



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

AMANDA PEIXOTO PEREIRA

AVALIAÇÃO DE CONFORTO ACÚSTICO E TÉRMICO.
ESTUDO DE CASO: EDIFÍCIO ESCOLAR VERDE NO MUNICÍPIO DE
RECIFE-PE

Recife

2019



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

AMANDA PEIXOTO PEREIRA

AVALIAÇÃO DE CONFORTO ACÚSTICO E TÉRMICO.
ESTUDO DE CASO: EDIFÍCIO ESCOLAR VERDE NO MUNICÍPIO DE
RECIFE-PE

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientadora: Profa. Dra. Stela Fucale Sukar

Recife

2019

AMANDA PEIXOTO PEREIRA

AVALIAÇÃO DE CONFORTO ACÚSTICO E TÉRMICO – ESTUDO DE CASO: EDIFÍCIO ESCOLAR VERDE NO MUNICÍPIO DE RECIFE-PE

BANCA EXAMINADORA:

Orientador(a)



Profª. Dra. Stela Fucale Sukar
Universidade de Pernambuco

Examinadores



Prof. Dr. Willames de Albuquerque Soares
Universidade de Pernambuco



Prof. Dr. Angelo Just da Costa e Silva
Universidade Católica de Pernambuco



Prof. Dr. Ruskin Marinho Freitas
Universidade Federal de Pernambuco

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Alaide e Halley, por tanto, por tudo,
pelo amor e pela dedicação
E à minha irmã, Andréia, por todo o apoio.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me concedeu a vida e as oportunidades para vivenciar esta experiência.

À minha família, por todo o apoio e amor incondicionais.

À minha orientadora, Professora Dra. Stela Fucale, pelos ensinamentos, pela empatia, compreensão e dedicação ao longo de todos estes anos de trabalho em conjunto. Sem a sua graciosidade na forma de tratar os alunos, sempre de maneira sábia e justa, eu não teria me tornado uma pesquisadora hoje. Minha eterna gratidão.

A Wolfgang Oliveira por todo companheirismo e por sempre acreditar em mim.

Aos colegas de mestrado, Joaquin Humberto, Gabriela Alves, Ingridy Nascimento, Thayse Delmiro, Carolina Peixoto, Diego Viégas, Fábria Andrade, José Vitor Macedo e Pedro Batista pelos ensinamentos passados ao longo desses dois últimos anos de formação.

Aos alunos de graduação, Tatiana Souza, Pamella Silva, Gustavo Tenório e Débora Muniz, pelo apoio na realização de ensaios, ajuda sem a qual esta pesquisa não seria possível na magnitude que o foi.

À toda equipe do Colégio Fazer Crescer, em especial, à responsável pelo setor de manutenção Ruth Mendonça, à diretora Gláucia Lira e aos arquitetos projetistas Suzana Gueiros e Pedro Selva por acreditarem nesta pesquisa e perceberem o seu potencial, desde o início, de agregar às gerações futuras.

À empresa prestadora de serviços, RYMAV soluções, pelo empenho na confecção de aparelhos de medição e pelo profissionalismo envolvido ao cumprir os prazos e esclarecer todas as dúvidas.

À construtora TECLA e ao engenheiro Tiago Figueiredo pelos esclarecimentos contínuos quanto ao desenvolvimento da obra.

À empresa de consultoria, TECOMAT engenharia, pelo auxílio e pela disponibilização de aparelhos de medição importantíssimos para a realização de um dado ensaio.

Ao Professor Dr. Alexandre Gusmão por todas as palavras de motivação desde a época da minha graduação; ao Professor Dr. Alberto Casado pelos aparelhos de medição disponibilizados; à Professora Dra. Yêda Póvoas por todos os esclarecimentos com os experimentos, pelo apoio e pelos aparelhos sempre tão gentilmente cedidos ao longo desta pesquisa; ao Professor Dr. Ângelo Just pelos ensinamentos, sugestões e ensaios concedidos; à Professora Dra. Emília Rabbani pelo apoio e confiança direcionados ao meu trabalho; ao Professor Dr. Willames Soares pelos esclarecimentos e sugestões dedicadas a esta pesquisa; à Professora Dra. Ana Regina Uchôa pelo incentivo ainda no processo de seleção do mestrado; ao Professor Dr. Ruskin de Freitas pelas sugestões e instruções concedidas que ajudaram a enriquecer e melhorar o trabalho; à Professora Dra. Jaucele Azerêdo pelas sugestões de ensaio e pelos esclarecimentos, no âmbito do conforto ambiental, dados.

Ao técnico de laboratório, Fábio Ferreira, por toda a ajuda durante a realização dos ensaios de estágio docência.

À secretária do PEC, Lúcia Rosani, por toda dedicação e instruções vinculadas ao Programa de Pós-Graduação.

À Facepe pelos recursos investidos.

E a todos que ajudaram direta ou indiretamente para a realização desta pesquisa.

PEREIRA, Amanda Peixoto. **Avaliação de conforto acústico e térmico. Estudo de caso: edifício escolar verde no município de Recife-PE.** Recife: UPE, 2018. 241f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, 2018.

RESUMO

A Construção Civil, além de desempenhar papel essencial na economia brasileira, é também responsável pelo alto consumo de materiais, água e energia e pela geração de resíduos. Agir de maneira sustentável, torna-se uma oportunidade de reduzir desperdícios, custos e possibilitar inovações para o setor. O conceito de construção sustentável não se restringe apenas à minimização dos impactos econômico, social e ambiental, mas também está vinculado ao conforto dos usuários nas edificações. Esta pesquisa avalia o sistema construtivo com implemento de elementos sustentáveis quanto a sua influência na obtenção do conforto ambiental de uma edificação escolar integrada a um conjunto de unidades educacionais, na cidade do Recife-PE. A metodologia empregada consistiu na realização de medições acústicas e térmicas em diferentes ambientes da edificação em estudo, assim como na elaboração e aplicação de questionários para verificação dos níveis de satisfação dos usuários, no caso, professores e alunos. Apesar de todos os elementos sustentáveis empregados e das estratégias bioclimáticas adotadas, a edificação não alcançou a zona de conforto térmico para locais de clima tropical quente e úmido, classificando-se em zona de ar condicionado. Diante dos resultados obtidos, destaca-se que o pátio de recreação apresentou os piores níveis de satisfação pelos estudantes respondentes tanto com relação à acústica (79,5% classificaram o ambiente como muito barulhento) quanto à térmica (70,5% relataram desconforto por calor no local). As salas de aula avaliadas quanto ao conforto acústico apresentaram nível de pressão sonora equivalente global representativo dos ambientes variando de 71,3 a 81,1 dB e estando acima do limite normativo vigente para a finalidade de uso. No contexto das medições térmicas, a sala de aula que possui teto verde sobre a sua laje, apresentou alta incidência de temperaturas elevadas, acima de 32°C, desencadeando um desempenho térmico igual ou inferior a outro ambiente sem teto verde. Entretanto, a presença do teto verde demonstrou melhores níveis de satisfação por parte dos professores e alunos quanto ao conforto térmico, fato que pode estar associado à umidade relativa do ar 7,5% menor, em média, tornando a sala de aula mais agradável. De modo geral, é possível constatar que o sistema da edificação escolar com implemento de elementos sustentáveis apresentou conforto e desempenho acústico e térmico inferiores ao recomendado pelas normas técnicas em vigor e pela literatura sobre o tema. Portanto, pode-se afirmar que a edificação em estudo demanda reformas de modo a melhorar as condições de uso dos ambientes.

Palavras-chave: Construção sustentável. Conforto ambiental. Desempenho acústico. Desempenho térmico.

PEREIRA, Amanda Peixoto. **Acoustic and thermal comfort evaluation. Case study of a green school building in the city of Recife-PE.** Recife: UPE, 2018. 241p. Thesis (Master) – Polytechnic School of Pernambuco University, Pernambuco University, Recife, 2018.

ABSTRACT

Civil Construction, in addition to performing an essential role in the Brazilian economy, is also responsible for the high consumption of materials, water and energy and for the generation of waste. Acting in a sustainable manner becomes an opportunity to reduce waste, costs and enable innovations for the industry. The concept of sustainable construction is not only restricted to minimizing the economic, social and environmental impacts, it is also related to the comfort of the users in the buildings. This research evaluates constructive processes, with the implementation of sustainable elements, and its influence in obtaining the environmental comfort of a sustainable school building integrated to a set of educational units, in the city of Recife-PE. The methodology used consisted in the realization of tests for acoustic and thermal measurements in different environments of the building under study, as well as in the elaboration and application of questionnaires to verify the satisfaction levels of users, in this case, teachers and students. Besides all the sustainable elements used and the bioclimatic strategies adopted, the building did not reach the zone of thermal comfort for places of hot and humid tropical climate, being classified as an air conditioning zone. The classrooms assessed for acoustic comfort presented a global equivalent sound pressure level representative of environments ranging from 71.3 to 81.1 dB. The internal wall with double thickness (24 cm) showed a 10.5% increase in the average insulation capacity of the other 12 cm thick walls. In the context of thermal measurements, the classroom that has a green roof on its slab, presented a high incidence of high temperatures, above 32°C, leading to a thermal performance equal to or worse than another room without green roof. However, the presence of the green roof demonstrated better levels of satisfaction by teachers and students regarding thermal comfort, a fact that can be associated with the relative humidity of the air, which was 7.5% lower, on average, making the classroom more pleasant. In general, it is possible to verify that the system of the sustainable school building presented comfort and performance acoustic and thermal inferior to the one recommended by the current technical norms and the literature on the subject. Therefore, it can be affirmed that the building under study demands reforms in order to improve the conditions of use of the environments

Keywords: Sustainable construction. Environmental comfort. Acoustic performance. Thermal performance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Intensidades sonoras percebidas pelo ouvido humano.....	28
Figura 2 – Escala de valores de nível de pressão sonora variando do limiar da audição até o limiar da dor.	29
Figura 3 – Curvas de ponderação A e C inseridas nos instrumentos de medição, de acordo com diferentes frequências.	30
Figura 4 – Classificação em função da variabilidade temporal dos níveis sonoros.	31
Figura 5 – Gráfico de adição de níveis de pressão sonora.....	32
Figura 6 – Carta bioclimática proposta para Recife com base no ano de 1962 (TRY).	39
Figura 7 – Intervalos de temperatura operativa aceitável para espaços naturalmente condicionados.	41
Figura 8 – Incidência de temperaturas registradas por sensores internos durante período de ocupação para duas zonas de conforto estimadas por estudo semelhante.	43
Figura 9 – Condições ideais para garantir a inteligibilidade da palavra falada em salas de aula.	46
Figura 10 – Evolução das publicações a respeito de conforto térmico em edificações educacionais na base de dados científicos, Science Direct.	49
Figura 11 – Tempos de reverberação recomendados, a 500 Hz, para diferentes utilizações e em função do volume dos ambientes.....	54
Figura 12 – Esquematização da modificação na repartição do fluxo de energia ao substituir área de vegetação por asfalto (cenário 1) ou telha cerâmica (cenário 2).....	57
Figura 13 – Zona Bioclimática Brasileira (ZBB).	61
Figura 14 – Simulação de consumo mensal de energia para diferentes alternativas de cobertura.	65
Figura 15 - Imagens termográficas da superfície interna das coberturas, no horário mais quente. a – teto verde (grama); b – telha fibrocimento.....	66
Figura 16 – Classificação e representação gráfica de ventilação cruzada no cômodo.	68
Figura 17 – Mapa do município do Recife com bairro do Rosarinho, em destaque, e vista via satélite da localização da edificação estudada.	70
Figura 18 - Velocidade e frequência dos ventos ao longo das estações do ano.	77
Figura 19 – Corte esquemático demonstrando bolsão de ar entre forro e laje	81

Figura 20 – Esquematização do funcionamento dos brises fixos metálicos das salas de aula.	83
Figura 21 – Esquematização gráfica das camadas do teto verde.....	85
Figura 22 – Caracterização da vedação tipo 1, com suas espessuras e materiais designados. .	86
Figura 23 – Caracterização da vedação tipo 2, com suas espessuras e materiais designados. .	86
Figura 24 – Caracterização da fachada tipo 1, com suas espessuras e materiais designados...	87
Figura 25 – Caracterização da fachada tipo 2, com suas espessuras e materiais designados...	87
Figura 26 – Térreo com salas e corredor ensaiados e os tipos de vedações e fachadas em destaque.	88
Figura 27 – Primeiro pavimento com salas ensaiadas e os tipos de vedações e fachadas em destaque.	89
Figura 28 – Segundo pavimento com salas ensaiadas e os tipos de vedações e fachadas em destaque.	89
Figura 29 – Terceiro pavimento com ambientes ensaiados e os tipos de vedações e fachadas em destaque.	90
Figura 30 – Ensaios desenvolvidos no programa de investigação.	92
Figura 31 - Locação dos pontos de medição nas salas de aula.....	98
Figura 32 – Locação dos pontos de medição de na sala de artes e no auditório.	100
Figura 33 – Locação dos pontos de medição no corredor (térreo) da edificação em estudo..	102
Figura 34 – Locação dos pontos de medição na quadra esportiva.	103
Figura 35 – Esquematização dos procedimentos de medição na realização do ensaio de desempenho acústico de vedações verticais internas.	107
Figura 36 – Corte esquemático evidenciando os elementos e ambientes internos ensaiados acusticamente no módulo 1.	108
Figura 37 – Demonstração dos gráficos e planilhas de monitoramento gerados.	111
Figura 38 – Demonstração do gráfico de temperatura da sala 4 gerado até a última semana de dados acumulados.....	112
Figura 39 - Locação dos pontos de medição de com a câmera termográfica no forro da sala de artes e do auditório.	119
Figura 40 – Corte esquemático evidenciando os elementos e ambientes internos ensaiados termicamente no módulo 1.	121
Figura 41 – Incidência das respostas quanto as possíveis fontes de barulhos externos às salas de aula.....	125
Figura 42 - Percepção térmica da sala 4 pelos alunos na semana do experimento.	126

