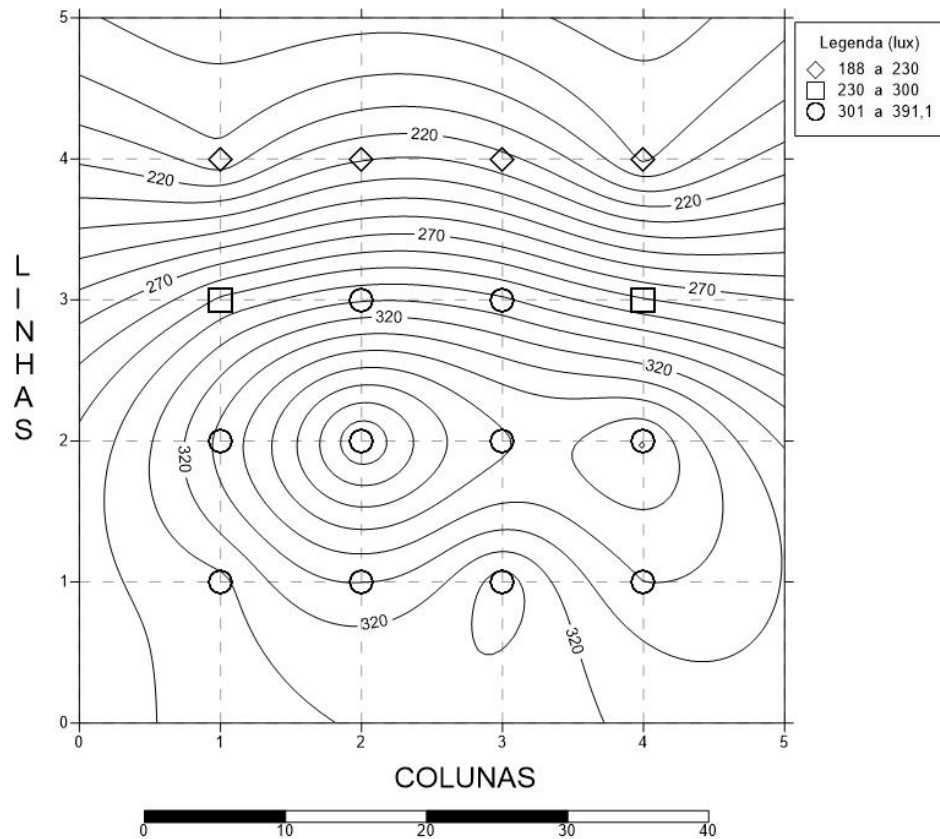
Tabela 23 - Levantamento Iluminação Artificial Sala 3Q-306

1,1 (P2)	2,1 (L2)	3,1 (L1)	4,1 (P3)	1,2 (T4)	2,2 (C4)	3,2 (C3)	4,2 (T2)
307	333	292	203	330	391	309	229
1,3 (T3)	2,3 (C2)	3,3 (C1)	4,3 (T1)	1,4 (P4)	2,4 (L4)	3,4 (L3)	4,4 (P1)
304	351	302	223	340	361	281	188
Luminância Média	302,1	Número de Luminárias		6	Número de Linhas		2

Nota-se que apesar de alguns pontos apresentarem iluminância com valores abaixo do recomendado (300 lux), o valor da iluminância média ficou acima do indicado para salas de aula. Um dos fatores que pode ter levado a estes resultados é a existência de um maior número

de luminárias nesta sala fazendo com que a distribuição de luminosidade no ambiente seja maior.

Gráfico 27 - Resultados obtidos para a Iluminação Artificial Sala 3Q-306



Outra observação que deve ser feita é quanto aos valores obtidos na iluminação dos pontos que estão na linha quatro do gráfico representados por losangos. Estes pontos estão localizados a esquerda da sala e apesar da parede branca refletir a luz, não foi o suficiente para que estes pontos apresentassem a iluminação adequada para as atividades de estudos. Isso ocorreu devido as fileiras de luminárias estarem mais próximas a faixa direita da sala e não distribuídas de forma uniforme.

A próxima sala a ser analisada, 3Q-312, é a maior sala em estudo no bloco 3Q. Na Figura 24 são mostrados os pontos de medição realizados dentro dela. Observe que há um aumento na quantidade de pontos centrais, tanto no meio da sala quanto em suas laterais, mas a distribuição é a mesma realizada para as salas anteriores, como é observado na Tabela 24.

Figura 24 - Pontos de medição Sala 3Q-312

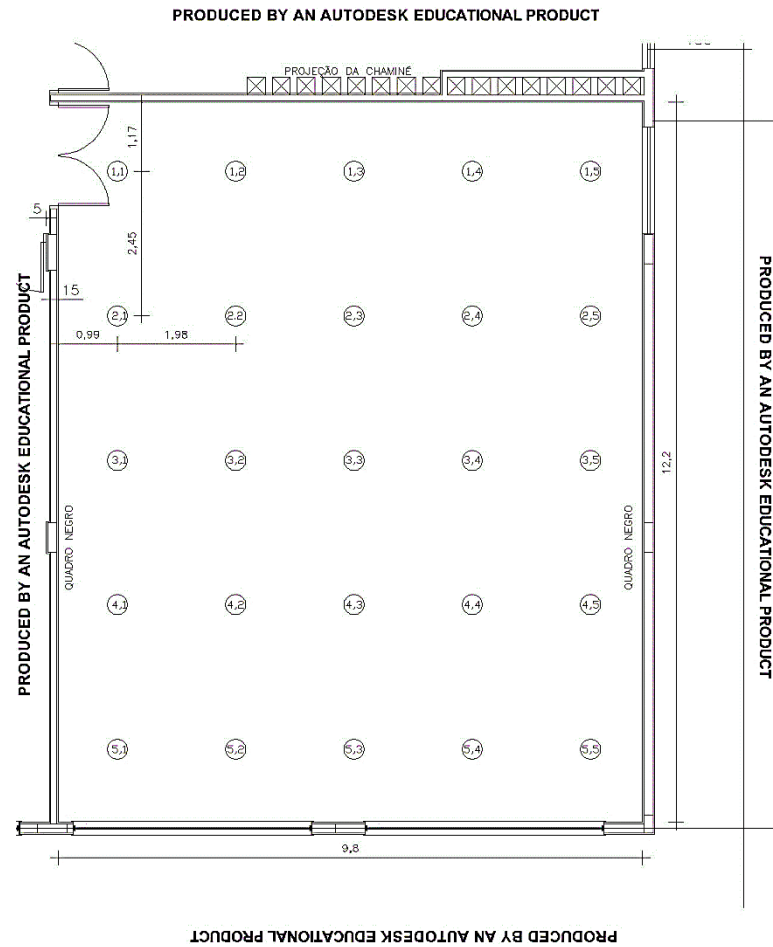
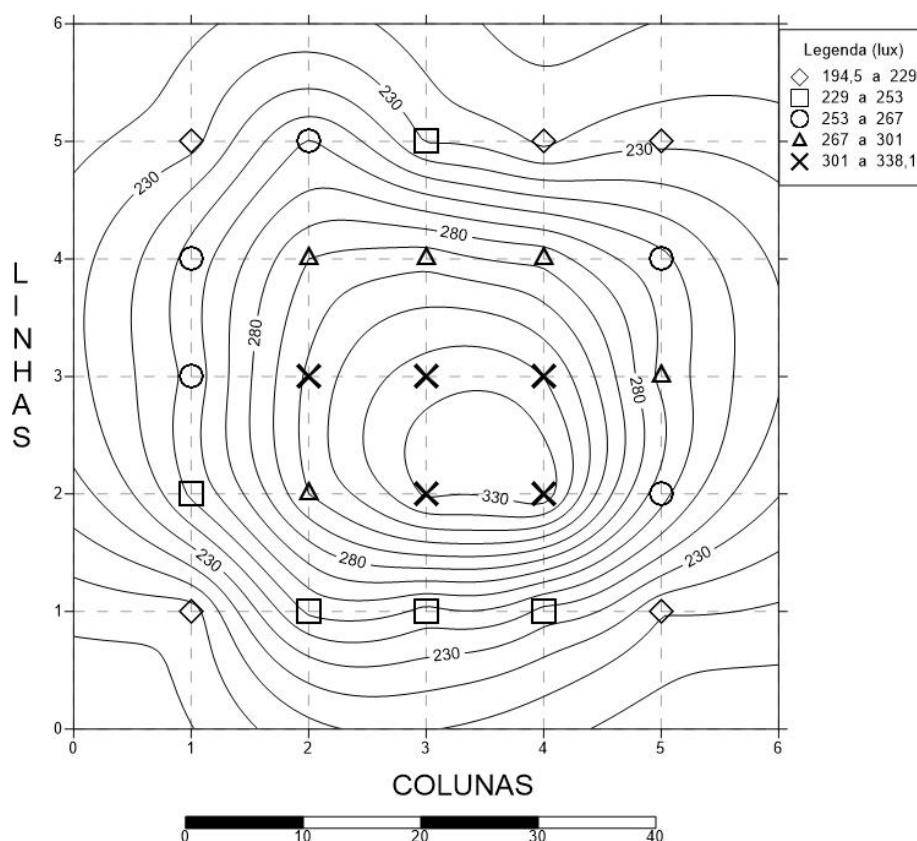


Tabela 24 - Levantamento Iluminação Artificial Sala 3Q-312

1,1 (P1)	2,1 (L1)	3,1 (L2)	4,1 (L3)	5,1 (P3)	1,2 (T1)	2,2 (C1)	3,2 (C4)
194,5	252	253	254	226	252	300	302
4,2 (C7)	5,2 (T4)	1,3 (T2)	2,3 (C2)	3,3 (C5)	4,3 (C8)	5,3 (T5)	1,4 (T3)
290	261	246	332	324	296	229	236
2,4 (C3)	3,4 (C6)	4,4 (C9)	5,4 (T6)	1,5 (P4)	2,5 (L4)	3,5 (L5)	4,5 (L6)
338	320	287	217	211	264	267	263
5,5 (P2)							
228							
Luminância Média	289,7	Número de Luminárias		16	Número de Linhas		4

Com os resultados obtidos e apresentados na Tabela 24, nota-se que apesar da sala 3Q-312 ter sido construída conforme projeto, ela apresentou um valor de iluminância média inferior ao adequado para salas de aula.