Figura 43 – Percepção térmica da sala de artes pelos alunos na semana do experimento.	126
Figura 44 – Sensação térmica dos alunos na semana do experimento de conforto térmico.....	
.....	127
Figura 45 – Incidência das respostas dos professores quanto às possíveis fontes de barulho externos à sala de aula.	130
Figura 46 – Percepção térmica da sala 4 pelos professores na semana do experimento.	132
Figura 47 – Percepção térmica da sala de artes pelos professores na semana do experimento....	
.....	132
Figura 48 - Sensação térmica dos professores durante a semana do experimento.	132
Figura 49 – Níveis de pressão sonora globais dos ruídos externos à edificação estudada.	134
Figura 50 - Locação dos pontos de medição na sala 2.	135
Figura 51 –Níveis de pressão sonora por ponto de medição na sala 2. a - durante as atividades normais de sala de aula; b – sob a influência do recreio, sem alunos em sala.	135
Figura 52 – Comparativo entre os níveis de pressão sonora globais da sala 2, durante as atividades normais e de recreação.	137
Figura 53 - Locação dos pontos de medição na sala 6.	137
Figura 54 – Níveis de pressão sonora por ponto de medição da sala 6 durante as atividades normais de sala de aula.	138
Figura 55 - Locação dos pontos de medição na sala 9.	139
Figura 56 – Níveis de pressão sonora por ponto de medição da sala 9 durante as atividades normais de sala de aula.	139
Figura 57 - Locação dos pontos de medição na sala de artes.	140
Figura 58 –Níveis de pressão sonora por ponto de medição da sala de artes durante as atividades normais de sala de aula.	140
Figura 59 – Comparativo entre os níveis de pressão sonora globais das salas de aula avaliadas, durante as atividades normais.	141
Figura 60 – Níveis de pressão sonora equivalentes globais (LAeq) de todas as salas de aula avaliadas, durante as atividades normais.	143
Figura 61 – Posições do instrumento de medição no corredor (térreo) da edificação.	144
Figura 62 – Níveis de pressão sonora por ponto de medição no corredor durante o recreio.	
.....	144
Figura 63 – Níveis de pressão sonora por ponto de medição na área de circulação, sem alunos, durante as atividades normais de sala de aula.	145

Figura 64 – Comparativo entre os níveis de pressão sonora globais da área de circulação durante as atividades normais de sala de aula e o recreio.	147
Figura 65 – Posições do instrumento de medição na quadra esportiva.	147
Figura 66 – Níveis de pressão sonora por ponto na quadra esportiva durante as atividades normais de educação física, na condição termobrisas abertos.....	148
Figura 67 –Níveis de pressão sonora coletados por ponto na quadra esportiva, sem aula, durante o monitoramento do ruído de tráfego sob diferentes condições. a – termobrisas abertos; b – termobrisas fechados.....	149
Figura 68 – Níveis de pressão sonora globais da quadra esportiva, com e sem educação física, na condição de termobrisas abertos.	150
Figura 69 – níveis de pressão sonora globais, com fonte externa (ruído de tráfego) à quadra esportiva, sob diferentes condições.	151
Figura 70 – Locação do instrumento na sala de artes e no auditório.	152
Figura 71 – Níveis de pressão sonora por ponto durante as atividades normais no auditório.....	152
Figura 72 – Níveis de pressão sonora por ponto no auditório, sob a influência da educação física.	153
Figura 73 – Níveis de pressão sonora por ponto na sala de artes, sob a influência da educação física.	154
Figura 74 – Comparativo entre os níveis de pressão sonora globais do auditório e da sala de artes, durante atividades normais.....	155
Figura 75 – Comparativo entre os valores globais de níveis de pressão sonora do auditório e da sala de artes, sob a influência da educação física, sem alunos nos ambientes avaliados.	156
Figura 76 – Temperaturas registradas pelo sensor externo no dia 26 de fevereiro de 2018.	163
Figura 77 – Incidência das temperaturas registradas no sensor externo durante o período de monitoramento, com a presença dos alunos.	164
Figura 78 – Histograma dos registros de umidade relativa do ar coletados pelo sensor externo durante o período de monitoramento com a presença dos alunos.	165
Figura 79 – Incidência das umidades relativas (UR) do ar registradas no sensor externo durante o período de monitoramento com a presença dos alunos.	165
Figura 80 – Dados climáticos médios diários do sensor externo e da sala 4 na condição janelas e portas abertas, sem alunos.	166

Figura 81 – Dados climáticos médios diários do sensor externo e da sala 4 na condição janelas e portas fechadas, sem alunos.....	168
Figura 82 – Dados climáticos médios diários do sensor externo e da sala 4 na condição janelas e portas abertas, com a presença dos alunos.....	170
Figura 83 – Temperaturas registradas na sala 4 no dia 1 de março de 2018, na condição janelas e portas abertas, com alunos.....	171
Figura 84 - Incidência das temperaturas registradas na sala 4 aberta durante o período de monitoramento, com a presença dos alunos.	172
Figura 85 – Distribuição dos registros de umidade relativa do ar coletados na sala 4 aberta durante o período de monitoramento com a presença dos alunos.	173
Figura 86 – Incidência das umidades relativas registradas na sala 4 aberta durante o período de monitoramento, com a presença dos alunos.	173
Figura 87 – Dados climáticos médios diários do sensor externo e da sala de artes na condição de janelas e portas abertas, sem a presença dos alunos.	175
Figura 88 – Dados climáticos médios diários do sensor externo e da sala de artes na condição janelas e portas fechadas, sem a presença dos alunos.	176
Figura 89 – Dados climáticos médios diários do sensor externo e da sala de artes na condição janelas e portas abertas, com a presença dos alunos.....	178
Figura 90 - Incidência das temperaturas registradas na sala de artes aberta durante o período de monitoramento, com a presença dos alunos.	179
Figura 91 – Distribuição dos registros de umidade relativa do ar coletados na sala de artes aberta durante o período de monitoramento com a presença dos alunos.	180
Figura 92 - Incidência das umidades relativas registradas na sala de artes aberta durante o período de monitoramento, com a presença dos alunos.	181
Figura 93 – Imagens digital e termográfica do forro da região abaixo do teto verde no auditório.....	184
Figura 94 – Imagens termográfica e digital do forro da região que não está abaixo do teto verde no auditório.....	185
Figura 95 – Imagens termográfica e digital do forro abaixo da laje totalmente coberta pelo teto verde na sala de artes.....	186

LISTA DE FOTOS

Foto 1 – Imagem ilustrativa da unidade escolar em estudo.....	71
Foto 2 - Estrutura metálica. a – Vigas e pilares de aço galvanizado; b – laje steel deck.	78
Foto 3 - Elementos de fachada. a - Vista do interior da edificação em ACM; b – Painel isoeste.	79
Foto 4 – <i>Drywall</i> . a – OSB; b - placas de gesso.	80
Foto 5 - Forro mineral utilizado.	80
Foto 6 - Piso de concreto polido.....	82
Foto 7 – Brizes fixos. a – elemento no auditório; b – elemento na fachada sul das salas de aula.	82
Foto 8 – Termobrises. a – elemento em destaque; b – vista panorâmica da quadra esportiva.	83
Foto 9 – Teto verde implementado na íntegra na unidade escolar.	85
Foto 10 – Sonômetro utilizado na pesquisa.....	95
Foto 11 – Aparelho executando ensaio de medição do ruído na quadra esportiva.	96
Foto 12 – Aparelho executando ensaio de medição do ruído no ambiente externo à edificação.	104
Foto 13 – Medidor de nível de pressão sonora e fonte de ruído executando ensaio de desempenho acústico na vedação interna escolhida.	106
Foto 14 – Sensor de temperatura e umidade relativa do ar utilizado na pesquisa, contido internamente no aparelho de medição.	110
Foto 15 – Aparelho de medição montado para a pesquisa, contendo caixa plástica, sensor de dois canais e placa de controle conectados por fios.	111
Foto 16 – Verificação da calibração dos sensores com o uso de termo-higrômetro.	113
Foto 17 – Instalação dos equipamentos na altura de 1,5m do piso como recomendado.	114
Foto 18 – Câmara termográfica por infravermelhos.	116
Foto 19 – Ensaio de termografiasendo executado em campo. a - Emissividade determinada através de fita isolante; b – Operador se apoiando em tripé para efetuar a medição.....	118
Foto 20 – Coberta da edificação no dia de ensaio com a câmera termográfica. a – sombra gerada pelo reservatório em destaque; b – projeção dos pontos de medição.	120

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Limites de ruído para o ser humano.	35
Quadro 2 – Fatores pessoais e ambientais combinados para a elaboração de índices de conforto térmico.	38
Quadro 3 – Aplicações de estratégias bioclimáticas de acordo com a respectiva zona.	40
Quadro 4 - Critérios de avaliação de desempenho térmico para medições de campo em condições de verão.....	61
Quadro 5 – Comparativo de materiais sustentáveis com boas características acústicas.	63
Quadro 6 – Estratégias adotadas para promover a redução de ganho calor.	69
Quadro 7 – Partes integrantes do ensaio e suas respectivas funções.	106
Quadro 8 – Delimitação da amostra de ensaio de desempenho acústico.	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de referência para ambientes internos segundo a finalidade de uso.....	33
Tabela 2 – Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente.....	34
Tabela 3 – Valores de temperatura média interna operativa aceitável pelos usuários em ambientes escolares de diferentes países de clima quente e úmido.....	42
Tabela 4 - Comparativo dos valores obtidos com os limites de tolerância expostos na NR 15 (MT, 2011) para ruídos contínuos ou intermitentes.	45
Tabela 5 – Critérios associados às distâncias limites entre fonte e última fileira para garantir a inteligibilidade da fala.	47
Tabela 6 - Resumo de pesquisas sobre conforto acústico em edificações de ensino.	47
Tabela 7 - Resumo de pesquisas sobre conforto térmico em edificações de ensino, com ventilação natural.....	49
Tabela 8 – Índices médios de redução sonora, obtidos em laboratório, para algumas vedações.	52
Tabela 9 – Critérios mínimos de isolamento acústico para edificações de ensino, segundo normativas internacionais.	53
Tabela 10 – Tempos de reverberação recomendados para edificações de ensino.....	54
Tabela 11 – Coeficientes de absorção de diferentes materiais segundo variadas frequências.	56
Tabela 12 - Condutividade térmica (λ) de materiais de construção.	59
Tabela 13 – Algumas capitais brasileiras e seus percentuais de necessidade de ventilação natural.	68
Tabela 14 – Dados médios mensais dos 5 últimos anos da estação meteorológica convencional do INMET, localizada no Curado, em Recife-PE.	74
Tabela 15 – Caracterização das esquadrias e portas dos ambientes monitorados nos ensaios.	84
Tabela 16 – Medições de conforto acústico realizadas nos ambientes internos da edificação escolar em estudo.....	97
Tabela 17 – Locação do instrumento de acordo com o ponto nas salas de aula avaliadas.....	99
Tabela 18 – Especificações técnicas do sensor de temperatura e umidade.	110
Tabela 19 – Indicação dos ambientes de instalação dos equipamentos de medição da temperatura e umidade relativa do ar.	114
Tabela 20 – Períodos de medições de conforto térmico realizadas na edificação em estudo.	115
Tabela 21 – Algumas características adicionais do equipamento utilizado.	117

Tabela 22 – Questionamentos a respeito das dimensões do espaço dos ambientes de convívio pelos alunos.	122
Tabela 23 – Questionamentos quanto à sensação de bem-estar trazida pela edificação escolar.	123
Tabela 24 – Questionamentos quanto à percepção acústica dos ambientes por parte dos alunos.....	123
Tabela 25 – Questionamentos quanto a possíveis incômodos gerados pelo funcionamento inadequado perante a acústica na edificação.	123
Tabela 26 – Questionamentos quanto à percepção térmica por parte dos alunos da edificação.	123
Tabela 27 – Questionamentos para os professores quanto às dimensões de espaço dos ambientes.....	128
Tabela 28 – Questionamentos referentes à sensação de bem-estar trazida pela edificação. ..	129
Tabela 29 – Questionamentos quanto à percepção acústica dos ambientes por parte dos professores.	129
Tabela 30 – Questionamentos quanto a possíveis incômodos gerados pelo funcionamento inadequado perante a acústica da edificação.	129
Tabela 31 – Questionamentos quanto à percepção térmica dos ambientes por parte dos professores.....	129
Tabela 32 – Questionamentos quanto a influência do inadequado funcionamento acústico da edificação para com as atividades de pedagogia dos professores.	131
Tabela 33 – Questionamentos quanto a influência do inadequado funcionamento térmico da edificação para com as atividades de pedagogia dos professores.	131
Tabela 34 – Níveis de pressão sonora globais dos ambientes avaliados durante as atividades normais sob a análise da OMS.	157
Tabela 35 – Capacidade de isolamento acústico observados para os SVVIs da edificação...	158
Tabela 36 – Temperaturas e umidades relativas do ar registradas pelo sensor externo ao longo dos dias de monitoramento e pela estação de referência.	162
Tabela 37 - Verificação do nível de desempenho térmico na sala 4 na condição janelas e portas abertas, sem alunos.	167
Tabela 38 - Verificação do nível de desempenho térmico na sala 4 na condição janelas e portas fechadas, sem alunos.....	168
Tabela 39 - Verificação do nível de desempenho térmico na sala 4 na condição janelas e portas abertas, com a presença dos alunos.	170

Tabela 40 - Verificação do nível de desempenho térmico na sala de artes na condição janelas e portas abertas, sem alunos.	175
Tabela 41 - Verificação do nível de desempenho térmico na sala de artes na condição janelas e portas fechadas, sem alunos.....	176
Tabela 42 - Verificação do nível de desempenho térmico na sala de artes na condição janelas e portas abertas, com alunos.	178
Tabela 43 – Níveis de desempenho térmico médios alcançados na sala 4 e na sala de artes durante as semanas de monitoramento, sob as diferentes condições predeterminadas.	181
Tabela 44 – Valores médios de temperatura e umidade registrados pelos sensores no ambiente externo, na sala 4 e na sala de artes durante todos os dias de monitoramento.	183
Tabela 45 – Registros de temperatura e emissividade no forro da região abaixo do teto verde no auditório.....	184
Tabela 46 – Registros de temperatura e emissividade no forro da região que não está abaixo do teto verde no auditório.	185
Tabela 47 – Registros de temperatura e emissividade no forro abaixo da laje totalmente coberta pelo teto verde na sala de artes.	187
Tabela 48 – Quantitativo da população de alunos da edificação escolar por ano, turma e turno.	207
Tabela 49 – Dados climáticos da Estação Meteorológica Convencional de Recife-PE.....	241

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	Considerações iniciais	20
1.2	Justificativa	23
1.3	Objetivos	25
1.3.1	Objetivo geral	25
1.3.2	Objetivos específicos	25
1.4	Estrutura da dissertação	25
2	REFERENCIAL TEÓRICO	27
2.1	Conforto ambiental	27
2.1.1	Conforto acústico	27
2.1.1.1	<i>Percepção humana</i>	28
2.1.1.2	<i>Ruído: fontes e classificação</i>	30
2.1.1.3	<i>Normas de conforto acústico e limites de exposição ao ruído</i>	32
2.1.2	Conforto térmico	35
2.1.2.1	<i>Percepção humana</i>	36
2.1.2.2	<i>Índices de conforto térmico</i>	37
2.1.2.3	<i>Normas de conforto térmico</i>	40
2.1.3	Conforto ambiental em edificações de ensino	44
2.2	Desempenho	51
2.2.1	Desempenho acústico	51
2.2.1.1	<i>Isolamento acústico</i>	52
2.2.1.2	<i>Reverberação</i>	53
2.2.1.3	<i>Absorção e reflexão dos materiais</i>	55
2.2.2	Desempenho térmico	56
2.2.2.1	<i>Transmissão de calor</i>	57
2.2.2.2	<i>Normas de desempenho térmico</i>	60
2.3	Características do ambiente construído a luz do desempenho das edificações e do conforto dos ambientes	62
3	DESCRIÇÃO DA EDIFICAÇÃO ESCOLAR EM ESTUDO	70
3.1	Localização	70
3.2	Implementação	71
3.3	Características climáticas e orientação	73
3.4	Materiais e técnicas construtivas predominantes	77
3.4.1	Estrutura metálica	78

3.4.2	Elementos de fachada.....	78
3.4.3	Drywall.....	79
3.4.4	Forro.....	80
3.4.5	Piso.....	81
3.4.6	Brisas	82
3.4.7	Esquadrias.....	84
3.4.8	Teto verde e telha termo acústica	84
3.4.9	Perfis das vedações e fachadas	86
4	METODOLOGIA	91
4.1	Programa de investigação.....	91
4.2	Níveis de satisfação dos usuários quanto ao conforto ambiental proporcionado pela edificação escolar.....	92
4.3	Medições acústicas.....	94
4.3.1	Níveis de pressão sonora dos ambientes	95
4.3.2	Isolamento acústico do sistema de vedações verticais internas e externa	105
4.4	Medições térmicas	109
4.4.1	Temperatura e umidade relativa do ar	109
4.4.1.1	<i>Confecção da plataforma de armazenamento dos dados e verificação da calibração do sensor</i>	<i>110</i>
4.4.1.2	<i>Delimitação da amostra</i>	<i>113</i>
4.4.1.3	<i>Instalação e procedimento</i>	<i>114</i>
4.4.2	Temperatura das superfícies	116
5	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	122
5.1	Níveis de satisfação dos usuários quanto ao conforto ambiental proporcionado pela edificação escolar.....	122
5.1.1	Alunos.....	122
5.1.2	Professores	128
5.2	Medições acústicas.....	133
5.2.1	Níveis de pressão sonora dos ambientes	133
5.2.1.1	<i>Ruído externo</i>	<i>134</i>
5.2.1.2	<i>Salas de aula</i>	<i>134</i>
5.2.1.3	<i>Corredor.....</i>	<i>144</i>
5.2.1.4	<i>Quadra esportiva.....</i>	<i>147</i>
5.2.1.5	<i>Auditório e sala de artes</i>	<i>152</i>
5.2.1.6	<i>Panorama geral dos ambientes sob a análise da Organização Mundial de Saúde (OMS)</i>	<i>156</i>
5.2.2	Isolamento acústico do sistema de vedações verticais internas e externa	157

5.3	Medições térmicas	161
5.3.1	Temperatura e umidade relativa do ar	161
5.3.1.1	<i>Sensor externo</i>	<i>162</i>
5.3.1.2	<i>Salas de aula</i>	<i>166</i>
5.3.2	Temperatura das superfícies	183
6	CONCLUSÕES	189
6.1	<i>Principais conclusões</i>	189
6.2	<i>Sugestões para pesquisas futuras</i>	192
	REFERÊNCIAS	194
	APÊNDICE A	206
	APÊNDICE B.....	208
	APÊNDICE C	211
	APÊNDICE D	213
	APÊNDICE E.....	215
	ANEXO A.....	225
	ANEXO B.....	229
	ANEXO C.....	234
	ANEXO D.....	240

1 INTRODUÇÃO

São expostas as problemáticas associadas ao método de construção convencional que levam a reformas ou substituições por construções mais sustentáveis. Destaca-se também a importância da conscientização quanto à necessidade do conforto ambiental dentro do universo escolar. Assim como, são apresentados os objetivos que norteiam esta pesquisa com o intuito de promover mudanças no cenário imobiliário de amplitude nacional.

1.1 Considerações iniciais

A Engenharia Civil passou por um extenso processo de aperfeiçoamento desde que o ser humano deixou as cavernas e começou a pensar em habitações mais cômodas e seguras para seus familiares. Templos, palácios e canais foram características da Antiguidade e parte da paisagem dois mil anos depois do surgimento das primeiras moradias (MIRANDA, 2018). Naquela época, o método de construir era passivo, ou seja, capaz de se adaptar às condições climáticas do seu entorno como vento, chuva, calor e frio (VIANA, 2013; WASSOUF, 2015).

Com os avanços tecnológicos, as construções deixaram de apresentar um caráter passivo, necessitando de aparelhos para promover a adaptação às condições climáticas desfavoráveis e assim aumentando o consumo de energia. O primeiro grande crescimento na Construção Civil brasileira aconteceu na década de 1940. O Brasil daquela época era um importante conhecedor da tecnologia de concreto, tornando-se parte da cultura a construção em alvenaria tradicional. Entre as estruturas aplicadas na construção de casas, as de concreto à vista ou recoberto pela alvenaria são as mais empregadas desde o século anterior. Levando-se posteriormente à necessidade de refletir e qualificar o tempo de vida dos materiais e seus impactos (MIRANDA, 2018).

Muitas edificações foram tipicamente projetadas e construídas para satisfazer objetivos de custo, com pouca preocupação em como se relacionam entre si ou como moldam a vida e a subsistência, levando a padrões de consumo que não são nem saudáveis nem ambientalmente sustentáveis. Um projeto sustentável, por sua vez, oferece novas perspectivas a partir de edifícios sustentáveis, por meio da redução do uso de recursos e da maior contribuição para a saúde de seus ocupantes (KATS, 2014).

Diante desses aspectos, foi criado o conceito de “construção sustentável” ou “construção verde”, que faz parte de uma nova modalidade de construção civil (SOUZA, 2018). Tal conceito se assenta na adoção de técnicas e processos construtivos voltados para a sustentabilidade, ou para a readequação e modernização de imóveis conhecidas por *retrofit* (CAMPOS, 2013). Em 1998, nasceu nos Estados Unidos um dos certificados mais conhecidos nos dias atuais e de maior aplicação a nível mundial: o Sistema LEED. A certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) foi criada pelo U.S. *Green Building Council* (USGBC) e é capaz de analisar a eficiência energética, hídrica e a redução dos gases do efeito estufa associados à construção e ao uso de uma edificação, é um certificado criado com o diferencial de possuir pré-requisitos nas áreas de impacto ambiental (PEREIRA JUNIOR, 2018). No Brasil, esse tipo de construção é certificado pela organização não governamental *Green Building Council - Brasil* (GBC – Brasil).

Rocha (2016) destaca a crescente urgência de que as pessoas tenham mais consciência de suas demandas de conforto e consumo, adotando uma nova visão, seja em termos construtivos ou de projeto, não só para atender às necessidades humanas, mas também com a intenção de preservar o planeta.

Fatores como poluição, materiais de vedação refletores e absorventes, além do aumento na densidade de construções, por justaposição das edificações, dificultam a ventilação natural e proporcionam um maior acúmulo de calor. Aliado à densidade, existe a forma urbana e o uso e a ocupação do solo que contribuem com o aumento da temperatura, favorecendo à formação de microclimas urbanos. Esses elementos têm levado a um aumento da temperatura também no interior das edificações, causando desequilíbrio térmico, além de exercer influência na qualidade de vida do ser humano (FREITAS, AZERÊDO, 2014; PIVETTA, 2010).

O desenvolvimento sustentável desde o seu surgimento na década de 1980 até os mais recentes debates internacionais, como em 2015 na aprovação pela ONU da Agenda 2030, fundamenta embates reais que se travam no mundo pela adoção de metas de redução de emissões de carbono, de políticas públicas e de transformações tecnológicas que efetivamente impeçam o desastre climático ou o aumento da vulnerabilidade das populações expostas às consequências das inundações, da desertificação ou da elevação do nível dos oceanos (VEIGA, 2015).

Desde 1988, quando foi criado o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*), tem-se repercutido mundialmente as questões levantadas por seus relatórios científicos especiais. Contendo uma equipe composta por 195 membros, as informações divulgadas orientam governos no aprimoramento de seus compromissos climáticos nacionais. Em 2018, uma nova edição foi lançada, contendo as perspectivas de limitar o aquecimento global a 1,5 °C em relação ao período Pré-Industrial, e ressalta a necessidade crítica de uma ação climática urgente. O documento evidencia ainda que grandes mudanças no setor da construção são necessárias para alcançar o limiar de aquecimento médio global estabelecido (1,5°C), são elas: emissões de edifícios devem ser reduzidas de 80% a 90% até o meio do século, e toda nova construção precisa ser livre de combustíveis fósseis e com consumo quase zero de energia, em apenas dois anos. Ondas de calor já são uma das principais preocupações para muitas cidades, e o relatório aponta que o desafio será muito maior se nada for feito (KLEIJNE, SINGH, 2018).

Além disso, ainda de acordo com o referido relatório, Recife ocupa a 16ª posição perante o ranking de cidades mais vulneráveis às mudanças climáticas, por se tratar de uma planície estuária, cercada de encostas, resultando como consequência: aumento das temperaturas extremas; aumento de enchentes, porém redução nas precipitações comuns; aumento das ondas de calor; aumento da ocorrência de deslizamentos de encostas (incidentes socioambientais); aumento do nível do mar; e aumento de proliferação de doenças (KLEIJNE, SINGH, 2018). Dentre as estratégias indicadas estão aquelas utilizadas em pesquisas europeias de mitigação e adaptação, identificadas pelo termo “construindo resiliência”, que consiste na capacidade, de regiões ou cidades atingidas por desastres naturais e mudanças climáticas, de implementar políticas públicas para absorver, adaptar, transformar e se preparar para os impactos passados e futuros de choques e tensões econômicas, ambientais, sociais e institucionais (SILVA, 2018).

Sendo assim, o cenário brasileiro tem buscado, embora ainda em ritmo lento, adequar-se às necessidades do meio ambiente de mudança no panorama geral do método de construção. A exemplo disso, tem-se o surgimento da lei de nº 18.112, aprovada em Recife, capital do estado de Pernambuco, que determina a instalação de telhados com cobertura natural e a construção de reservatórios de acúmulo ou retardo de escoamento de águas pluviais (RECIFE, 2015).

1.2 Justificativa

As construções verdes representam uma alternativa capaz de atender às exigências levantadas desde o surgimento dos conceitos de desenvolvimento sustentável, garantindo os recursos naturais e energéticos às gerações futuras. No entanto, a busca por sustentabilidade nas edificações não se restringe apenas no que diz respeito ao impacto imediato gerado ao meio ambiente. A edificação deve prezar, desde a fase de concepção do projeto, pela minimização do consumo de energia e pela seleção cuidadosa dos materiais utilizados. O processamento destes materiais requer energia e resulta na geração de resíduos. Além disso, a busca por uma construção mais sustentável está diretamente vinculada ao conforto dos usuários nas edificações (GEMELLI, 2009).

Atualmente, dentre as definições existentes para o desenvolvimento sustentável, tem-se a abordagem baseada nos três pilares da sustentabilidade (ambiental, social e econômico) como uma das mais populares (ALMEIDA, 2018). O conceito de desenvolvimento ambiental sustentável, por sua vez, consiste no uso dos recursos naturais sem ultrapassar a capacidade de produção destes na natureza, bem como na produção de poluentes sem ultrapassar os limites de biodegradação destes no sistema natural (LOZANO, 2008).

As edificações escolares sustentáveis surgem como um mecanismo importante para a sociedade pois possibilitam a integração de conceitos relacionados aos pilares da sustentabilidade, a partir da educação, e são capazes de difundir conhecimentos do meio ambiente para as futuras gerações (GEMELLI, 2009).

No que diz respeito aos aspectos ambientais, pode-se destacar ainda o conforto, pois é capaz de oferecer condições mínimas de saúde e bem estar aos usuários, podendo ser garantido, dentre outros, através do adequado desempenho dos sistemas construtivos (GEMELLI, 2009). A avaliação do conforto ambiental proporcionado aos usuários em escolas é de extrema importância, principalmente quando se leva em consideração o fato de que estudantes passam mais tempo em salas de aula do que em qualquer outro lugar, e o desconforto pode afetar diretamente o desenvolvimento das atividades e o seu rendimento (CHOI *et al*, 2014).

Uma pesquisa de pós doutorado sobre conforto acústico, envolvendo cerca de 700 estudantes de escolas municipais, estaduais e particulares de Campinas, revelou que 70% dos estudantes

se incomodam com o barulho dentro das salas de aula. Desses, 60% apresentaram dificuldades para realizar as lições, 10,3% não entenderam bem a fala da professora e 6,2% afirmaram sentir dores de cabeça ou de ouvido (6,5%), no final de um dia letivo (JORNAL DA UNICAMP, 2014).

E em se tratando de pesquisas, nota-se um crescimento voltado para o conforto térmico em escolas no mundo todo. Uma hipótese para esta observação é a crescente preocupação de países e governos com sistemas que ocasionam o aumento do consumo de energia e com isso podem prejudicar padrões energéticos ou ir de encontro a programas de sustentabilidade ambiental e eficiência energética (ARENHARDT, 2017). Portanto, uma das estratégias mais importantes e eficazes para o Brasil, capaz de reduzir o consumo de energia e melhorar as condições térmicas dos ambientes internos, trata da otimização da ventilação natural (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2014).