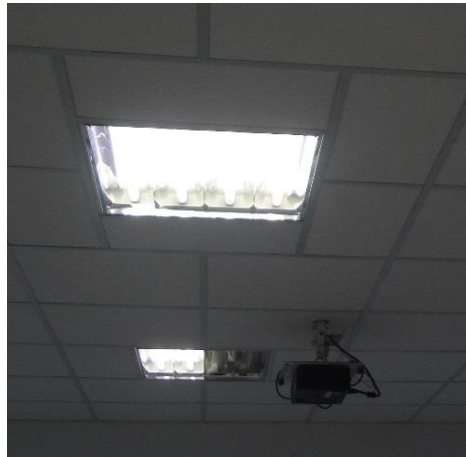
Gráfico 28 – Resultados obtidos para a Iluminação Artificial Sala 3Q-312



A iluminação artificial insuficiente pode ser associada a uma má distribuição das luminárias em toda a sala de aula, ou a uma escolha errada da luminária para estes ambientes. Isto porque em espaços maiores é necessário que as luminárias possuam uma maior capacidade de fluxo luminoso. Considerando que para todas as salas do bloco foram escolhidas o mesmo tipo de luminária, como uma forma de padronização as mesmas não foram capazes de atender as necessidades da sala 3Q-312. Caso tivessem optado por uma luminária com mesma quantidade de lâmpadas, porém com um fluxo luminoso maior a sala poderia atender aos parâmetros normativos. Pelo Gráfico 28 observa-se que apenas os pontos centrais representados por um “x”, obtiveram um valor de lux superior a necessidade do local, isto ocorreu devido a estes pontos estarem justamente abaixo das luminárias instaladas no local.

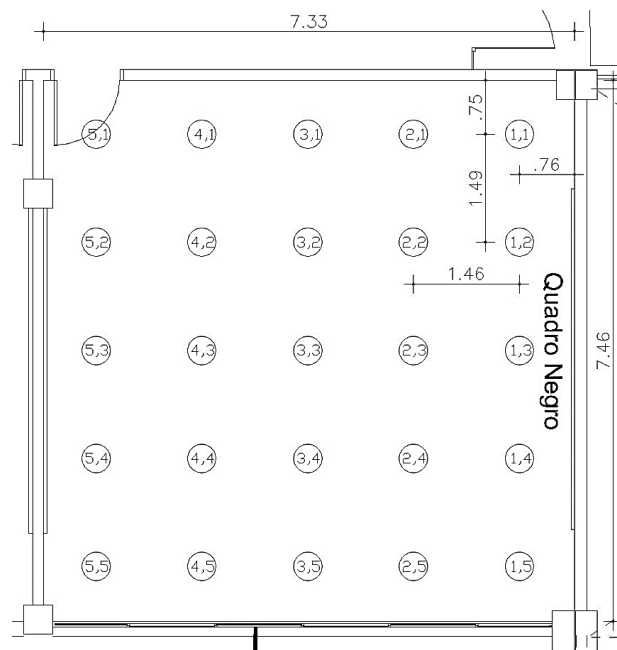
A próxima sala analisada foi a sala 5O-206. Este bloco possui luminárias diferentes das utilizadas no bloco 3Q como mostrado na Figura 25. As luminárias deste bloco possuem 04 lâmpadas ao contrário das luminárias do 3Q que possuíam apenas duas.

Figura 25 - Luminárias bloco 50



A distribuição dos pontos de medição da sala se deu conforme mostrado na Figura 26. Isto exemplifica a mesma necessidade de entender a distribuição da luminosidade da sala em todo o ambiente.

Figura 26 - Pontos de Medição 5O-206

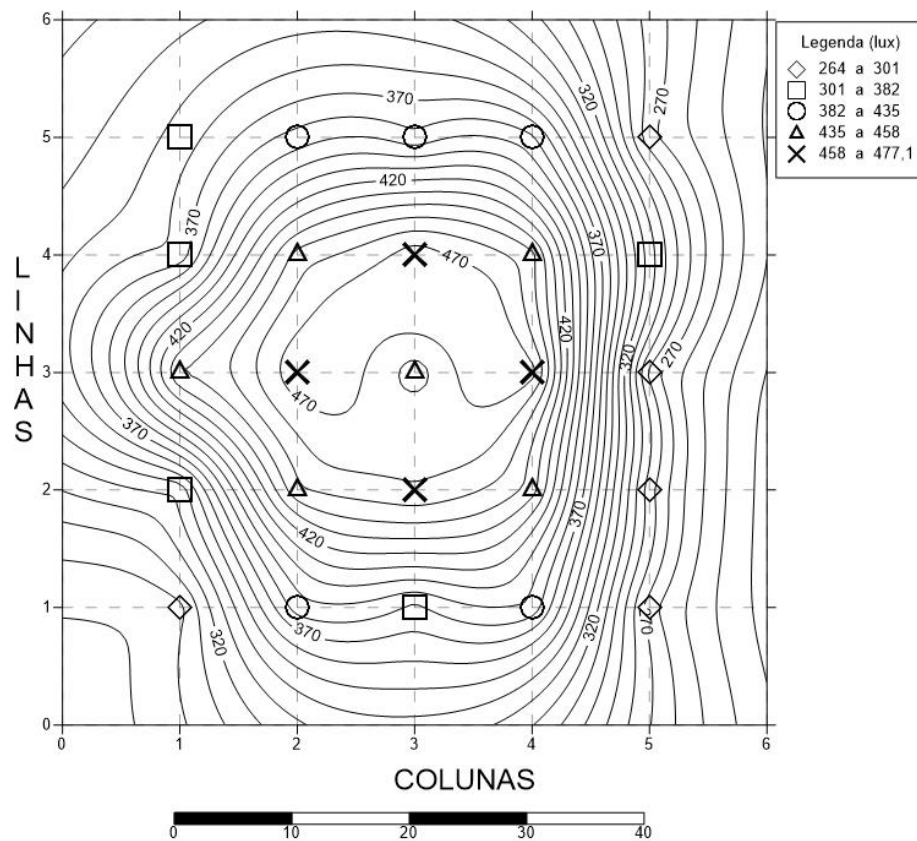


Na Tabela 25 são apresentados os resultados obtidos para iluminância artificial da sala 5O-206. Observa-se que foram poucos os pontos que ficaram abaixo do limite mínimo (300 lux) especificado na norma ABNT NBR 5413:1992.

Tabela 25 – Levantamento Iluminação Artificial Sala 50-206

1,1 (P1)	2,1 (L1)	3,1 (L2)	4,1 (L3)	5,1 (P3)	1,2 (T1)	2,2 (C1)	3,2 (C4)
297	333	440	363	354	385	448	477
4,2 (C7)	5,2 (T4)	1,3 (T2)	2,3 (C2)	3,3 (C5)	4,3 (C8)	5,3 (T5)	1,4 (T3)
454	384	377	458	454	476	383	387
2,4 (C3)	3,4 (C6)	4,4 (C9)	5,4 (T6)	1,5 (P4)	2,5 (L4)	3,5 (L5)	4,5 (L6)
435	475	453	382	264	284	276	315
(5,5) (P2)							
273							
Luminância Média	421,2	Número de Luminárias		9	Número de Linhas		3

Gráfico 29 - Resultados obtidos para a Iluminação Artificial Sala 50-206



Observa-se no Gráfico 29, pontos representados por losangos cuja iluminação ficaram abaixo do mínimo. Isto pode ser explicado pela distribuição do fluxo luminoso das luminárias visto que os pontos mais ao fundo da sala estão afastados das luminárias e não recebem a mesma luminosidade que outros pontos da sala de aula. Este, porém tem sido um dos problemas que interferem na iluminância no ambiente escolar, pois a não preocupação com as extremidades do ambiente pode torna-lo menos adequado para o aprendizado.

A próxima sala estudada foi a 5O-207. Ela possui características semelhantes a anterior. Os pontos de medição estão mostrados na Figura 27, e os resultados obtidos são apresentados na Tabela 26.