No entanto, há uma problemática de pouca disseminação da cultura de avaliação pós-ocupação no Brasil. Sendo assim, pesquisas dessa natureza devem ser entendidas como mecanismos geradores de subsídios e recomendações a projetos futuros (FERREIRA, 2006). Segundo Abreu (2004), a verificação do conforto ambiental de uma edificação pode ser feita por meio de medições ou modelos matemáticos (simulações), no entanto, esta última possui a desvantagem de não representar precisamente a realidade, que envolve muitas variáveis, como a própria interferência do usuário.

O aprimoramento dos projetos de edificações escolares depende dos resultados de avaliações sistemáticas, como a avaliação pós-ocupação, que se utilizam de métodos e técnicas eficazes para qualificar as condições ambientais e de uso, bem como observar a resposta humana quanto à satisfação com o espaço (SILVEIRA *et al.*, 2018).

Neste sentido, esta pesquisa, desenvolvida com base em medições de campo, avalia uma edificação escolar com implemento de elementos sustentáveis quanto ao conforto ambiental proporcionado aos usuários, tendo em vista os poucos edifícios verdes construídos atualmente em Recife-PE. Além de promover conscientização sobre a interdependência entre as construções e a saúde dos ocupantes, este trabalho estimula mudanças no setor, levando à substituição dos projetos tradicionais (sem práticas sustentáveis) por projetos de construção sustentável.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa consiste em verificar se uma edificação escolar com implemento de elementos sustentáveis, localizada na Região Metropolitana da cidade do Recife – PE, é sustentável no âmbito do conforto ambiental.

1.3.2 Objetivos específicos

A pesquisa contempla ainda os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar a edificação e os elementos sustentáveis empregados;
- Estabelecer avaliações do nível de satisfação de alunos e professores quanto ao conforto ambiental proporcionado pela edificação escolar em estudo;
- Analisar o conforto térmico e acústico dos ambientes da edificação;
- Estabelecer avaliações de desempenho térmico e acústico complementares, a fim de melhor explicar os resultados de conforto obtidos.

1.4 Estrutura da dissertação

A dissertação contempla seis capítulos, contendo no primeiro uma breve introdução, na qual o tema é abordado de modo geral, seguida da justificativa demonstrando as problemáticas envolvidas e a importância de se realizarem estudos sobre este tema, além dos objetivos estabelecidos para o adequado desenvolvimento da pesquisa e da organização do trabalho.

O Capítulo 2 contém o referencial teórico necessário para o entendimento e a contextualização das variáveis empregadas no estudo, abrangendo fatores importantes, tais como: conceitos, características construtivas, aplicações práticas e estudos relacionados ao tema abordado.

O Capítulo 3, por sua vez, trata da caracterização da edificação escolar em estudo, contendo o método construtivo utilizado, a descrição dos elementos sustentáveis empregados, as características climáticas do entorno, entre outros aspectos.

No Capítulo 4 são demonstrados os procedimentos e métodos aplicados para a realização dos ensaios e a coleta de dados da pesquisa, constando informações sobre os equipamentos

utilizados, as normativas consultadas e os limites por elas estabelecidos, assim como os horários e dias de medição.

Já no Capítulo 5 são apresentados e discutidos os resultados relacionados às medições efetuadas, para cada uma das cinco vertentes de avaliação do trabalho (conforto acústico, desempenho acústico, conforto térmico, desempenho térmico e níveis de satisfação dos usuários).

E, por fim, o Capítulo 6 apresenta as considerações finais desta pesquisa e algumas sugestões para futuras pesquisas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

São abordados inicialmente os principais conceitos relacionados aos fenômenos da acústica e térmica presentes em edificações. Em seguida, é apresentada uma revisão sobre os aspectos técnicos relacionados ao isolamento acústico bem como de otimização da ventilação natural no ambiente construído. E ainda são expostas informações acerca do conforto ambiental nas escolas, com a inclusão de alguns exemplos de estudos relativos ao tema.

2.1 Conforto ambiental

O conforto ocorre a partir da união da percepção física e psicológica de todos os sentidos, quando o corpo humano se integra com harmonia aos espaços, aos ambientes e aos objetos. A soma de todos estes fatores, quando de acordo, proporcionam a sensação de bem estar aos usuários (ROCHA, 2016).

Para chegar a este nível de satisfação, as edificações devem assegurar, no seu interior, um ambiente com condições mínimas de conforto e habitabilidade. Zonas de conforto são estabelecidas de acordo com a necessidade do ser humano para manter um equilíbrio. Recomendações são elaboradas, baseadas em determinadas preferências de inserção em certos limites, entre o calor e o frio, entre a luz e a escuridão, o som e o ruído, no sentido de promover um distanciamento dos extremos, que constituiriam os pontos de maior incômodo. A tolerância a cada uma dessas faixas de conforto depende da aclimação, de características humanas e das atividades desenvolvidas (FREITAS, AZERÊDO, FREITAS, 2017).

2.1.1 *Conforto acústico*

Conforto acústico se refere aos limites em decibéis que precisam ser respeitados para a preservação da saúde auditiva, tornando o ambiente acusticamente adequado e agradável ao indivíduo. Trata-se de uma sensação de bem-estar, de tranquilidade emocional, que se caracteriza pela ausência de sons indesejados ou pela realização de atividades acústicas que não incomodem a si nem aos outros, requisito necessário em ambientes destinados ao repouso ou ao trabalho intelectual (NETO, BERTOLI, 2010; SANTOS, SELIGMAN, TOCHETTO, 2012).

No momento da avaliação do conforto acústico de uma edificação, recomenda-se a caracterização das fontes externas e internas de ruído, da envoltória do edifício, bem como a

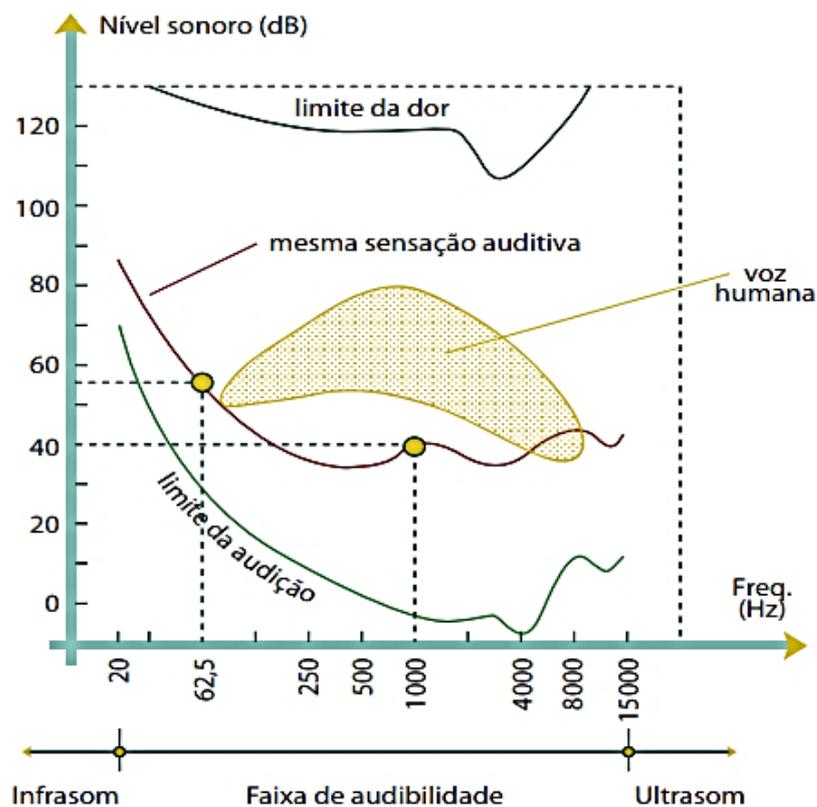
identificação das atividades frequentemente executadas e geradoras dos ruídos observados (ADAMS *et al.*, 2017).

Para uma melhor compreensão do tema de conforto acústico, apresenta-se a seguir assuntos relativos à percepção humana aos sons, às fontes de ruídos, aos ruídos no ambiente construído, e aos níveis de pressão sonora recomendados pelas Normas nacionais em vigor (Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 1992, 2000, 2017; Ministério do Trabalho - MT, 2011).

2.1.1.1 Percepção humana

De acordo com Torija e Flindell (2014), o ouvido humano é mais sensível aos sons médios e agudos (médias e altas frequências) do que aos sons graves (baixa frequência). A intensidade sonora “captada” pelo ouvido humano varia de acordo com as diferentes frequências, Figura 1, conforme Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2013). Observa-se que sons a 62,7 Hz e intensidade sonora (nível sonoro) de 55 dB têm a mesma percepção para os humanos a 1000 Hz e intensidade de 40 dB (ANDRADE, 2017).

Figura 1 – Intensidades sonoras percebidas pelo ouvido humano.



Fonte: CBIC (2013).

Neste contexto, a Figura 1 também evidencia a fala humana que exerce papel fundamental na comunicação entre indivíduos. Entretanto, a fala sozinha não constitui a interação completa entre emissor e receptor, para isto é necessário se fazer entender, ou seja, a inteligibilidade da fala. Esta se caracteriza pela capacidade de reconhecimento pelo ouvinte do sinal acústico emitido pelo orador, sendo expressa em termos de porcentagem e, quanto maior o índice, maior é a compreensão do sinal acústico. Valores próximos de 100% são desejados por possibilitarem melhores condições de ensino-aprendizagem (RABELO *et al.*, 2014).

A Associação Portuguesa de Segurança (APSEI, 2019) define o som como qualquer variação de pressão que o ouvido pode detectar e acrescenta que quando uma fonte sonora vibra, provoca variações de pressão no ambiente, em sobreposição à pressão do ar (em Pascal). Sendo usual exprimir o nível de pressão sonora em decibel (dB), unidade de medida que representa uma razão logarítmica entre a pressão sonora verificada e o nível sonoro de referência ($20\mu\text{Pa}$). A escala de valores de nível de pressão sonora varia, portanto, entre 0 dB (limiar da audição) e 140 dB (limiar da dor), como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 – Escala de valores de nível de pressão sonora variando do limiar da audição até o limiar da dor.



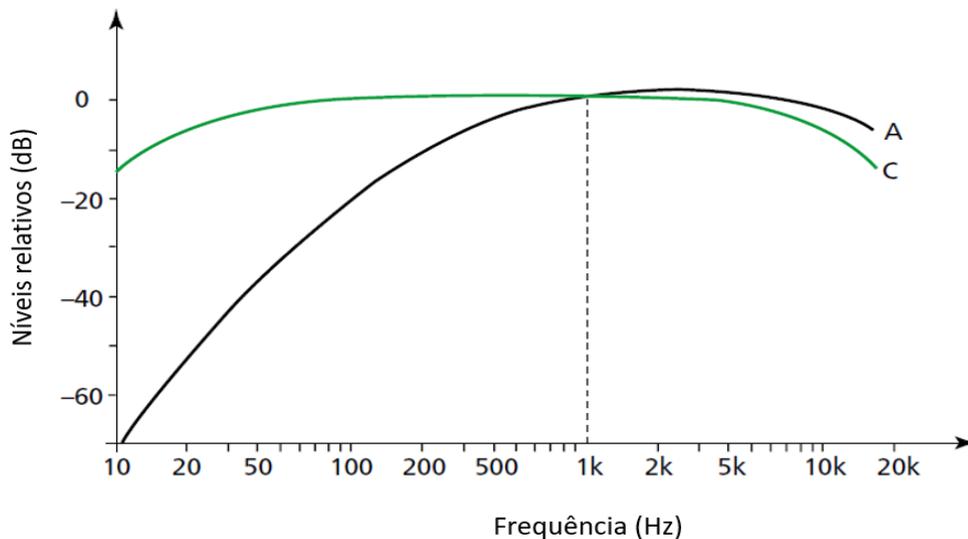
Fonte: APSEI (2019).

Destaca-se que os níveis sonoros são medidos com o auxílio de um sonômetro que calcula o nível correspondente à energia produzida pelos eventos sonoros registrados, que ocorrem durante um determinado intervalo de tempo, chamado de nível equivalente (L_{eq}) (BISTAFA, 2016). No entanto, para equalizar as intensidades sonoras reais com aquelas percebidas pelo ouvido humano, os físicos criaram a escala “A”, que pondera as intensidades sonoras para diferentes frequências. Sendo assim, 80 dB(A) (80 decibéis na escala A) corresponde à sensação humana de uma variada composição de tons e frequências, cuja intensidade seria diferente em outras escalas (B ou C, por exemplo), mais apropriadas para ultrassonografia, eletromagnetismo, entre outras aplicações (CBIC, 2013).

Estas ponderações consistem em filtros eletrônicos colocados dentro do instrumento, utilizados para ajustar a maneira pela qual o ruído é medido, buscando assim, assemelhar-se ao ouvido humano. É importante destacar que ao medir os níveis de ruído, o operador deve selecionar a ponderação de frequência mais adequada primeiro, pois não será possível converter de uma para outra após a medição ter sido efetuada. É por isso que sistemas capazes de medir diferentes frequências de ponderação ao mesmo tempo são considerados os melhores atualmente (MEDISOM, 2016).

Quando a ponderação A de frequência é aplicada, deve-se apresentar as leituras como LAeq ou Leq [dB(A)]. A Figura 3 demonstra níveis de pressão sonora relativos variando para cada ponderação. Isto quer dizer que para um nível de pressão sonora sem ponderação de 70 dB, em 1 kHz o ouvido humano percebe 70 dB(A), porém em 50 Hz capta 39,8 dB(A) (WEBSTER, 2009).

Figura 3 – Curvas de ponderação A e C inseridas nos instrumentos de medição, de acordo com diferentes frequências.



Fonte: Adaptado de Bruel e Kjaer (2000).