Figura 27 - Pontos de Medição Sala 5O-207

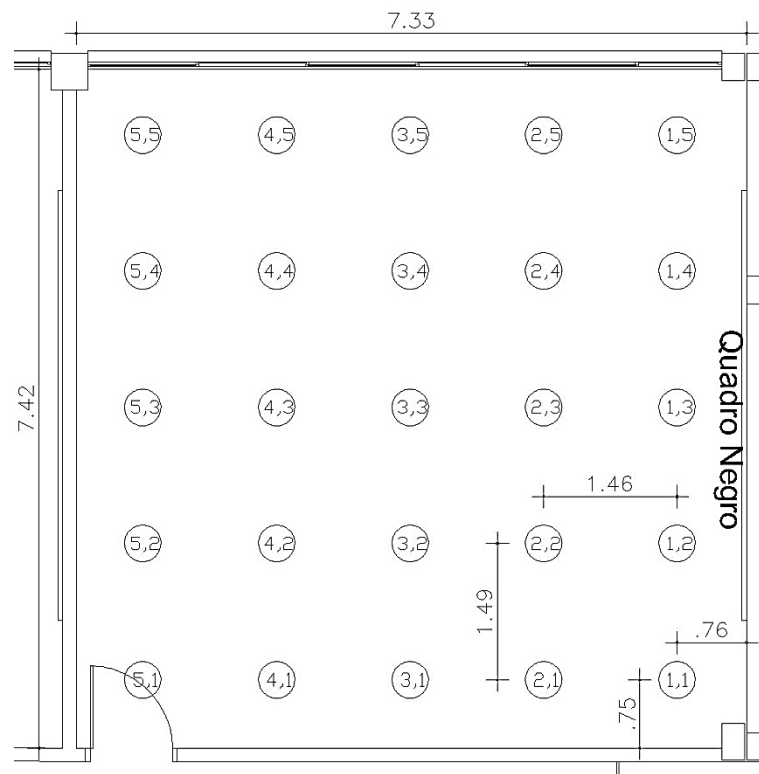
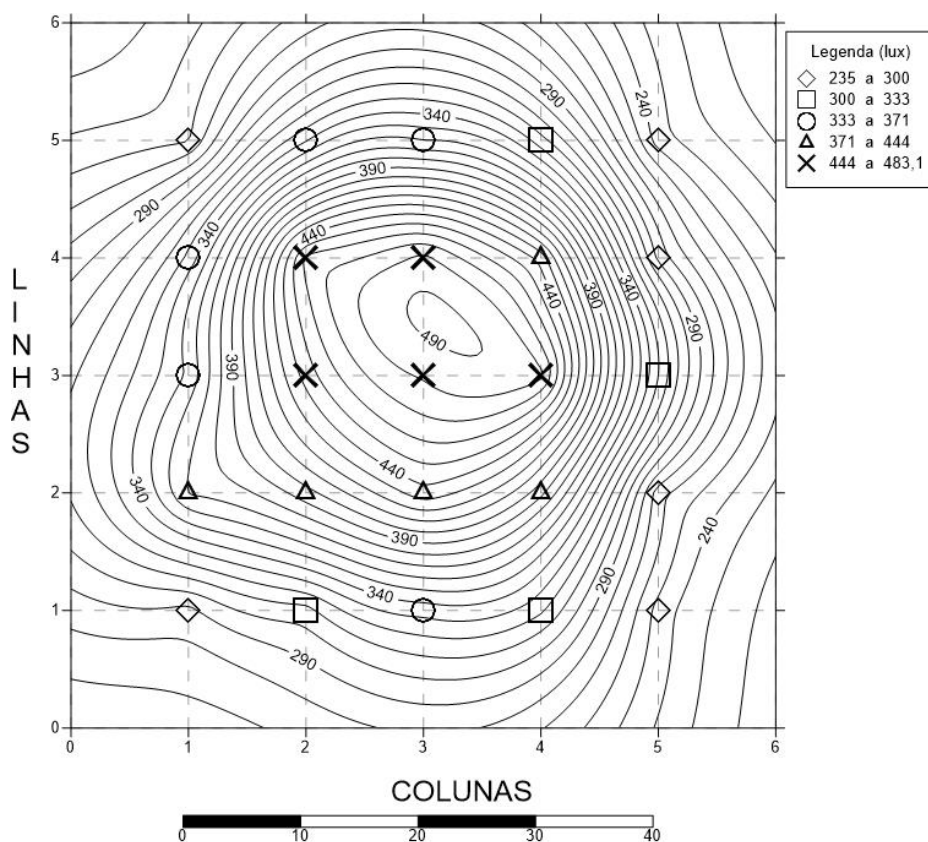


Tabela 26 - Levantamento Iluminação Artificial Sala 5O-207

1,1 (P1)	2,1 (L1)	3,1 (L2)	4,1 (L3)	5,1 (P3)	1,2 (T1)	2,2 (C1)	3,2 (C4)
287	371	352	333	259	306	396	444
4,2 (C7)	5,2 (T4)	1,3 (T2)	2,3 (C2)	3,3 (C5)	4,3 (C8)	5,3 (T5)	1,4 (T3)
463	339	334	436	481	483	360	322
2,4 (C3)	3,4 (C6)	4,4 (C9)	5,4 (T6)	1,5 (P4)	2,5 (L4)	3,5 (L5)	4,5 (L6)
393	483	436	324	246	264	330	287
5,5 (P2)							
235							
Luminância Média	395,8	Número de Luminárias	9	Número de Linhas	3		

Nota-se pela Tabela 26 que apesar de a luminância média do ambiente ter ficado acima do limite normativo, os pontos que se localizam próximos a janela representados pelos losangos têm iluminação inferior ao prescritos pela norma.

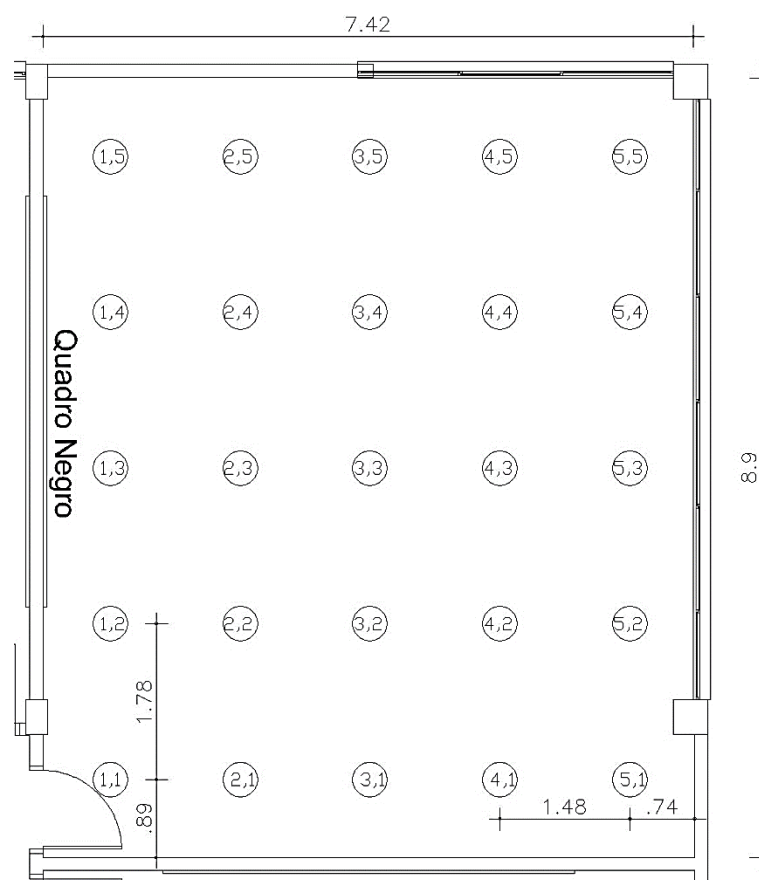
Gráfico 30 - Resultados obtidos para a Iluminação Artificial Sala 5O-207



Observa-se pela distribuição dos resultados mostrados no Gráfico 30 que a distribuição das luminárias na sala deveria ser um pouco mais aproximada da janela para que as atividades desenvolvidas pelos alunos sentados naquela região não fossem comprometidas pela falta de iluminação no ambiente.

Por fim a última sala a ser analisada foi a sala 5O-215, a maior sala em análise no bloco. Na Figura 28 são mostrados os pontos de medição para a correta análise da distribuição da iluminação artificial no local.

Figura 28 - Pontos de Medição 5O-215



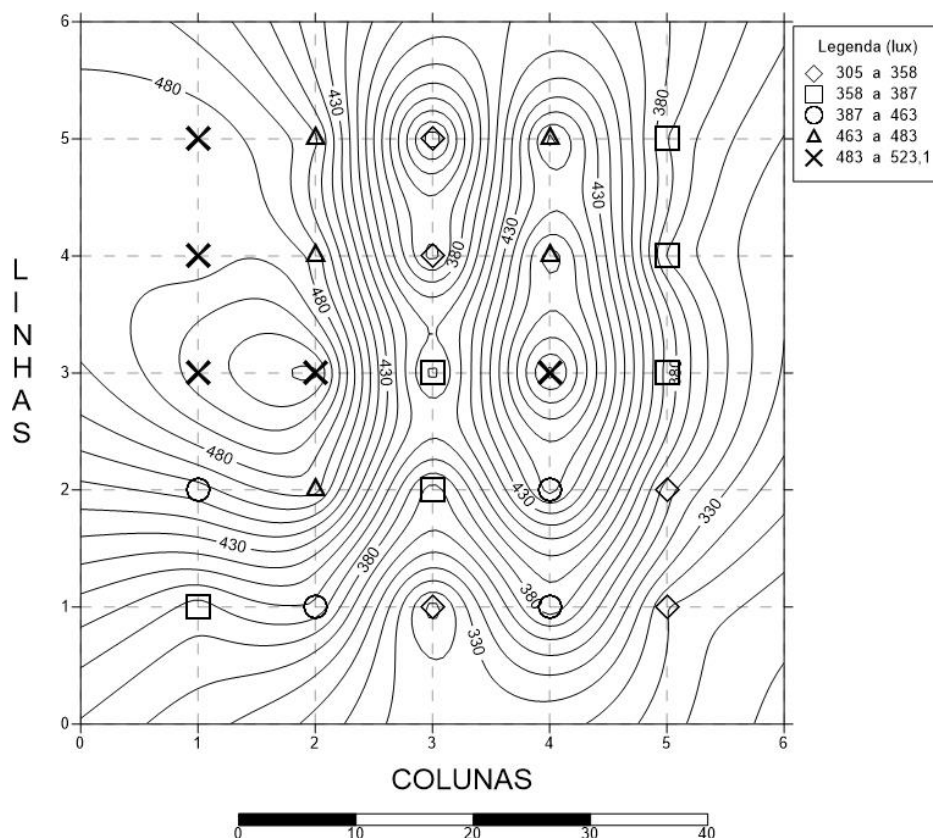
Através dos pontos de medição é possível uma compreensão e melhor análise da Tabela 27, onde são mostrados os resultados obtidos na medição na sala 5O-215.

Tabela 27 - Levantamento Iluminação Artificial Sala 5O-215

1,1 (P1)	2,1 (L1)	3,1 (L2)	4,1 (L3)	5,1 (P3)	1,2 (T1)	2,2 (C1)	3,2 (C4)
385	455	505	483	487	398	474	523
4,2 (C7)	5,2 (T4)	1,3 (T2)	2,3 (C2)	3,3 (C5)	4,3 (C8)	5,3 (T5)	1,4 (T3)
476	463	305	364	386	355	321	387
2,4 (C3)	3,4 (C6)	4,4 (C9)	5,4 (T6)	1,5 (P4)	2,5 (L4)	3,5 (L5)	4,5 (L6)
454	505	476	464	310	354	386	358
(5,5) (P2)							
370							
Luminância Média	425,9	Número de Luminárias		12	Número de Linhas		3

Esta sala possui o melhor desempenho lumínico dentre as estudadas, isso ocorreu devido a melhor distribuição das luminárias na sala e a quantidade das mesmas no ambiente, como pode ser visto no Gráfico 31.

Gráfico 31 - Resultados obtidos para a Iluminação Artificial Sala 50-215



Não foi encontrado nenhum ponto abaixo do normativo, o que demonstra que uma boa distribuição de luminárias acrescido de uma escolha correta na quantidade e no modelo a ser utilizado acarreta num ambiente confortável do ponto de vista lumínico.

Nota-se que com todas as avaliações realizadas da iluminação natural dos blocos 3Q e 5O, as salas de aula do bloco 5O tanto na iluminação natural quanto na artificial obtiveram um resultado mais satisfatório perante o normativo. Se realizarmos um comparativo entre a sala 3Q-306 e 5O-206 que possuem janelas voltadas para a mesma fachada, estas duas salas possuíram um resultado nada satisfatório para a iluminação natural em seus ambientes. A primeira possui uma barreira construtiva para melhor aproveitamento da iluminação e a segunda possui uma barreira natural composta por árvores em frente as suas janelas.

Quando comparamos a sala 3Q-305 e a sala 5O-207, que possuem fachadas voltadas para o mesmo lado nota-se que a sala do bloco 5O realiza um melhor aproveitamento da iluminação natural dentro do espaço físico. Um dos motivos que leva a esta avaliação e como possível causa deste aproveitamento são suas janelas serem diferentes da sala do bloco 3Q, assim como sua área de janelas ser maior que a da primeira sala.

Por fim, quando se compara as salas do bloco 3Q, com as salas do bloco 5O, quanto a iluminação artificial nota-se que as luminárias utilizadas nas salas do bloco 5O, possuem uma maior eficiência luminosa perante as das salas do bloco 3Q. Outro problema encontrado nas salas do bloco 3Q, são a má distribuição das luminárias dentro das salas de aula assim como um número não suficiente para atender a iluminação artificial mínima necessária perante a norma ABNT NBR 5413:1992.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises apresentadas neste trabalho referem-se ao conforto acústico e lumínico de seis salas de aula, sendo três salas do Bloco 3Q e três salas do Bloco 5O, ambos localizados no Campus Santa Mônica da Universidade Federal de Uberlândia. Vale ressaltar que na elaboração dos projetos de prédios didáticos, os projetistas devem atentar para a busca do menor custo financeiro, mas mantendo sempre um excelente padrão de qualidade e desempenho para as finalidades para os quais foram projetados.

Os resultados obtidos nas análises realizadas indicam que as salas de aulas estudadas atendem parcialmente os critérios normativos para a qualidade do ambiente quanto ao conforto acústico e lumínico.

A análise de conforto acústico restringiu-se ao estudo da absorção acústica e o tempo de reverberação das salas. A análise empregada foi a teórica por meio da aplicação da equação de Sabine. Foram avaliadas as salas 3Q-305, 3Q-306, 3Q-312, 5O-206, 5O-207 e 5O-215 e todas elas apresentaram bons resultados quanto ao tempo de reverberação. Em alguns casos, há a necessidade de corrigir problemas com ruído internos. Obviamente, quanto maior o número de alunos dentro da sala, maior é a probabilidade de existência de ruído interno, o que prejudica o docente e o discente durante a explanação. Para melhorar a absorção sonora e fazer com que o tempo de reverberação seja reduzido, sugere-se que sejam adotados materiais construtivos com uma capacidade de absorção maior. A sala 3Q-312, foi a sala com o maior tempo de reverberação, porém dentro do normativo. Quando comparada a salas com área semelhante que são as salas do bloco 5O, que utilizam materiais diferentes estas possuem um tempo de reverberação muito menor que o obtido na sala 3Q-312. Portanto os materiais utilizados para absorção sonora do bloco 5O, demonstraram-se mais capazes de reduzir o ruído dentro do som e deixar as salas de aulas ainda mais adequadas para as atividades a serem realizadas nas mesmas.

Isso é resultado da escolha correta do material de absorção sonora no teto, sendo o forro de fibra vegetal, a maior área de janelas nas salas de aulas, acrescidos da maior capacidade de alunos dentro de sala de aula responsáveis pelo baixo valor do tempo de reverberação médio das salas de aula do bloco 5O. Com as avaliações realizadas conclui-se que é sempre importante a análise do ambiente construído, mesmo após a ocupação. A utilização de alguns materiais pode corrigir problemas ocorridos por modificações projetuais e/ou construtivas.

A importância da etapa projetual é que esta possibilita prever problemas que possam ocorrer na etapa de construção do ambiente, mas nem sempre estes problemas poderão ser evitados, visto que algumas necessidades de ambientes como o que ocorreu na UFU, levou a mudanças que não foram avaliadas para checar se as condições acústicas atenderiam as normas.

A norma S.12/60, estipula valores de conforto acústico que se levados em consideração na etapa de projeto, pode-se alcançar 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, para tanto se as salas fossem avaliadas apenas pela norma brasileira independentemente da situação avaliada as salas de aulas atenderiam, mostrando que para os padrões brasileiros os materiais escolhidos e utilizados nas salas de aula demonstraram-se eficazes para atender a reverberação das salas de aulas.

O estudo do conforto lumínico foi realizado por meio de medições *in loco*. Para este caso, os resultados obtidos indicam a necessidade de melhorias tanto a nível de projeto, como posição e orientação das esquadrias, quanto na escolha dos equipamentos que farão a iluminação dos ambientes.

Quando se utiliza sistemas para o aproveitamento e melhor distribuição da iluminação solar no ambiente construído, estes sistemas permitem uma redução no ofuscamento causado pela má orientação do ambiente como encontrado em algumas salas avaliadas assim como uma melhor eficiência energética. É possível reduzir o consumo energético durante o dia e melhorar a qualidade de concentração e das atividades praticadas nas salas de aula. Se as salas fossem avaliadas na iluminação natural pela nova norma em vigor ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013, apenas as salas 5O-207 e 5O-215, estariam de acordo com a iluminação necessária para salas de aulas para adultos. Porém estas duas salas de aulas apresentaram problemas com ofuscamento, que poderia ser reduzido adotando formas de maior aproveitamento da iluminação tais como as light-shelves. O posicionamento dos brises utilizados nas salas de aula mostrou que as salas de aulas que possuíam brises verticais, tiveram um valor inferior de iluminância dentro do espaço físico que é o caso das salas do bloco 3Q, diferente das salas do bloco 5O em que o brise horizontal mostrou melhor distribuição e redução da iluminação solar em casos de grande radiação solar, permitindo maior controle da incidência solar dentro do ambiente.

Quanto a iluminação artificial uma tomada de decisões no processo projetual errada, tais como a escolha errada das luminárias de uma sala, podem acarretar em sério esforço visual por parte

dos discentes e docentes. Esses esforços podem acarretar em problemas visuais, mas também podem acarretar em dispersão da atividade do local. Sugere-se um estudo individual lumínico para cada ambiente, em que se considere pelo menos a direção solar, pois ambientes com menor iluminação natural há a tendência de maior utilização da iluminação artificial. Com essas avaliações a tendência é uma evolução na eficiência energética do prédio e maior qualidade das atividades praticadas.

Outra observação que pode ser realizada é que a falta de manutenção acrescida de tomadas de decisões erradas como o posicionamento de luminárias nas salas avaliadas do Bloco 3Q ou até mesmo luminárias inadequadas ou em número insuficiente interferem diretamente no ambiente. Também houve uma variação significativa na iluminância artificial nos pontos avaliados. Para tanto, sugere-se que os novos projetos tenham um cuidado maior quanto à disposição das luminárias e a quantidade de lâmpadas em cada sala.

Quanto a iluminação artificial, os resultados mostraram que as salas 3Q-305 e 3Q-312 tem iluminância média inferior a 300 lux, estando em desacordo com a ABNT NBR 5413:1992. Já as salas 3Q-306, 5O-206, 5O-207 e 5O-215 apresentaram luminância média superior a 300 lux, estando de acordo com as prescrições da norma ABNT NBR 5413:1992. No entanto, se a avaliação utiliza-se como referência a norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013, nenhuma das salas avaliadas atenderiam as exigências normativas a norma para a iluminação de salas de aulas noturnas visto que a nova norma estipula uma iluminância média de 500lux, para estes ambientes e educação de adultos.

As luminárias do bloco 5O, mostrou maior eficiência lumínica em relação as luminárias utilizadas no bloco 3Q. Dentre os fatores responsáveis por esta maior eficiência destaca-se a quantidade de lâmpadas que existem nas mesmas e sua dimensão. Outro fator preponderante na qualidade da iluminação é a quantidade de luminárias utilizadas no ambiente assim como a sua distribuição dentro do espaço físico, este é um dos motivos que o bloco 5O, possuiu melhores resultados de iluminação artificial.