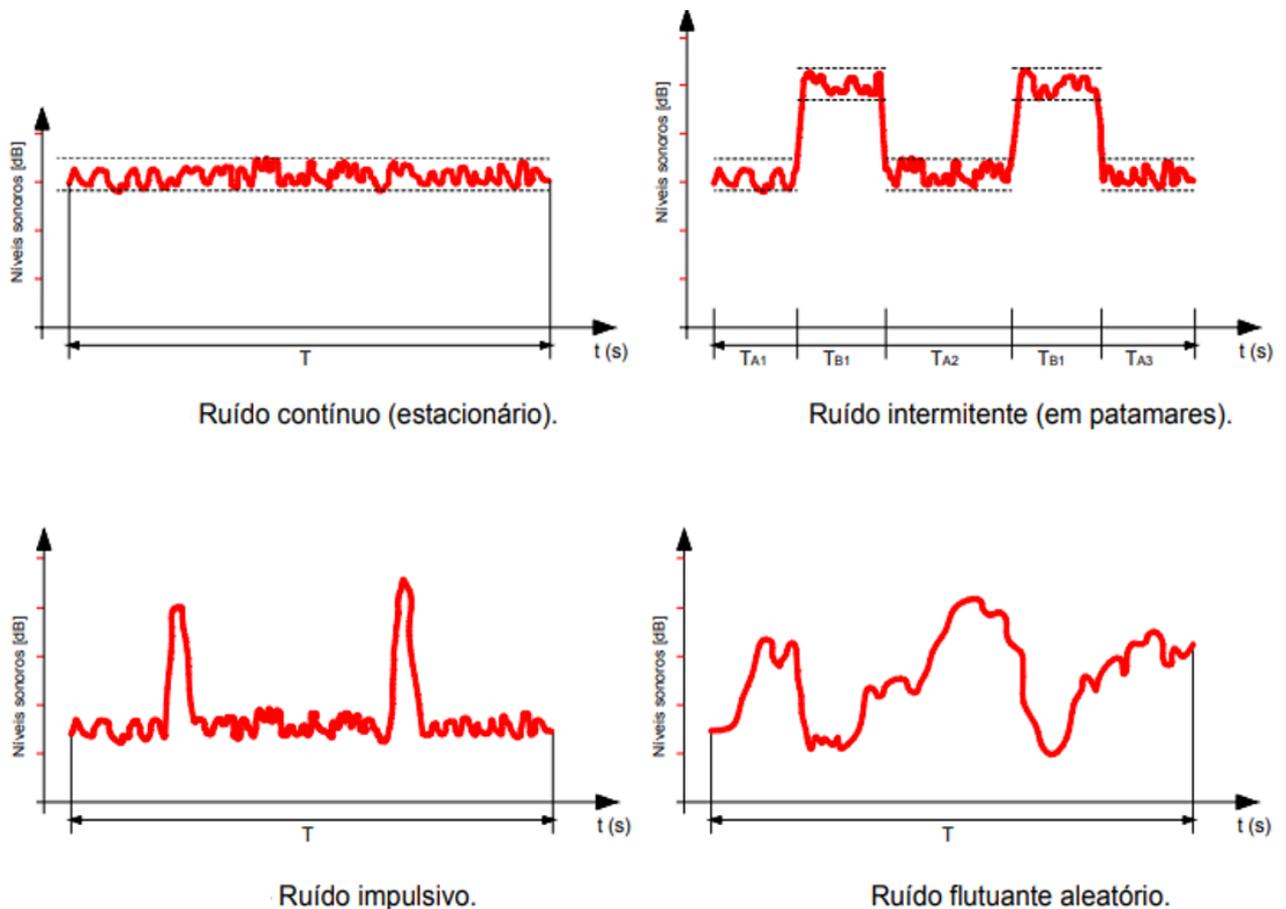
2.1.1.2 Ruído: fontes e classificação

Para melhor entender os fenômenos de acústica gerados nos ambientes, os quais os usuários estão inseridos, deve-se conceituar previamente o ruído e seus tipos. O ruído pode ser definido como um conjunto de sons cujas frequências não seguem nenhuma lei precisa, ou ainda, como todo som considerado indesejável, de acordo com a NBR 12179 (ABNT, 1992). No entanto,

Bistafa (2016) salienta que a definição como um som indesejável deve-se dar de maneira cautelosa, uma vez que podem conter informações importantes e ocorrer conjuntamente com o fato sonoro objeto de interesse.

Em função da variabilidade temporal dos níveis sonoros, Mateus (2008) considera quatro tipos de ruído: o contínuo, o intermitente, o impulsivo e o flutuante aleatório. O ruído contínuo ou estacionário, do ponto de vista técnico, é aquele cujo nível de pressão sonora varia 3 dB durante um longo período de observação. O ruído intermitente é aquele em que o nível de pressão sonora varia até 3 dB em períodos curtos, menor que 15 minutos e superior a 0,2 segundo (CATAI; PENTEADO; DALBELLO, 2006). Já os ruídos impulsivos são caracterizados pelos picos de energia acústica de duração inferior a 1 segundo (SANTOS FILHO, SPOTO, CALDAS, 2017). Por fim, o ruído flutuante aleatório, que acontece na maioria das situações, demonstra uma variação elevada e aleatória (MATEUS, 2008), conforme Figura 4.

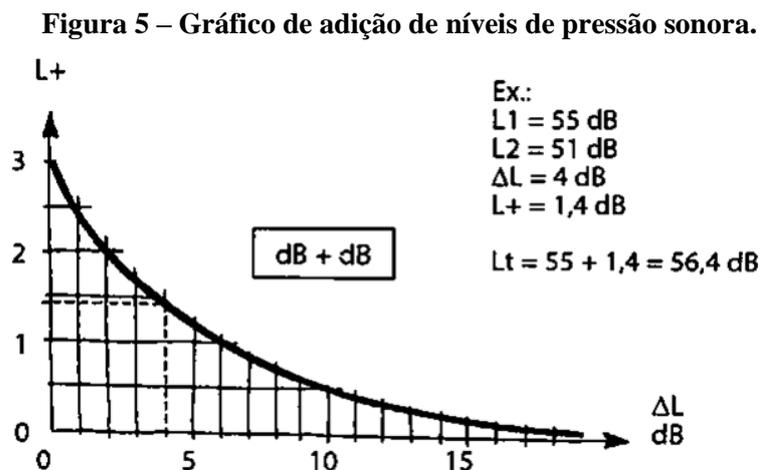
Figura 4 – Classificação em função da variabilidade temporal dos níveis sonoros.



Fonte: Adaptado de Mateus (2008).

Alguns exemplos práticos destas classificações com base na variabilidade temporal dos níveis sonoros podem ser identificados no cotidiano, tais como: marteladas, bate-estacas e fogos de artifício que correspondem ao ruído impulsivo; um tráfego rodoviário fluido considerado como ruído contínuo; já um som intermitente pode ser observado por meio da produção de ciclos (eventos), quando passa um veículo por vez, fazendo com que o nível do ruído cresça e decresça rapidamente (NAGEM, 2000).

Enfatiza-se ainda que um ruído observado em um ambiente pode ser gerado pela contribuição de duas ou mais fontes sonoras. Para identificar então o nível de pressão sonora total, existem procedimentos capazes de “somar” decibéis (BISTAFA, 2016). Neste caso, o nível total é dado pela soma energética dos níveis de pressão sonora individuais (Figura 5), em escala logarítmica, e sua aplicação necessita que seja satisfeita a condição de que as fontes sonoras sejam mutuamente incoerentes (SOUZA, ALMEIDA, BRAGANÇA, 2016).



Fonte: Adaptado de Bruel e Kjaer (2000).

A operação de “subtração” de decibéis é necessária quando, por exemplo, a medição do ruído de uma máquina é feita na presença de ruído de fundo. Neste outro exemplo, é preciso subtrair o nível de ruído de fundo do nível sonoro total medido, a fim de se estimar o nível de ruído da máquina (BISTAFA, 2016).

2.1.1.3 Normas de conforto acústico e limites de exposição ao ruído

A avaliação de conforto acústico é regida pelas normas NBR 10151 (ABNT, 2000) e NBR 10152 (ABNT, 2017). Ambas estabelecem paralelamente os procedimentos a serem seguidos

para a realização dos ensaios nos ambientes analisados (exteriores e interiores), onde são coletados os níveis de pressão sonora atingidos em um determinado momento. Esses níveis alcançados correspondem, portanto, às medidas básicas e elementares para se avaliar o grau de perturbação causado por ruídos estacionários (BISTAFA, 2016).

Vale salientar ainda que a NBR 10152 (ABNT, 2017) fornece valores de referência exigidos para que se garanta o conforto acústico em um determinado ambiente interno, servindo para verificar se o mesmo está ou não de acordo com os padrões necessários. Estes valores variam de acordo com o tipo de edificação e as atividades exercidas (finalidades de uso), conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Valores de referência para ambientes internos segundo a finalidade de uso.

Finalidade de uso	Valores de referência	
	RL_{Aeq}	RL_{ASmax}
Hospitais		
Consultórios, berçários, centro cirúrgicos	35	40
Residenciais		
Dormitórios	35	40
Salas de estrar	40	45
Escolas		
Salas de aula, salas de música	35	40
Circulação	50	55
Locais para esporte		
Atividades esportivas	45	50

Fonte: Adaptado da NBR 10152 (ABNT, 2017).

Krumenauer, Kinzel e Gonzalez (2015) definem $LA_{eq,T,X}$ (nível de pressão sonora equivalente em decibéis ponderados em “A” [dB (A)]) como o nível obtido a partir do valor médio quadrático da pressão sonora (com ponderação em A) referente a todo o intervalo de medição T no ponto X. Alguns instrumentos de medição já fornecem diretamente o $LA_{eq,T,X}$. No entanto, quando não dispõem dessa função é necessário calculá-lo a partir da Equação 1.

$$L_{Aeq,T,X} = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10 \frac{L_i}{10} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde: L_i - nível de pressão sonora, em dB(A), lido em resposta rápida (*fast*) a cada 5 s, durante o tempo de medição do ruído; n é o número total de leituras.

Além da ponderação de frequência, existe a ponderação no tempo. Os tempos de resposta normalizados foram originalmente construídos nos instrumentos de medição de ruído para possibilitar uma indicação visual dos níveis de ruído variáveis. As normas de avaliação ambiental normalmente especificam qual ponderação no tempo deve ser utilizada (NAGEM, 2004). Existem as ponderações lenta, rápida e impulsiva (*slow, fast e impulsive*) (BRÜEL & KJÆR, 2000).

Complementamente, a NBR 10152 (ABNT, 2017) define LAeq como o nível de pressão sonora global representativo de um ambiente obtido pela média logarítima dos níveis de pressão sonora contínuos equivalentes, ponderados em A, medidos em diferentes pontos do ambiente, nas mesmas condições, conforme Equação 2.

$$L_{Aeq} = 10 \times \log_{10} \left[\frac{1}{n} \times \left(10^{\frac{L_{Aeq,T,p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{Aeq,T,p2}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{Aeq,T,pn}}{10}} \right) \right] \quad \text{Equação (2)}$$

Onde: p1, p2 ... pn são todos os pontos de medição distribuídos no ambiente; n é o número de pontos; T é o tempo de integração em cada ponto.

Já o LASmax corresponde ao nível máximo de pressão sonora global representativo de um ambiente obtido pelo maior resultado entre os níveis máximos de pressão sonora, globais, com ponderação A em frequência e ponderação temporal em S (*Slow*), medidos nos diferentes pontos, nas mesmas condições (ABNT, 2017).

No que diz respeito à saúde dos trabalhadores, a NR 15 (MT, 2011), determina os limites de exposição diária a fontes sonoras, aos quais os seres humanos podem ser submetidos, sejam ruídos contínuos ou intermitentes, Tabela 2.

Tabela 2 – Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente.

Nível de ruído dB (A)	Máxima exposição diária permissível
85	8 horas
90	4 horas
95	2 horas
100	1 hora
105	30 minutos
110	15 minutos

Fonte: Adaptado da NR 15 (MT, 2011).

A referida norma entende por contínuo ou intermitente, todo o ruído que não seja impulsivo (ruídos com alta energia acústica e duração menor que 1 segundo).

O conforto auditivo proporcionado por uma edificação possibilita a qualidade das atividades, dos momentos de descanso e lazer, bem como a manutenção da saúde dos usuários (TALIN, TIBÚRCIO, TIBIRIÇÁ, 2012). Esta premissa de adequação dos ambientes internos é também recomendada pela Organização Mundial de Saúde (OMS), que fixa os limites de ruídos de exposição do ser humano e demonstra os riscos para a saúde dos indivíduos conforme o nível de pressão sonora é elevado, como exposto no Quadro 1.

Quadro 1 – Limites de ruído para o ser humano.

Volume (dB)	Reação	Efeitos negativos
Até 50	Confortável	Nenhum
Acima de 50	O organismo humano sofre impactos do ruído	
De 55 a 65	Estado de alerta	- Diminui a concentração - Prejudica a produtividade intelectual
De 65 a 70	Reação do organismo para adaptação	- Aumento no nível de cortisona, diminuindo a resistência imunológica - Induz a liberação de endorfina, tornando o organismo dependente - Aumento na concentração de colesterol no sangue
Acima de 70	Estresse e danos à saúde	- Aumento nos riscos de enfarte e infecções

Fonte: OMS (1999, *apud* Andrade, 2017).

2.1.2 Conforto térmico

O conceito de conforto térmico se refere ao estado psicológico que expressa a satisfação do indivíduo com o ambiente térmico que o circunda. A não satisfação pode ser causada pela sensação de desconforto por calor ou frio, quando o balanço térmico não é estável, ou seja, quando há diferenças entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente (LAMBERTS *et al.*, 2016).

O conforto térmico é de fundamental importância para a satisfação dos usuários, pois, quando uma edificação não proporciona conforto em seu interior, tem-se influência direta sobre o

consumo energético, uma vez que os ocupantes tendem a tomar medidas para torná-lo confortável como o uso de ar condicionado (ROAF; CRICHTON; NICOL, 2009).

Aspectos de conforto térmico, tais como percepção humana e índices de conforto térmico, além das correspondentes normas em vigor são apresentados a seguir.

2.1.2.1 Percepção humana

As condições de conforto térmico dependem no que diz respeito às exigências humanas:

[...] da atividade desenvolvida pelo indivíduo, da sua vestimenta e das variáveis do ambiente que proporcionam as trocas de calor entre o corpo e o ambiente. Além disso, devem ser consideradas outras variáveis como sexo, idade, biotipo, hábitos alimentares, etc (FROTA; SCHIFFER, 2001, p. 25).