Em um espaço físico outro fator que auxilia na iluminação do mesmo são as cores das paredes como em ambos os blocos as cores das paredes eram as mesmas, as paredes não foi um fator influente na diferença de iluminância entre os blocos.

Não levar em consideração as propriedades dos materiais e os limites normativos na fase projetual pode fazer com que alunos e professores sejam comprometidos em suas atividades. Por isso, é importante sempre 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.

Pode-se considerar que as salas de aula são um complexo desafio, pois, são diferentes culturas, diferentes sensações de conforto térmico, acústico e sonoro, em um mesmo ambiente. A psicologia ambiental é um ramo necessário para desenvolver projetos desta complexidade e desta variabilidade, pois levam em consideração algumas dessas sensações no momento de elaboração de projeto. Porém, deve-se ressaltar que o parâmetro normativo é o mais importante em termos jurídicos legais, e devem sempre ser levados em consideração na hora da avaliação do local e execução projetual.

Para complementar este estudo sugere-se para futuros trabalhos a realização de um estudo sobre a percepção dos usuários quanto ao conforto térmico, acústico e lumínico destes ambientes. Entender a percepção que os diversos usuários possuem sobre os ambientes colabora substancialmente para melhoria dos mesmos, diminuindo as falhas e melhorando o desempenho dos ambientes. Outro estudo de grande valia para estes ambientes seria o aproveitamento do poder lumínico natural que existe no ambiente estudado, a introdução de light shelf, nas salas com melhor desempenho lumínico seria capaz de atender ao mínimo necessário para salas de aulas e permitir que estes ambientes reduzissem a utilização da iluminação artificial? Um estudo de grande importância também para estes espaços é uma avaliação do custo e adequação dos espaços físicos a nova norma de iluminação para ambientes internos, assim como adequação aos novos limites de ofuscamento estipulados pela referente norma. Por fim, um estudo de avaliação da fibra de vidro ao longo dos anos de sua implantação adotada nas salas do bloco 3Q, mostraria se sua capacidade de absorção sonora foi reduzida e quanto a necessidade de substituição da mesma com passar dos anos.

6. REFERÊNCIAS

ABNT 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 15215-4: Iluminação natural Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição**. Rio de Janeiro, 2005

_____. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2003.

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

_____. **NBR 5382: Verificação de luminância de interiores**. Rio de Janeiro, 1985.

_____. **NBR 5413: Luminância de interiores**. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 5461: Iluminação**. Rio de Janeiro, 1991

_____. **NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho Parte 1: Interior**. Rio de Janeiro, 2013.

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

ASTOLFI, A., CORRADO, V., & FILIPPI, M. **Classroom acoustics assessment: a procedure for field analysis**. Itália, 2003.

BECHTEL, R. B. **Environment & Behavior: an introduction**. Sage: Thousand Oaks, 1997.

BERTOLOTI, D., & MOURA, N. C. **DISPOSITIVO ZENITAL COM SELEÇÃO ANGULAR PARA A OTIMIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL EM SALAS DE AULA**. ENCAC, pp. 211-220, 08 a 10 de Agosto de 2007.

BORMIO, M. F. **Avaliação Pós-Ocupação ambiental de escolas da cidade de Bauru (SP) e Lençóis Paulista (SP): Um estudo ergonômico visto pela metodologia EWA.** Bauru, SP, Brasil, 2007.

BROOME, J. **Mass Housing cannot be sustained.** Em P. B. JONES, *Architutures and a participation* (pp. 65 - 76). Londres: Spon Press, 2005.

CARAM, R. M., SICHIERI, E. P., & LABAKI, L. C. **INDICATIVOS PARA EMPREGO APROPRIADO DE VIDROS PLANOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL, SEGUNDO CRITÉRIOS ESPECTROFOTOMÉTRICOS.** ENCAC, pp. 541-546, 04 a 07 de JULHO de 1995.

Corbella, O., & Yannas, S. **Em Busca de Uma Arquitetura Sustentável para os Trópicos,** 2003.

CORREA, S. R. **ANÁLISE COMPARATIVA DE SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO EM SALAS DE AULA.** ENCAC, 11 a 14 de Novembro de 2001.

COSTA, G. J. **Iluminação Econômica, Cálculo e Avaliação.** São Paulo: Edipucrs, 2000.

DA GRAÇA, V. A., SCARAZZATO, P., & KOWALTOWSKI, D. C. **MÉTODO SIMPLIFICADO PARA A AVALIAÇÃO DE ILUMINAÇÃO NATURAL EM ANTEPROJETOS DE ESCOLAS DE ENSINO ESTADUAL DE SÃO PAULO.** ENCAC, pp. 1-8, 11 a 14 de Novembro de 2001.

DA LUZ, J. M. **Instituto de Artes.** Fonte: Instituto de Artes - Unicamp: www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/Luminotecnica.pdf, 22 de Dezembro de 2014

DE FARIA, J. G. **ANÁLISES DE DISTRIBUIÇÃO DE LUMINÂNCIAS ATRAVÉS DE IMAGENS HDR COMPOSTAS POR FOTOS DE CÂMERAS SNAPSHOT.** ENCAC, pp. 677-686, 08 a 10 de Agosto de 2007.

DE SOUZA, D. M., & NERY, J. T. **O Conforto térmico na perspectiva da Climatologia Geográfica.** *Conforto Térmico na Perspectiva da Climatologia Geográfica*, 65-83, 2012.

DEL CARLO, U., & MOTTA, C. A. **Nível de satisfação em conjuntos habitacionais da grande São Paulo.** São Paulo, 1975.

DIAS, A. **Avaliação das condições de conforto térmico e acústico de salas de aula em escola de tempo integral - Estudo de caso da escola Padre Josimo em Palmas (TO).** Brasília, Distrito Federal, Brasil, 05 de Outubro de 2009.

DURANTE, L. C., FERREIRA, A. P., PIRES, V. D., SCHRADER, F. T., & PEREZ, M. B. **ILUMINAÇÃO NATURAL E O USO DE BRISES MÓVEIS: ESTUDO DE CASO DE EDIFÍCIO EM CUIABÁ.** ENCAC, pp. 629-637, 2007.

EGAN, M. D. **Architectural Acoustics Workbook.** Lincoln: Newman Fund, 2000.

ENIZ, A., & GARAVELLI, S. **Acoustic conditions of school classrooms in the Federal District: background noise and reverberation time.** Proc. of the Int. Internoise. Rio de Janeiro, 2005.

FERREIRA, A. M. **AValiação do Conforto Acústico em Salas de Aula: Estudo de Caso na Universidade Federal do Paraná.** Curitiba, Paraná, Brasil, 2006.

FGV. **Estudos Hawthorne.** Fonte: Fundação Getúlio Vargas: <http://www5.fgv.br/ctae/publicacoes/Ning/Publicacoes/00-Artigos/JogoDeEmpresas/Karoshi/glossario/ESTUDOS.html>, Acessado em: 12 de Agosto de 2014.

FRANGOS, A. **School districts spend to ensure good acoustics.** Wall Street Journal, 2003.

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.

IMAI, C. **O sonho da moradia no projeto: o uso da maquete arquitetônica na simulação da habitação social.** Maringá: Editora da Universidade Estadual de Maringá, 2010.

ISO. **Acoustics -- Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes -- Part 2: Transfer-function method.** ISO 10534-2:1998, 19 de novembro de 1998.

KUTTRUFF, H. **Room Acoustics.** Applied Science Publishers LTD, 1979.

LABAKI, L. C., & BUENO-BARTHOLOMEI, C. L. **AValiação do Conforto Térmico e Luminoso de Prédios Escolares da Rede Pública,**

CAMPINAS, SP. VI ENCONTRO NACIONAL E III ENCONTRO LATINO - AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11 a 14 de Novembro de 2001.

Li, D. W., & Tsang, E. W. **An Analysis of Daylighting Performance for Office Buildings in Hong Kong**. Hong Kong, 2008.

LORO, C. **Avaliação acústica de salas de aula – padrão 023 – do estado do Paraná – estudo de caso**. Curitiba, Paraná, Brasil, 2003.

LOSSO, M. F. **Qualidade acústica de edificações escolares em Santa Catarina: Avaliação e elaboração de diretrizes para projeto e implantação**. Florianópolis, 2003.

MAGALHÃES, M. A. **MEDIDAS DE LUZ NATURAL ATRAVÉS DE ABERTURAS LATERAIS. VARIAÇÕES DECORRENTES DO USO DE VIDRO**. ENCAC, pp. 535-540, 04 a 07 de JULHO de 1995.

MAGALHÃES, M. A. **O PROJETO DE ILUMINAÇÃO NATURAL: EDIFICAÇÕES ESCOLARES**. ENCAC, pp. 305-308, 1997.

MAGALHÃES, M. D. **Fundamentos de Acústica Estrutural**. São Paulo: All Print, 2013.

MAGNANI, F. G., BORGES, E. M., & COSTA, E. S. **Estudo da Atenuação de Ruídos por Barreiras Acústicas situadas em Ambientes Fechados**. ERMAC 2010: I ENCONTRO REGIONAL DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL , pp. 311-312, 11 de Novembro de 2010.

MOREIRA, V. A. **Iluminação e Fotometria. Teoria e Aplicação**. São Paulo: Edgard Blücher, 1987.

PEREIRA, F. O., & SOUZA, M. B. **Iluminação**. Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, 2001.

PINHEIRO, J. Q. **Psicologia nos estudos ambientais: interdisciplinaridade, escala e comunicação**. V Congresso Norte-Nordeste de Psicologia. Macéio, 2007.