Logo, a capacidade dos seres humanos de se adaptar às variáveis climáticas e ao ambiente é notória. O conforto adaptativo diz respeito às adaptações comportamentais que os ocupantes realizam para ficarem confortáveis, ou seja, são feitas alterações em suas vestimentas, posturas e atividades. Por meio de tais processos pessoais, busca-se o equilíbrio dinâmico com o meio envolvente (SANTO, ALVAREZ, NICO-RODRIGUES, 2013).

Embora o indivíduo busque o equilíbrio térmico com o ambiente circundante, existem limitações e isto nem sempre é alcançado. As sensações de conforto têm caráter fisiológico (peso, altura e metabolismo), psicológico (nível de estresse ou humor), mas também subjetivo, isto é, variam de pessoa para pessoa. Em virtude disso, um ambiente pode ser termicamente confortável para um ocupante enquanto frio ou quente para outro. Sabe-se que por conta destas diferenças individuais não é possível satisfazer todos os usuários de um local, porém é possível especificar ambientes que satisfaçam termicamente a maioria de seus ocupantes (SANTOS, 2018).

Dentro deste contexto de adaptação por parte do usuário, de acordo com Campos (2016) existem dois modelos de avaliação do conforto térmico, são eles: o modelo adaptativo e o comparativo. A abordagem adaptativa corresponde, portanto, à obtenção de resultados em pesquisas de campo, onde os parâmetros ambientais são medidos diretamente nos ambientes reais em que as pessoas desenvolvem as suas atividades e é definido pela coleta das sensações térmicas dos ocupantes. Em contrapartida, o modelo comparativo é caracterizado pela obtenção

de resultados experimentais em câmaras climáticas, onde são ajustados os parâmetros ambientais (temperatura do ar, velocidade do ar, temperatura média radiante e humidade do ar) e corresponde ao registro das sensações térmicas experimentadas pelos ocupantes quando sujeitos a diferentes combinações dos parâmetros ambientais. Sendo assim, a principal diferença entre ambas as abordagens reside no fato de que na abordagem adaptativa, o ocupante desempenha um papel decisivo na criação do seu próprio ambiente térmico, interagindo com o meio envolvente, modificando comportamentos, revendo hábitos e se adaptando às condições ambientais existentes. A percepção térmica do ocupante é, portanto, influenciada por fatores que vão além do balanço térmico do corpo humano (CAMPOS, 2016).

2.1.2.2 Índices de conforto térmico

Os termos índice de desconforto, índice de estresse, índice de calor, entre outros de mesma categoria, são utilizados para descrever a relação entre um ambiente e a percepção térmica humana. Objetiva-se, portanto, determinar um índice com finalidades definidas, ou seja, avaliar a percepção térmica humana em ambientes internos e externos; avaliar condições climáticas externas; e prever possíveis riscos térmicos à saúde humana (PEREIRA; ASSIS, 2010, CARLUCCI; PAGLIANO, 2012).

Uma série de índices foram propostos e classificados em três grupos, considerando as semelhanças entre famílias homogêneas (MACPHERSON, 1962), conforme a seguir detalhado:

- Índices com base nas medições de fatores físicos: é resultante de medições direta dos parâmetros físicos que descrevem o ambiente térmico e são representados através de uma regressão linear;
- Índices com base fisiológica: é definida por meio de equações de regressão correlacionando uma gama ampla de interações ambientais e comportamentais com a tensão térmica produzida sobre os indivíduos. Os índices desta categoria utilizam vários parâmetros, que são representados em uma carta psicométrica;
- Índice com base nas trocas de calor (balanço térmico) do corpo humano: integram neste índice, parâmetros fisiológicos comportamentais e climáticos, sendo que a maioria destes parâmetros foi desenvolvida em câmaras termostáticas, relacionando as sensações térmicas do usuário com diversas variáveis ambientais.

Atualmente, as medições associadas aos índices de conforto (simulações em câmaras climáticas, medições e entrevistas com usuários em ambientes reais) fazem parte dos principais métodos para a investigação do conforto térmico (SANTOS, 2018).

Os índices de conforto térmico têm por objetivo avaliar o efeito conjunto das variáveis de conforto térmico e são apresentados sob a forma de cartas bioclimáticas subdivididas em zonas estabelecidas a partir da fixação de uma dada atividade relacionada às variáveis e condições ambientais (LAMBERTS *et al.*, 2016). Givoni (1992), em seu estudo, concebeu uma carta bioclimática para edificações, capaz de efetuar a análise climática local e os parâmetros para o desenvolvimento de projetos, considerando regiões de clima tropical, constatou ainda que a temperatura interna de conforto deveria estar entre 18°C e 29°C, e a umidade relativa do ar não poderia ultrapassar 80%. No entanto, Coêlho (2006) afirma que as cidades situadas em regiões mais quentes do Brasil, como é caso das regiões norte e nordeste, apresentam os índices de conforto mais sensíveis às temperaturas mínimas e qualifica a temperatura de 18°C como um parâmetro mínimo que gera desconforto por frio, ao contrário do que generaliza Givoni (1992). Paralelamente, Freitas (2005) recomenda a temperatura mínima de 22°C.

Destaca-se ainda que muitos índices foram propostos a partir da combinação entre fatores ambientais ou climáticos, são eles: temperatura do ar, umidade, radiação e movimento do ar (Quadro 2). E, a partir deles, é possível relacionar as variáveis de influência nas trocas térmicas entre o corpo e o meio, de modo a quantificar os resultados com base nas relações entre o indivíduo e as condições julgadas inerentes à satisfação térmica (BITTENCOUT, CÂNDIDO, 2008; SANTOS 2018).

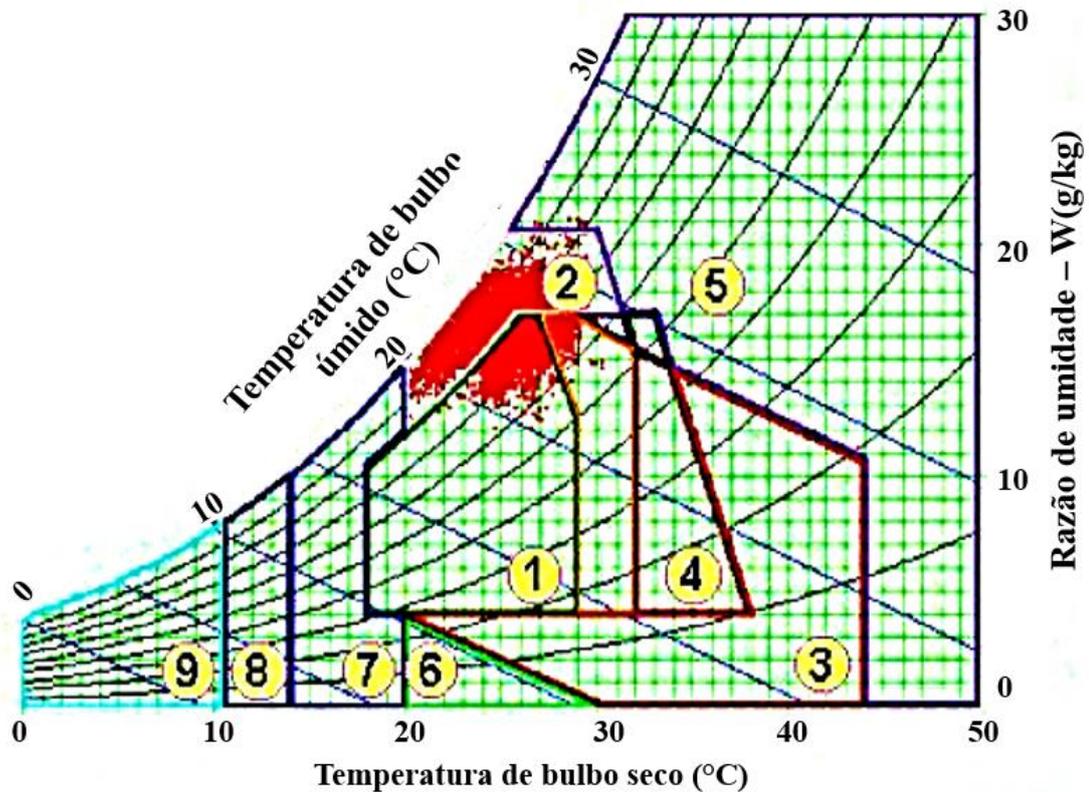
Quadro 2 – Fatores pessoais e ambientais combinados para a elaboração de índices de conforto térmico.

Fatores pessoais	Fatores ambientais
Atividade desempenhada e isolamento térmico das roupas utilizadas.	Temperatura do ar; Temperatura radiante média; Velocidade do ar; Umidade relativa do ar; Pressão parcial do vapor de água no ar ambiente.

Fonte: Adaptado de Lamberts *et al.* (2016).

Com o intuito de alcançar a satisfação térmica, é possível classificar o ambiente interno de acordo com a carta bioclimática proposta para Recife por Lamberts, Dutra e Pereira (2014) com base no ano climático de referência (TRY – *Test Reference Year*), conforme Figura 6. Este ano é obtido, por sua vez, a partir da eliminação de anos de dados, que possuem temperaturas médias mensais extremas (altas ou baixas), até restar um ano somente (COÊLHO, 2006).

Figura 6 – Carta bioclimática proposta para Recife com base no ano de 1962 (TRY).

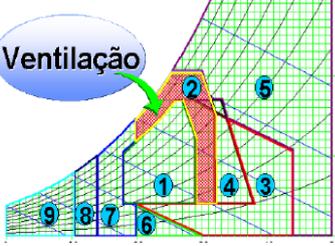
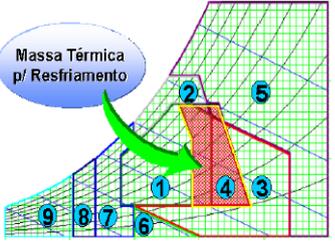
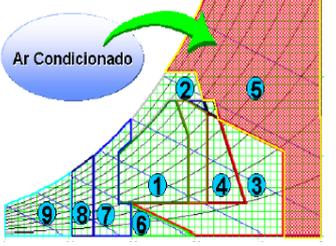
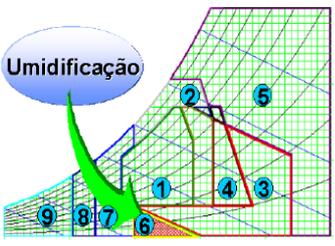
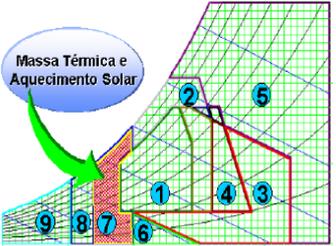
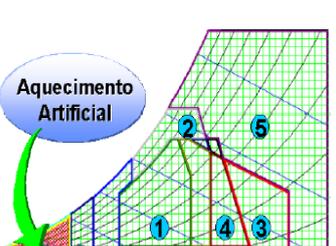


- 1 – Zona de conforto;
- 2 – Ventilação;
- 3 – Resfriamento evaporativo;
- 4 – Massa térmica para resfriamento;
- 5 – Ar condicionado;
- 6 – Umidificação;
- 7 – Massa térmica e aquecimento solar;
- 8 – Aquecimento solar passivo;
- 9 – Aquecimento artificial.

Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

Contudo, para adotar uma solução ou conjunto de soluções é necessário entender, primeiramente, cada uma das aplicações das estratégias bioclimáticas (Quadro 3) a partir das condições climáticas observadas.

Quadro 3 – Aplicações de estratégias bioclimáticas de acordo com a respectiva zona.

Zona	Aplicação	Zona	Aplicação
	Zona 2 - Locais onde a temperatura ultrapassa 29°C e a umidade relativa é superior a 80%.		Zona 3 - Onde a temperatura é alta e a umidade relativa é baixa. Obtido direta (spray de água sobre coberta) ou indiretamente (teto verde).
	Zona 4 - Usual para ambientes de clima quente e seco, onde a temperatura atinge valores altos durante o dia e baixos durante a noite.		Zona 5 - Utiliza-se quando as estratégias de ventilação, resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento não proporcionam as condições ideais de conforto.
	Zona 6 - Indicada quando a temperatura do ar se apresenta menor que 27°C e a umidade relativa abaixo de 20%.		Zona 7 - Uso de componentes construtivos que evitem perdas de calor, pois esta zona se situa entre temperaturas de 14 a 20°C.
	Zona 8 - Recomenda-se em casos com baixa temperatura do ar. É obtido através da orientação adequada da edificação e de cores que maximizem os ganhos de calor.		Zona 9 - Apenas em locais extremamente frios, com temperatura inferior a 10,5°C, em que a estratégia de aquecimento solar passivo não seja suficiente para produzir sensação de conforto.

Fonte: Adaptado de Lamberts *et al.* (2016); Coêlho (2006).

2.1.2.3 Normas de conforto térmico

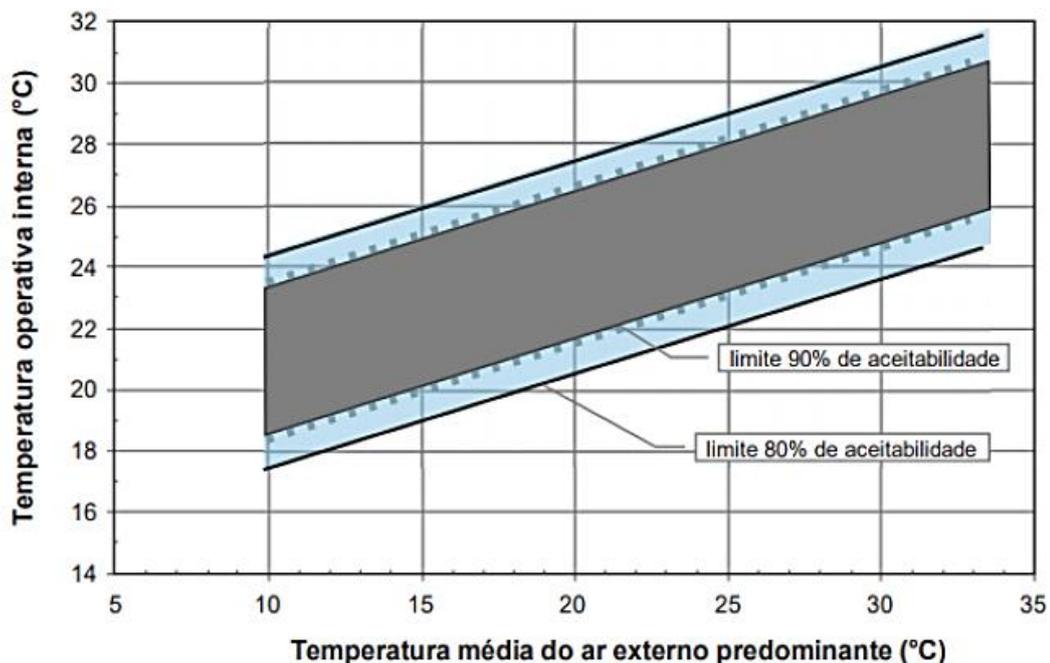
Atualmente, o padrão internacional incorpora as diretrizes de avaliação do conforto nas edificações descritas na normativa ASHRAE *Standard 55* (*American Society of Heating Refrigerating and Air conditioning Engineers*, 2017) que faz uso da avaliação de satisfação dos

usuários a partir do modelo adaptativo. Esta norma americana orienta como efetuar melhorias nas condições térmicas em ambientes internos naturalmente ventilados e projetados para a ocupação humana, além de demonstrar fatores para a definição dos limites mínimos e máximos de aceitabilidade ao desconforto (NICO-RODRIGUES, 2015).