Porto, A. S. **Avaliação pós-ocupação do Edifício Palácio Alencastro, sede da Prefeitura Municipal de Cuiabá-MT: segurança contra incêndio**. Cuiabá, MT, Brasil, Maio de 2011.

ROLLA, S. **Construção e teste de um tubo de Impedância**. ENCAC, pp. 643-648, 4 a 7 de Julho de 1995.

ROLLA, S., & BARBOSA, M. J. **Avaliação e Proposta de Solução para o Conforto Acústico do Núcleo de Desenvolvimento Infantil (NDI) da UFSC.** ENCAC, pp. 295-300, 1993.

ROLLA, S., & GERGES, S. N. **Absorção Sonora de Blocos de Cimento com Cavidades de Ar.** ENCAC, pp. 291 - 293, 1993.

RONDON, C. E. **Análise estatística de medidas de iluminância obtidas in loco e por simulação em habitações populares: estudo de caso em Cuiabá-MT.** Cuiabá, MT, Brasil, 2007.

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,** 2002.

SILVA, A. J. **Avaliação do desempenho termo-lumínico de uma edificação com brises soleils: estudo de caso.** Cuiabá, MT, Brasil, Fevereiro de 2011.

_____. **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TERMO-LUMÍNICO DE UMA EDIFICAÇÃO COM BRISES SOLEILS: ESTUDO DE CASO.** Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, 28 de Fevereiro de 2011.

SILVA, A. S., & GIRALT, R. P. **DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE OFUSCAMENTO PARA O PROTÓTIPO DA ESCOLA FELIPE DE OLIVEIRA.** ENCAC, pp. 559-564, 04 a 07 de JULHO de 1995.

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

SILVA, F. C., MACEDO, C., BARACHO, A. S., SANTANA, M., & LÚCIO, P. **OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO NATURAL PARA SALAS DE AULA: UMA ANÁLISE GRÁFICA.** ENCAC, pp. 542-550, 5 a 7 de Novembro de 2003.

STALLIVIERI, L. **O SISTEMA DE ENSINO SUPERIOR DO BRASIL CARACTERÍSTICAS, TENDÊNCIAS E PERSPECTIVAS.** Caxias do Sul, RS, Brasil, 2007.

TAVARES, C. G. **A ergonomia e suas contribuições para o processo de ensino-aprendizagem: Uma análise das salas de aula do CEFET/RN.** Florianópolis, SC, Brasil, 2000.

THEODOSIOU, T. G., & ORDOUMPOZANIS, K. T. **Energy, Comfort and Indoor Air Quality in Nursery and Elementary School Buildings in the Cold Climatic Zone of Greece.** Energy and Buildings, 2008.

VIANNA, N. S., & GONÇALVES, J. S. **Iluminação e Arquitetura.** São Paulo: Geros s/c Ltda, 2001.

VILLA, S. B., & ORNSTEIN, S. W. **Qualidade Ambiental na Habitação: avaliação pós ocupação.** São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

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

ZANNIN, P. T., CALIXTO, A., DINIZ, F. B., & FERREIRA, J. A. **A Survey of Urban Noise Annoyance in a Large Brazilian City: The Importance of a Subjective Analysis in conjunction with an Objective Analysis,** 2003.

7. APÊNDICES

Tabela 28 – Resultados do cálculo de reverberação sala 3Q-305

Sala 3Q-305										
Dimensões da Sala de Aula										
Comprimento	6,08	m	Área Total da Sala		Volume Total da Sala					
Largura	9,74	m	59,219	m²	185,948	m³				
Altura	3,14	m	TR =	0,161*V/A	A=	∑Si*ai	$A = \sum S_i * a_i$			
					Cálculos por frequência					
					500 Hz		1000Hz		2000Hz	
Paredes	Material	Área (m²)	Tipo de Material		Coeficiente de Absorção	Absorção do material (Si * ai)	Coeficiente de Absorção	Absorção do material (Si * ai)	Coeficiente de Absorção	Absorção do material (Si * ai)
Fundo	Parede única	30,58	Gesso acartonado		0,05	1,529	0,04	1,223	0,07	2,141
Lateral Esquerda		19,09								
	Quadro Negro	2,28	Madeira		0,18	0,410	0,1	0,228	0,1	0,228
	Quadro Branco	2,18	Madeira		0,18	0,392	0,1	0,218	0,1	0,218
	Porta Fechada	3,78	Madeira		0,06	0,227	0	0,000	0,1	0,378
	Caixilho	0,33	Madeira		0,06	0,020	0	0,000	0,1	0,033
	Parede - porta Fechada	10,52	Gesso acartonado		0,05	0,526	0,04	0,421	0,07	0,736
	Porta Aberta	3,77	Vão Aberto		1	3,770	1	3,770	1	3,770
	Parede - Porta Aberta	10,53	Gesso acartonado		0,05	0,527	0,04	0,421	0,07	0,737
Lateral Direita		19,09								
	Janelas Fechadas	7,57	Vidro		0,18	1,363	0,12	0,908	0,07	0,530
	Janelas Abertas	7,42	Vão livre		1	7,420	1	7,420	1	7,420
	Moldura Janela	0,15	Metal		0,07	0,011	0,15	0,023	0,13	0,020
	Parede - Janela Fechada	11,52	Alvenaria c/ reboco liso		0,02	0,230	0,02	0,230	0,03	0,346

	Parede - Janela Aberta	11,52	Alvenaria c/ reboco liso	0,02	0,230	0,02	0,230	0,03	0,346
Frente		30,58							
	Quadro Negro	5,43	Madeira	0,18	0,977	0,1	0,543	0,1	0,543
	Parede - Quadro Negro	25,15	Gesso acartonado	0,05	1,258	0,04	1,006	0,07	1,761
Teto		59,22							
	Forro	17,766	Gesso acartonado	0,05	0,888	0,04	0,711	0,07	1,244
	Jateamento Pistofibra	41,454	Pistofibra (Lã de Vidro)	0,64	11,370	0,75	13,325	0,89	15,812
Piso	Material único	59,22	Paviflex	0	0,000	0,02	1,184	0,09	5,330
Sala Cheia	Pessoa em pé	1	Adulto em pé	0,44	0,440	0,42	0,420	0,46	0,460
	Pessoas Sentadas	45	Aluno em carteira	0,49	22,050	0,84	37,800	0,87	39,150
Sala com 60% da Capacidade	Alunos		0,6						
	Pessoa em pé	1	Adulto em pé	0,44	0,440	0,42	0,420	0,46	0,460
	Pessoas Sentadas	27	Aluno em carteira	0,49	13,230	0,84	22,680	0,87	23,490
		Condição							
Absorção Sonora (m²)		Portas e janelas fechadas Sala Cheia			41,681		58,217		68,908
		Portas e janelas abertas Sala Cheia			51,292		68,522		79,210
		Portas e janelas fechadas Sala 60%			32,335		42,677		52,512
		Portas e janelas abertas Sala 60%			42,472		53,402		63,550
Tempo de Reverberância (s)		Portas e janelas fechadas Sala Cheia			0,718		0,514		0,434
		Portas e janelas abertas Sala Cheia			0,584		0,437		0,378
		Portas e janelas fechadas Sala 60%			0,926		0,702		0,570
		Portas e janelas abertas Sala 60%			0,705		0,561		0,471
TEMPO DE REVERBERÂNCIA MÉDIO POR FREQUÊNCIA					0,733		0,553		0,463
TEMPO DE REVERBERÂNCIA MÉDIO TOTAL				0,583					

Tabela 29 - Resultados do cálculo de reverberação sala 3Q-306

Sala 3Q-306									
Dimensões da Sala de Aula									
Comprimento	6,81	m	Área Total da Sala		Volume Total da Sala				
Largura	9,77	m	66,534	m²	212,243	m³			
Altura	3,19	m	TR =	0,161*V/A	A=	∑Si*ai			
					Cálculos por frequência				
					500 Hz		1000Hz		2000Hz
Paredes	Material	Área (m²)	Tipo de Material	Coefficiente de Absorção	Absorção do material (Si * ai)	Coefficiente de Absorção	Absorção do material (Si * ai)	Coefficiente de Absorção	Absorção do material (Si * ai)
Fundo	Parede única	31,17	Gesso acartonado	0,05	1,559	0,04	1,247	0,07	2,182
Lateral Esquerda		21,72							
	Quadro Negro	3,09	Madeira	0,18	0,556	0,1	0,309	0,1	0,309
	Quadro Branco	2,3	Madeira	0,18	0,414	0,1	0,230	0,1	0,230
	Porta Fechada	3,78	Madeira	0,06	0,227	0	0,000	0,1	0,378
	Caixilho	0,33	Madeira	0,06	0,020	0	0,000	0,1	0,033
	Parede - porta Fechada	12,22	Gesso acartonado	0,05	0,611	0,04	0,489	0,07	0,855
	Porta Aberta	3,76	Vão Aberto	1	3,760	1	3,760	1	3,760
	Parede - Porta Aberta	12,24	Gesso acartonado	0,05	0,612	0,04	0,490	0,07	0,857
Lateral Direita		21,72							
	Janelas Fechadas	9,54	Vidro	0,18	1,717	0,12	1,145	0,07	0,668
	Janelas Abertas	8,86	Vão livre	1	8,860	1	8,860	1	8,860
	Moldura Janela	0,68	Metal	0,07	0,048	0,15	0,102	0,13	0,088
	Parede - Janela Fechada	12,18	Alvenaria c/ reboco liso	0,02	0,244	0,02	0,244	0,03	0,365
	Parede - Janela Aberta	12,18	Alvenaria c/ reboco liso	0,02	0,244	0,02	0,244	0,03	0,365
Frente		31,17							
	Quadro Negro	5,51	Madeira	0,18	0,992	0,1	0,551	0,1	0,551
	Parede - Quadro Negro	25,66	Gesso acartonado	0,05	1,283	0,04	1,026	0,07	1,796

Teto		66,53							
	Forro	19,959	Gesso acartonado	0,05	0,998	0,04	0,798	0,07	1,397
	Jateamento Pistofibra	46,571	Pistofibra (Lã de Vidro)	0,64	12,774	0,75	14,969	0,89	17,764
Piso	Material único	66,53	Paviflex	0	0,000	0,02	1,331	0,09	5,988
Sala Cheia	Pessoa em pé	1	Adulto em pé	0,44	0,440	0,42	0,420	0,46	0,460
	Pessoas Sentadas	54	Aluno em carteira	0,49	26,460	0,84	45,360	0,87	46,980
Sala com 60% da Capacidade	Alunos		0,6						
	Pessoa em pé	1	Adulto em pé	0,44	0,440	0,42	0,420	0,46	0,460
	Pessoas Sentadas	32	Aluno em carteira	0,49	15,876	0,84	27,216	0,87	28,188
		Condição							
Absorção Sonora (m²)		Portas e janelas fechadas Sala Cheia			48,294		68,119		79,956
		Portas e janelas abertas Sala Cheia			59,018		79,697		91,620
		Portas e janelas fechadas Sala 60%			37,710		49,975		61,164
		Portas e janelas abertas Sala 60%			48,434		61,553		72,828
Tempo de Reverberância (s)		Portas e janelas fechadas Sala Cheia			0,708		0,502		0,427
		Portas e janelas abertas Sala Cheia			0,579		0,429		0,373
		Portas e janelas fechadas Sala 60%			0,906		0,684		0,559
		Portas e janelas abertas Sala 60%			0,706		0,555		0,469
TEMPO DE REVERBERÂNCIA MÉDIO POR FREQUÊNCIA					0,725		0,542		0,457
TEMPO DE REVERBERÂNCIA MÉDIO TOTAL				0,575					

Tabela 30 - Resultados do cálculo de reverberação sala 3Q-312

Sala 3Q-312										
Dimensões da Sala de Aula										
Comprimento	9,89	m	Área Total da Sala		Volume Total da Sala		$A = \sum S_i * a_i$			
Largura	12,24	m	121,054	m²	386,161	m³				
Altura	3,19	m	TR =	0,161 * V/A	A= $\sum S_i * a_i$					
Cálculos por frequência										
				500 Hz		1000Hz		2000Hz		
Paredes	Material	Área (m²)	Tipo de Material	Coeficiente de Absorção	Absorção do material (Si * ai)	Coeficiente de Absorção	Absorção do material (Si * ai)	Coeficiente de Absorção	Absorção do material (Si * ai)	
Fundo		39,05								
	Janelas Fechadas	2,8	Vidro	0,18	0,504	0,12	0,336	0,07	0,196	
	Janelas Abertas	2,16	Vão livre	1	2,160	1	2,160	1	2,160	
	Moldura Janela	0,64	Metal	0,07	0,045	0,15	0,096	0,13	0,083	
	Quadro Negro	8,1	Madeira	0,18	1,458	0,1	0,810	0,1	0,810	
	Parede - Janela Fechada	28,15	Alvenaria c/ reboco liso	0,02	0,563	0,02	0,563	0,03	0,845	
	Parede - Janela Aberta	28,15	Alvenaria c/ reboco liso	0,02	0,563	0,02	0,563	0,03	0,845	
Lateral Direita	Parede única	31,55	Alvenaria c/ reboco liso	0,02	0,631	0,02	0,631	0,03	0,947	
Lateral Esquerda		31,55								
	Janelas Fechadas	13,17	Vidro	0,18	2,371	0,12	1,580	0,07	0,922	
	Janelas Abertas	12,58	Vão livre	1	12,580	1	12,580	1	12,580	
	Moldura Janela	0,59	Metal	0,07	0,041	0,15	0,089	0,13	0,077	
	Parede - Janela Fechada	18,38	Alvenaria c/ reboco liso	0,02	0,368	0,02	0,368	0,03	0,551	
	Parede - Janela Aberta	18,38	Alvenaria c/ reboco liso	0,02	0,368	0,02	0,368	0,03	0,551	
Frente		39,05								
	Quadro Negro	5,54	Madeira	0,18	0,997	0,1	0,554	0,1	0,554	
	Porta Fechada	3,76	Madeira	0,06	0,226	0	0,000	0,1	0,376	
	Caixilho	0,33	Madeira	0,06	0,020	0	0,000	0,1	0,033	

	Parede - porta Fechada	29,42	Gesso acartonado	0,05	1,471	0,04	1,177	0,07	2,059
	Porta Aberta	3,76	Vão Aberto	1	3,760	1	3,760	1	3,760
	Parede - Porta Aberta	29,42	Gesso acartonado	0,05	1,471	0,04	1,177	0,07	2,059
Teto		121,06							
	Forro	36,318	Gesso acartonado	0,05	1,816	0,04	1,453	0,07	2,542
	Jateamento Pistofibra	84,742	Pistofibra (Lã de Vidro)	0,64	23,244	0,75	27,239	0,89	32,323
Piso	Material único	121,06	Paviflex	0	0,000	0,02	2,421	0,09	10,895
Sala Cheia	Pessoa em pé	1	Adulto em pé	0,44	0,440	0,42	0,420	0,46	0,460
	Pessoas Sentadas	72	Aluno em carteira	0,49	35,280	0,84	60,480	0,87	62,640
Sala com 60% da Capacidade	Alunos		0,6						
	Pessoa em pé	1	Adulto em pé	0,44	0,440	0,42	0,420	0,46	0,460
	Pessoas Sentadas	43	Aluno em carteira	0,49	21,168	0,84	36,288	0,87	37,584
		Condição							
Absorção Sonora (m²)		Portas e janelas fechadas Sala Cheia			69,387		98,031		116,153
		Portas e janelas abertas Sala Cheia			84,873		114,799		133,319
		Portas e janelas fechadas Sala 60%			55,275		73,839		91,097
		Portas e janelas abertas Sala 60%			70,761		90,607		108,263
Tempo de Reverberância (s)		Portas e janelas fechadas Sala Cheia			0,896		0,634		0,535
		Portas e janelas abertas Sala Cheia			0,733		0,542		0,466
		Portas e janelas fechadas Sala 60%			1,125		0,842		0,682
		Portas e janelas abertas Sala 60%			0,879		0,686		0,574
TEMPO DE REVERBERÂNCIA MÉDIO POR FREQUÊNCIA					0,908		0,676		0,565
TEMPO DE REVERBERÂNCIA MÉDIO TOTAL				0,716					

Tabela 31 - Resultados do cálculo de reverberação sala 50-206

Sala 50-206										
Dimensões da Sala de Aula										
Comprimento	7,32	m	Área Total da Sala		Volume Total da Sala					
Largura	7,46	m	54,607	m²	155,631	m³				
Altura	2,85	m	TR =	0,161*V/A	A= $\sum Si*ai$					$A = \sum Si * ai$
					Cálculos por frequência					
					500 Hz		1000Hz		2000Hz	
Paredes	Material	Área (m²)	Tipo de Material		Coefficiente de Absorção	Absorção do material (Si * ai)	Coefficiente de Absorção	Absorção do material (Si * ai)	Coefficiente de Absorção	Absorção do material (Si * ai)
Fundo	Parede única	21,26	Gesso acartonado		0,05	1,063	0,04	0,850	0,07	1,488
Lateral Esquerda		20,86								
	Porta Fechada	2,29	Madeira		0,06	0,137	0	0,000	0,1	0,229
	Caixilho	0,33	Madeira		0,06	0,020	0	0,000	0,1	0,033
	Visor	0,14	Vidro		0,18	0,025	0,12	0,017	0,07	0,010
	Parede - porta Fechada	18,1	Gesso acartonado		0,05	0,905	0,04	0,724	0,07	1,267
	Porta Aberta	2,11	Vão Aberto		1	2,11	1	2,11	1	2,11
	Parede - Porta Aberta	18,42	Gesso acartonado		0,05	0,921	0,04	0,737	0,07	1,289
Lateral Direita		20,86								
	Janelas Fechadas	7,22	Vidro		0,18	1,300	0,12	0,866	0,07	0,505
	Janelas Abertas	5,4	Vão livre		1	5,400	1	5,400	1	5,400
	Moldura Janela	1,82	Metal		0,07	0,127	0,15	0,273	0,13	0,237
	Parede - Janela Fechada	13,64	Alvenaria c/ reboco liso		0,02	0,273	0,02	0,273	0,03	0,409
	Parede - Janela Aberta	13,64	Alvenaria c/ reboco liso		0,02	0,273	0,02	0,273	0,03	0,409
Frente		21,26								
	Quadro Negro	8,1	Madeira		0,18	1,458	0,1	0,810	0,1	0,810
	Quadro Branco	2,28	Madeira		0,18	0,410	0,1	0,228	0,1	0,228
	Parede - Quadros	10,88	Alvenaria c/ reboco liso		0,02	0,218	0,02	0,218	0,03	0,326