Algumas certificações internacionais, como é o caso do selo LEED (*leadership in energy and environmental design*), utilizam a metodologia ASHRAE 55 (ASHRAE, 2017) para avaliar o conforto térmico a partir da aplicação de questionários. No caso, o responsável pela construção da edificação, em acordo com o projetista, deve desenvolver um plano de correção, caso mais de 20% dos ocupantes não estejam satisfeitos, ou corre o risco de perder a certificação verde adquirida (HAMZAH *et al.*, 2016).

A Figura 7 demonstra a faixa de aceitabilidade prevista pela ASHRAE 55 (ASHRAE, 2017), de acordo com as temperaturas externa e interna à edificação, na qual os usuários estão inseridos.

Figura 7 – Intervalos de temperatura operativa aceitável para espaços naturalmente condicionados.



Fonte: Adaptado da ASHRAE 55 (ASHRAE, 2017).

No entanto, Hamzah *et al.* (2016) discordam do uso da ASHRAE 55 (ASHRAE, 2017), pois a mesma é baseada no usuário americano e estima o valor de temperatura operativa aceitável para

ambientes variando entre 21°C e 27°C internamente e com valor de 20°C externamente, como demonstrado na Figura 7. Os autores ressaltam ainda que esta realidade não é adequada ou condizente para pessoas que vivem em regiões de clima tropical. E portanto, recomendam a consulta a SNI 6390 (*Indonesian National Standard*, 2011) que se divide em três zonas de conforto, relacionando a temperatura e a umidade relativa do ar (UR), são elas:

- Confortavelmente frio: 20,5°C – 22,8°C, UR 50%-80%.
- Confortável: 22,8°C – 25,8°C, UR 70%-80%
- Confortavelmente quente: 25,8°C – 27,1°C, UR 60%-70%.

Diante dessa realidade, trabalhos têm sido desenvolvidos ao redor do mundo em edificações escolares, como é o caso de Indonésia, Japão, Singapura e China (HAMZAH *et al.*, 2016; HWANG, LIN, KUO, 2006; KWOK, CHUN, 2003; WONG, KHOO, 2002). Estes estudos afirmam que a temperatura interna média do ar pode estar fora de zonas de conforto impostas por normativas, mas ainda assim garantir conforto aos usuários, a partir das respostas positivas encontradas conforme a avaliação dos questionários aplicados. A Tabela 3 indica as temperaturas ou faixas de temperaturas operativas estabelecidas nas respectivas pesquisas em salas de aula com ventilação natural e clima quente e úmido.

Tabela 3 – Valores de temperatura média interna operativa aceitável pelos usuários em ambientes escolares de diferentes países de clima quente e úmido.

Temperatura operativa (°C)	País	Referência	Temperatura média mensal (°C)	Amplitude térmica anual (°C)
31,0 – 32,0	Indonésia	Hamzah <i>et al.</i> (2016)	26,6	1,0
24,7 – 26,3	Taiwan	Hwang, Lin e Kuo. (2006)	22,0	13,2
26,9	Japão	Kwok e Chun (2003)	15,6	22,2
28,8	Singapura	Wong e Khoo (2002)	26,8	1,3

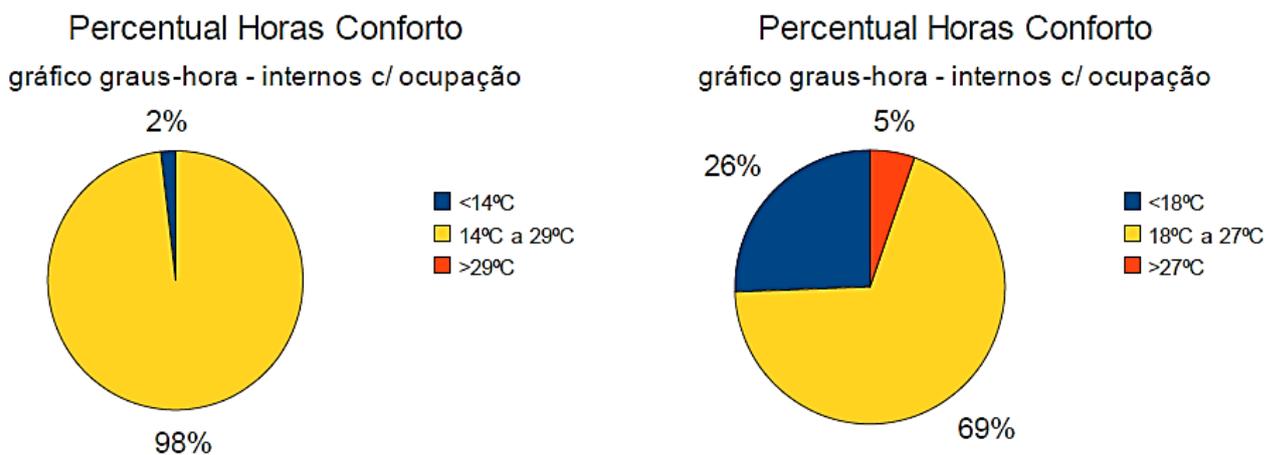
Fonte: Autora.

Ainda sob esta perspectiva de adaptação por parte do indivíduo que vive e é acostumado a certo clima, Freitas (2005) destaca que uma pessoa em um clima temperado ou frio pode se sentir confortável entre 14°C e 18°C. Enquanto, um habitante de um clima quente e úmido, como em Recife – PE, só vai sentir a mesma sensação de bem-estar em temperaturas próximas a 25°C, para desenvolver suas atividades sem maiores esforços de adequação ambiental.

No Brasil, deve-se salientar que não há critérios normativos nacionais que regulem os valores de temperatura e umidade relativa dos ambientes para atingir o conforto térmico. Logo, tem-se observado a necessidade de adaptação das avaliações devido à ausência ou à inadequação de normativas para um determinado local ou até pela falta de compatibilidade com os valores estipulados pela ASHRAE 55 (ASHRAE, 2017). Sendo assim, estudos inovadores têm analisado a incidência dos dados climáticos coletados em conjunto com a aplicação de questionários, a fim de determinar as condições ideais de conforto para os usuários dos estudos de caso avaliados.

Gemelli (2009) analisou a distribuição das temperaturas internas de salas de aula ao longo das horas de monitoramento e estipulou três faixas de temperatura para seu estudo de caso, situado no município de Viamão - RS, local de clima subtropical, com temperatura média de 18,9 °C e amplitude térmica de 10,2°C. Acreditando ser a faixa intermediária a possível zona de conforto para os sensores internos em observação, durante o período de ocupação por alunos. Estipulou, inicialmente, uma zona de conforto entre 14°C e 29°C, considerando fatores externos como a contribuição da vestimenta, a geração de calor e a movimentação do ar; em seguida, restringiu um pouco mais a zona, para uma faixa compreendida entre 18°C e 27°C, percebendo uma redução das horas dentro da faixa de conforto de 98% para 69%, conforme Figura 8.

Figura 8 – Incidência de temperaturas registradas por sensores internos durante período de ocupação para duas zonas de conforto estimadas por estudo semelhante.



Fonte: Gemelli (2009).

A autora também tomou como parâmetro base a faixa intermediária mais restrita e analisou quais sensores internos apresentavam um maior percentual de temperaturas: abaixo de 18°C

(temperaturas enquadradas em zona de desconforto por frio pelo estudo), entre 18°C e 27°C (zona de conforto), e acima de 27°C (desconforto por calor), além do percentual de umidade acima de 80%. Percebeu que apesar da maior incidência de temperaturas na faixa intermediária, a alta umidade encontrada para alguns sensores prejudicava a condição de conforto, de acordo com as respostas dos usuários.

De modo semelhante, Hamzah *et al.* (2016) realizaram seu estudo na Indonésia, onde analisaram a distribuição de temperaturas e umidades do ar coletadas de ambientes de salas de aula, bem como cruzaram os valores médios dos dados climáticos dos sensores internos com as respostas dos questionários, e constataram que apesar de alguns sensores registrarem altas temperaturas e estarem fora da zona de conforto recomendada pela normativa indonesa (SNI, 2011), a umidade se encontrava dentro do intervalo preestabelecido, e por este motivo, os níveis de satisfação obtidos, segundo a opinião dos alunos, foram altos.

2.1.3 Conforto ambiental em edificações de ensino

O conforto ambiental em edificações de ensino é fundamental por garantir o bom desempenho e aprendizado dos estudantes. Gemelli (2009, p. 50) enfatiza que: “as edificações escolares se diferenciam das habitações, pela sua atividade, tempo de ocupação e sua importância dentro do processo de formação de seus usuários”.

Ambas as vertentes de conforto abordadas anteriormente, acústica e térmica, devem ser levadas em consideração, desde a fase de concepção de projeto até a escolha dos materiais. Além disso, deve-se verificar os índices de absorção acústica, pois quando em excesso podem impedir que um aluno compreenda bem o professor em uma sala de aula (CATAI; PENTEADO; DALBELLO, 2006).

Sendo assim, estudos tem sido realizados dentro da temática de conforto ambiental em edificações de ensino e estes serão abordados neste tópico.

Andrade, Cordeiro e Lordsleem Jr. (2016), em sua pesquisa realizada em edificações de ensino, com método de construção convencional, verificaram que existe uma influência direta, devido à geometria dos ambientes, capaz de favorecer às reverberações e que, conseqüentemente, compromete a inteligibilidade da fala.

Em estudo semelhante também realizado em edificações de ensino, Adams *et al.* (2017) sugerem como uma solução de médio prazo, para a problemática que estudaram (prédio que comporta diversos laboratórios de cursos de engenharia civil e elétrica, cujos equipamentos causam ruídos), incluir o uso de divisórias compostas pelo sistema massa-mola-massa, como é o caso de paredes *drywall* com a aplicação de placas cimentícias, preenchidas internamente com lã de pet, por exemplo. Além de sugestões de materiais que melhorem o conforto acústico dos ambientes, os autores estabelecem ainda um comparativo dos valores obtidos com a NR 15 (MT, 2011) (Tabela 4), a fim de verificar se o tempo máximo de exposição ao ruído coincide com a jornada diária de trabalho habitual de 8 horas, em cada ambiente e situação avaliados (com equipamentos geradores de ruído ligados e desligados).

Tabela 4 - Comparativo dos valores obtidos com os limites de tolerância expostos na NR 15 (MT, 2011) para ruídos contínuos ou intermitentes.

Ponto	Local	Ruído com Eq. (dB)	NR 15	Ruído sem Eq. (dB)	NR 15
		Não Permitido		Não Permitido	
1	Sala professores Arq. e Urb.	79	85dB – Máx 8 horas	62	85dB – Máx 8 horas
2	Sala Coordenação Agronomia	83	85dB – Máx 8 horas	53	85dB – Máx 8 horas
3	Circulação mezanino	87	87dB – Máx 6 horas	59	85dB – Máx 8 horas
4	Sala secretária curso Arq. e Urb.	77	85dB – Máx 8 horas	55	85dB – Máx 8 horas
5	Laboratório de Urbano	91	91dB – Máx 3,5 horas	62	85dB – Máx 8 horas
6	Sala de Plotagem	88	88dB – Máx 5 horas	82	85dB – Máx 8 horas
7	Circulação térreo	90	90dB – Máx 4 horas	86	86dB – Máx 7 horas
8	Laboratório Engenharia Civil	85	85dB – Máx 8 horas	56	85dB – Máx 8 horas
9	Laboratório de Maquetes	82	85dB – Máx 8 horas	68	85dB – Máx 8 horas
10	Circulação próximo aos equipamentos	99	100dB – Máx 1 hora	72	85dB – Máx 8 horas
11	Saída posterior para prédio 24	81	85dB – Máx 8 horas	54	85dB – Máx 8 horas
12	Exterior – frente ao Prédio 24	69	85dB – Máx 8 horas	48	85dB – Máx 8 horas

Fonte: Adams *et al.* (2017).

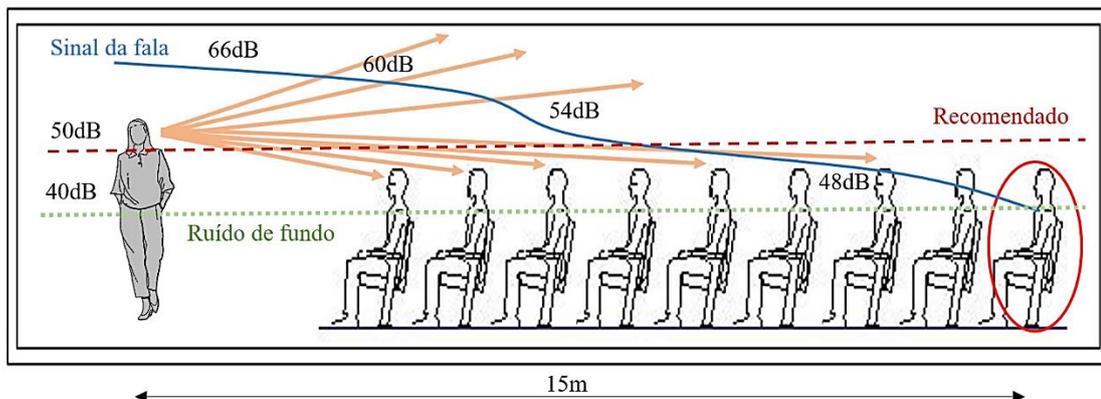
Níveis de pressão sonora elevados surgem de fontes externas, geradoras de ruído, como tráfego de veículos, aviões e estabelecimentos próximos a escola; locais adjacentes à sala de aula, tais como, quadra de esportes e pátio; e por fim, de fontes internas, que correspondem a ruídos

gerados dentro da própria sala, como a conversa dos alunos, ruídos de mobiliário ou equipamentos elétricos (FERNANDES, 2006).