Teto	Mesmo material	54,61	Forro Fibra vegetal	0,65	35,497	0,78	42,596	0,7	38,227
Piso	Material único	54,61	Paviflex	0	0,000	0,02	1,092	0,09	4,915
Sala Cheia	Pessoa em pé	1	Adulto em pé	0,44	0,440	0,42	0,420	0,46	0,460
	Pessoas Sentadas	45	Aluno em carteira	0,49	22,050	0,84	37,800	0,87	39,150
Sala com 60% da Capacidade	Alunos		0,6						
	Pessoa em pé	1	Adulto em pé	0,44	0,440	0,42	0,420	0,46	0,460
	Pessoas Sentadas	27	Aluno em carteira	0,49	13,230	0,84	22,680	0,87	23,490
		Condição							
Absorção Sonora (m²)		Portas e janelas fechadas Sala Cheia			63,795		85,894		88,058
		Portas e janelas abertas Sala Cheia			69,987		92,807		95,083
		Portas e janelas fechadas Sala 60%			54,950		70,757		72,388
		Portas e janelas abertas Sala 60%			61,192		77,703		79,433
Tempo de Reverberância (s)		Portas e janelas fechadas Sala Cheia			0,393		0,292		0,285
		Portas e janelas abertas Sala Cheia			0,358		0,270		0,264
		Portas e janelas fechadas Sala 60%			0,456		0,354		0,346
		Portas e janelas abertas Sala 60%			0,409		0,322		0,315
TEMPO DE REVERBERÂNCIA MÉDIO POR FREQUÊNCIA					0,404		0,310		0,302
TEMPO DE REVERBERÂNCIA MÉDIO TOTAL				0,339					

Tabela 32 - Resultados do cálculo de reverberação sala 50-207

Sala 50-207										
Dimensões da Sala de Aula										
Comprimento	7,34	m	Área Total da Sala		Volume Total da Sala					
Largura	7,48	m	54,903	m²	156,474	m³				
Altura	2,85	m	TR =	0,161*V/A	A=	∑Si*ai				$A = \sum S_i * a_i$
					Cálculos por frequência					
					500 Hz		1000Hz		2000Hz	
Paredes	Material	Área (m²)	Tipo de Material		Coeficiente de Absorção	Absorção do material (Si * ai)	Coeficiente de Absorção	Absorção do material (Si * ai)	Coeficiente de Absorção	Absorção do material (Si * ai)
<i>fundo</i>	Parede única	21,32	Gesso acartonado		0,05	1,066	0,04	0,853	0,07	1,492
<i>Lateral Direita</i>		20,92								
	Porta Fechada	2,29	Madeira		0,06	0,137	0	0,000	0,1	0,229
	Caixilho	0,33	Madeira		0,06	0,020	0	0,000	0,1	0,033
	Visor	0,14	Vidro		0,18	0,025	0,12	0,017	0,07	0,010
	Parede - porta Fechada	18,16	Gesso acartonado		0,05	0,908	0,04	0,726	0,07	1,271
	Porta Aberta	2,11	Vão Aberto		1	2,11	1	2,11	1	2,11
	Parede - Porta Aberta	18,48	Gesso acartonado		0,05	0,924	0,04	0,739	0,07	1,294
<i>Lateral Esquerda</i>		20,86								
	Janelas Fechadas	7,22	Vidro		0,18	1,300	0,12	0,866	0,07	0,505
	Janelas Abertas	5,4	Vão livre		1	5,400	1	5,400	1	5,400
	Moldura Janela	1,82	Metal		0,07	0,127	0,15	0,273	0,13	0,237
	Parede - Janela Fechada	13,64	Alvenaria c/ reboco liso		0,02	0,273	0,02	0,273	0,03	0,409
	Parede - Janela Aberta	13,64	Alvenaria c/ reboco liso		0,02	0,273	0,02	0,273	0,03	0,409
<i>Frente</i>		21,26								
	Quadro Negro	8,1	Madeira		0,18	1,458	0,1	0,810	0,1	0,810
	Quadro Branco	2,28	Madeira		0,18	0,410	0,1	0,228	0,1	0,228

	Parede - Quadros	10,88	Alvenaria c/ reboco liso	0,02	0,218	0,02	0,218	0,03	0,326
Teto	Mesmo material	54,9	Forro Fibra Vegetal	0,65	35,685	0,78	42,822	0,7	38,430
Piso	Material único	54,9	Paviflex	0	0,000	0,02	1,098	0,09	4,941
Sala Cheia	Pessoa em pé	1	Adulto em pé	0,44	0,440	0,42	0,420	0,46	0,460
	Pessoas Sentadas	45	Aluno em carteira	0,49	22,050	0,84	37,800	0,87	39,150
Sala com 60% da Capacidade	Alunos		0,6						
	Pessoa em pé	1	Adulto em pé	0,44	0,440	0,42	0,420	0,46	0,460
	Pessoas Sentadas	27	Aluno em carteira	0,49	13,230	0,84	22,680	0,87	23,490
		Condição							
Absorção Sonora (m²)		Portas e janelas fechadas Sala Cheia			63,990		86,131		88,295
		Portas e janelas abertas Sala Cheia			70,181		93,043		95,320
		Portas e janelas fechadas Sala 60%			55,145		70,994		72,626
		Portas e janelas abertas Sala 60%			61,386		77,940		79,670
Tempo de Reverberância (s)		Portas e janelas fechadas Sala Cheia			0,394		0,292		0,285
		Portas e janelas abertas Sala Cheia			0,359		0,271		0,264
		Portas e janelas fechadas Sala 60%			0,457		0,355		0,347
		Portas e janelas abertas Sala 60%			0,410		0,323		0,316
TEMPO DE REVERBERÂNCIA MÉDIO POR FREQUÊNCIA					0,405		0,310		0,303
TEMPO DE REVERBERÂNCIA MÉDIO TOTAL				0,339					

Tabela 33 - Resultados do cálculo de reverberação sala 50-215

Sala 50-215										
Dimensões da Sala de Aula										
Comprimento	7,42	m	Área Total da Sala		Volume Total da Sala					
Largura	8,90	m	66,038	m²	188,208	m³				
Altura	2,85	m	TR =	0,161*V/A	A=	ΣSi*ai				
				Cálculos por frequência						
				500 Hz		1000Hz		2000Hz		
Paredes	Material	Área (m²)	Tipo de Material	Coefficiente de Absorção	Absorção do material (Si * ai)	Coefficiente de Absorção	Absorção do material (Si * ai)	Coefficiente de Absorção	Absorção do material (Si * ai)	
Fundo		25,37								
	Janelas Fechadas	6,89	Vidro	0,18	1,240	0,12	0,827	0,07	0,482	
	Janelas Abertas	5,4	Vão livre	1	5,400	1	5,400	1	5,400	
	Moldura Janela	1,49	Metal	0,07	0,104	0,15	0,224	0,13	0,194	
	Parede - Janela Fechada	18,48	Alvenaria c/ reboco liso	0,02	0,370	0,02	0,370	0,03	0,554	
	Parede - Janela Aberta	18,48	Alvenaria c/ reboco liso	0,02	0,370	0,02	0,370	0,03	0,554	
Lateral Esquerda	Parede única	21,15	Alvenaria c/ reboco liso	0,02	0,423	0,02	0,423	0,03	0,635	
Lateral Direita		21,15								
	Janelas Fechadas	7,22	Vidro	0,18	1,300	0,12	0,866	0,07	0,505	
	Janelas Abertas	5,4	Vão livre	1	5,400	1	5,400	1	5,400	
	Moldura Janela	1,82	Metal	0,07	0,127	0,15	0,273	0,13	0,237	
	Parede - Janela Fechada	13,93	Alvenaria c/ reboco liso	0,02	0,279	0,02	0,279	0,03	0,418	
	Parede - Janela Aberta	13,93	Alvenaria c/ reboco liso	0,02	0,279	0,02	0,279	0,03	0,418	
Frente		25,37								
	Quadro Negro	8,1	Madeira	0,18	1,458	0,1	0,810	0,1	0,810	
	Quadro Branco	2,28	Madeira	0,18	0,410	0,1	0,228	0,1	0,228	
	Porta Fechada	2,17	Madeira	0,06	0,130	0	0,000	0,1	0,217	
	Caixilho	0,33	Madeira	0,06	0,020	0	0,000	0,1	0,033	

	Visor	0,14	Vidro	0,18	0,025	0,12	0,017	0,07	0,010
	Parede - porta Fechada	12,35	Gesso acartonado	0,05	0,618	0,04	0,494	0,07	0,865
	Porta Aberta	2,07	Vão Aberto	1	2,070	1	2,070	1	2,070
	Parede - Porta Aberta	12,59	Gesso acartonado	0,05	0,630	0,04	0,504	0,07	0,881
Teto	Mesmo material	66,04	Forro Fibra Vegetal	0,65	42,926	0,78	51,511	0,7	46,228
Piso	Material único	66,04	Paviflex	0	0,000	0,02	1,321	0,09	5,944
Sala Cheia	Pessoa em pé	1	Adulto em pé	0,44	0,440	0,42	0,420	0,46	0,460
	Pessoas Sentadas	54	Aluno em carteira	0,49	26,460	0,84	45,360	0,87	46,980
Sala com 60% da Capacidade	Alunos		0,6						
	Pessoa em pé	1	Adulto em pé	0,44	0,440	0,42	0,420	0,46	0,460
	Pessoas Sentadas	32	Aluno em carteira	0,49	15,876	0,84	27,216	0,87	28,188
		Condição							
Absorção Sonora (m²)		Portas e janelas fechadas Sala Cheia			75,675		102,502		103,734
		Portas e janelas abertas Sala Cheia			86,094		114,168		115,837
		Portas e janelas fechadas Sala 60%			65,091		84,358		84,942
		Portas e janelas abertas Sala 60%			75,510		96,024		97,045
Tempo de Reverberância (s)		Portas e janelas fechadas Sala Cheia			0,400		0,296		0,292
		Portas e janelas abertas Sala Cheia			0,352		0,265		0,262
		Portas e janelas fechadas Sala 60%			0,466		0,359		0,357
		Portas e janelas abertas Sala 60%			0,401		0,316		0,312
TEMPO DE REVERBERÂNCIA MÉDIO POR FREQUÊNCIA					0,405		0,309		0,306
TEMPO DE REVERBERÂNCIA MÉDIO TOTAL				0,340					