Ressalta-se que o ambiente de sala de aula não é um local de silêncio absoluto, ou seja, sem ruído algum proveniente dos alunos interagindo e falando entre si (ruído de fundo), bem como dos professores (fonte predominante) se direcionando aos alunos. Embora apresente certo ruído em seu ambiente, as salas de aula demonstram condições agravantes quando o ruído de fundo interfere sobre a fala do professor. Ao considerar o nível normal de fala do professor em 65 dB, o ideal na relação sinal de fala/ruído (s/r) seria uma sala silenciosa (equivalente a 40 dB) para manter uma diferença maior que 10 dB em indivíduos com audição normal e, no mínimo, de 15 a 25 dB para crianças portadoras de deficiência auditiva. Quando o ruído aumenta, esta diferença diminui e a inteligibilidade da fala fica comprometida, fazendo com que seja necessário que o professor aumente a intensidade da voz para compensar essa desvantagem (ENIZ, GARAVELLI, 2006).

A inteligibilidade de fala também pode ser reduzida quanto maior for a distância entre a fonte (professor) e os ouvintes (estudantes), uma vez que, pelo princípio físico, a intensidade sonora decresce 6 dB quando se dobra a distância da fonte, é evidente que o som da voz do professor é maior na frente da sala do que no fundo (FERNANDES, 2006). Portanto, para que o aluno da última fileira compreenda bem a palavra falada, dentro do critério de excelente condição de audição, o nível de pressão sonora que chega até ele deve ser de pelo menos 50 dB e a distância limite não deve ultrapassar 15 m, conforme evidenciado na Figura 9 e na Tabela 5.

Figura 9 – Condições ideais para garantir a inteligibilidade da palavra falada em salas de aula.



Fonte: Adaptado de Notas de aula¹

¹ Ilustração demonstrada no curso de Conforto IV de Arquitetura e Urbanismo da UFPE, em setembro de 2017.

Tabela 5 – Critérios associados às distâncias limites entre fonte e última fileira para garantir a inteligibilidade da fala.

Critério	Distância limite (m)
Excelente	15
Bom	15 a 20
Regular	20 a 25
Ruim	30

Fonte: Adaptado de Souza, Bragança e Almeida (2016).

Santos, Seligman e Tochetto (2012), em seu estudo, observaram níveis de pressão sonora nas salas de aula avaliadas variando entre 52 e 114 dB aproximadamente. Logo, para garantir a diferença entre 10 e 25 dB e assim atender ao critério de inteligibilidade, os professores teriam que elevar a voz entre 80 e 124 dB – o que foi considerado impraticável pelos autores.

Na Tabela 6, é apresentado um resumo com os principais resultados de níveis de pressão sonora de ambientes demonstrados em estudos sobre conforto acústico em edificações de ensino, sob atividades normais de trabalho, lazer e convívio, dando-se ênfase ao método de construção empregado, bem como às técnicas construtivas descritas e aos ambientes monitorados.

Tabela 6 - Resumo de pesquisas sobre conforto acústico em edificações de ensino.

Autor	Método de construção	Técnicas construtivas preponderantes	Ambientes internos	Resultados (dB)
Dalvite <i>et al.</i> (2007)	Convencional	- Forro de madeira semiporoso; - Janelas sem tratamento.	- salas de aula - circulação - quadra esportiva	- de 55 a 77 - de 68 a 95 - de 55 a 90
Gemelli (2009)	Convencional	- Paredes internas de alvenaria, revestimento de argamassa e pintura; - esquadrias de ferro, com sistema basculante.	- sala de aula - circulação - quadra esportiva	- 66 - 75 - 64
Santos, Seligman e Tochetto (2012)	Convencional	-	salas de aula	de 52 a 114
Adams <i>et al.</i> (2017)	Sustentável	- Estrutura metálica; - Divisórias leves; - Portas e janelas sem tratamento; - Piso de madeira ou cerâmico.	- salas - circulação	- de 53 a 82 - de 59 a 86

Fonte: Autora.

De fato, quando se unem ambas as vertentes abordadas, como no caso da pesquisa de Catalina e Banu (2014) que avaliou o impacto da qualidade das condições ambientais internas alternadamente sobre o desempenho de alunos, por meio do controle da temperatura e do uso de fonte sonora nos ambientes, percebe-se que perante condições ideais de conforto acústico e térmico os estudantes são capazes de demonstrar um desempenho 15% e 16% melhor respectivamente. Motivo pelo qual, torna-se imprescindível dar continuidade a estudos de avaliação de conforto térmico a partir do modelo adaptativo em locais de clima tropical, já que para a realidade nacional a maioria das salas de aula são ventiladas naturalmente, sem o condicionamento da temperatura (HAMZAH *et al.*, 2016; SILVEIRA *et al.*, 2018).

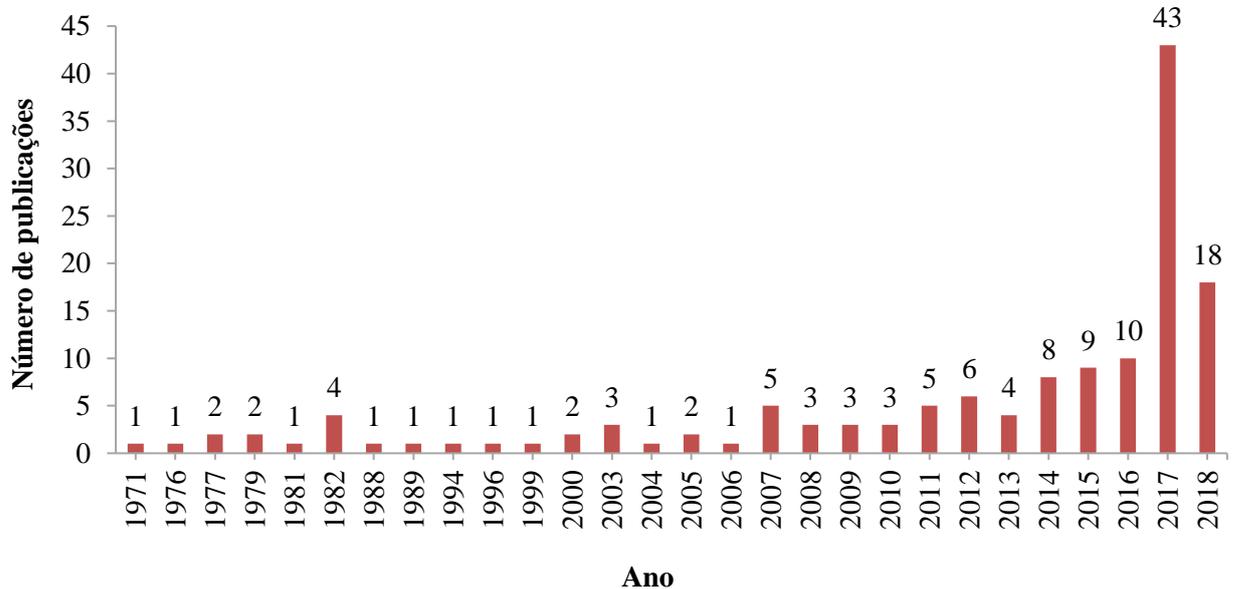
Em seu estudo, Arenhardt (2017) realizou uma pesquisa bibliométrica referente à temática de conforto térmico em instituições de ensino, em janeiro de 2016, e constatou um aumento considerável de publicações sobre o tema nos últimos dez anos, cerca de oito vezes mais. A pesquisa teve como base de dados científicos uma importante plataforma de busca, a Scopus da editora internacional Elsevier.

No ranking dos países que mais publicaram sobre a temática na referida base de dados científicos, o autor destaca a China em primeiro lugar, seguida dos Estados Unidos, de Portugal, Reino Unido e Austrália. O Brasil ocupa a 12^a posição (ARENHARDT, 2017).

Com base na análise realizada entre as publicações, foi possível perceber uma estreita relação entre o tema pesquisado e os tópicos de ventilação, qualidade do ar interior e conforto ambiental. Uma hipótese para a relação entre os temas reside na necessidade observada de melhoria das condições de conforto térmico, a partir da ventilação natural, pois um grande número de escolas e instituições de ensino não usufruem de um sistema de condicionamento de ar (ARENHARDT, 2017).

De modo semelhante, a presente pesquisa também realizou um levantamento sobre conforto térmico em edificações educacionais, na plataforma de busca Science Direct, constatando comportamento crescente, assim como reportado por Arenhardt (2017), como pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 – Evolução das publicações a respeito de conforto térmico em edificações educacionais na base de dados científicos, Science Direct.



Fonte: Autora.

Com base nos resumos de pesquisas elaborado sobre conforto acústico em edificações de ensino, foi possível estabelecer um resumo também com os principais resultados de temperatura e umidade relativa do ar de ambientes demonstrados em estudos sobre conforto térmico em edificações de ensino, Tabela 7, com ênfase no método de construção empregado bem como nos percentuais de satisfação dos usuários perante os dados climáticos obtidos segundo modelos adaptativos (com ventilação natural).

Tabela 7 - Resumo de pesquisas sobre conforto térmico em edificações de ensino, com ventilação natural.

Referência	Método de construção	Resultados		Satisfação dos usuários (%)s
		Temp (°C)	UR (%)	
Arenhardt (2017)	Convencional	28,0 – 30,0	-	80,0
Hamzah <i>et al.</i> (2016)	Sustentável	30,8 – 32,0	52,6 – 65,2	80,0
Gemelli (2009)	Convencional, com estratégias bioclimáticas empregadas	18,0 – 27,0	> 80	85,0
Wong e Khoo (2002)	Convencional	28,8	-	75,5

Fonte: Autora.

Hamzah *et al.* (2016) percebeu que a temperatura do ar interna era elevada nos dias de medição, entre 30,8°C e 32°C. E embora, os registros de temperatura obtidos estivessem fora das zonas de conforto especificadas pela ASHRAE 55 (ASHRAE, 2017) e pela SNI 6390 (SNI, 2011), a umidade relativa do ar estava dentro dos limites em ambas as normas, variando entre 52,6% e 65,2%. Justificando, com isso, o motivo pelo qual os estudantes se sentiram confortáveis nesta condição térmica quente. Lamberts *et al.* (2018) percebeu um comportamento semelhante em seu estudo de caso realizado em salas de aula de edificação escolar, no São Luís – MA (local de clima tropical, temperatura média de 27°C e amplitude térmica de 1,4°C), no qual foi estabelecida a influência da umidade relativa do ar sobre a percepção térmica dos usuários, uma vez que quando os valores ultrapassavam 70%, aumentava-se o desconforto térmico e se reduzia a aceitabilidade térmica, diante de temperaturas operativas acima de 30°C.

Em seu estudo, Arenhardt (2017) avaliou salas de aula com ventilação natural pertencentes ao campus de uma Universidade localizada em São Leopoldo-RS (clima subtropical, cuja amplitude térmica aponta 9,9°C e a temperatura média corresponde a 19,5°C) e constatou que o aumento da taxa de renovação do ar em salas de aula se configurou como uma boa alternativa para melhorar a sensação térmica dos ocupantes em climas quentes e úmidos. Diante da análise realizada com o modelo de conforto adaptativo, o estudo acrescenta ainda que a aceitabilidade térmica dos ocupantes das salas com ventilação natural ficou dentro da faixa proposta pela ASHRAE 55 (80%), em apenas 16% das medições. E classificou os valores de temperatura operativa entre 28°C e 30°C como a faixa de melhores condições de conforto térmico para os seus usuários.

As dimensões territoriais do país, a diversidade de técnicas e de elementos construtivos, a incerteza quanto aos padrões adequados de conforto térmico para o território nacional, os diversos níveis de ensino e as condições socioeconômicas regionais são variáveis de extensa abordagem e complexidade. Por isso, a reunião destas informações na tentativa de estabelecer generalizadamente parâmetros de conforto térmico no ambiente escolar brasileiro se torna ineficiente (SILVEIRA *et al.*, 2018). Dentro deste contexto, as avaliações pós-ocupação são importantes para evitar as repetições de erros, pois nem sempre os problemas encontrados são sanados com as normas técnicas vigentes (KOWALTOWSKI, 2011).

2.2 Desempenho

O desempenho, de modo geral, é definido como o comportamento em uso das edificações que, após a publicação da NBR 15575 (ABNT, 2013), passou a ser verificado segundo requisitos qualitativos para o atendimento das exigências dos usuários a partir de critérios quantitativos dos sistemas das edificações, quando submetidos a um dado método de avaliação (ANDRADE, 2017). O conceito de comportamento em uso dos componentes e sistemas das edificações trazido pela referida norma, promove o amadurecimento e melhoria da relação de consumo no mercado imobiliário, na medida em que todos os partícipes da produção habitacional são incumbidos de suas responsabilidades; projetistas, fornecedores de material, componente e/ou sistema, construtor, incorporador e usuário (CBIC, 2013).

Os desempenhos acústico e térmico são abordados a seguir.

2.2.1 Desempenho acústico

Desempenho acústico não é sinônimo de conforto acústico, pois atingir o desempenho mínimo não implica dizer que o nível de conforto acústico foi alcançado (IKEDA; AQUILINO, 2012). Enquanto o desempenho acústico da edificação avalia superfícies e a sua capacidade de isolamento quanto aos ruídos as quais são expostas, o conforto acústico analisa ambientes como um todo, influenciados pelas atividades exercidas e fontes de ruído gerados pelas mesmas (SOUZA, 2018).

Na NBR 15575 (ABNT, 2013) são apresentados requisitos para cinco tipos de isolamento acústico: o isolamento acústico ao ruído aéreo promovido pelas vedações verticais externas; o isolamento acústico ao ruído aéreo promovido pelas vedações verticais internas; o isolamento acústico ao ruído aéreo promovido pelas vedações horizontais; o isolamento acústico ao ruído de impacto promovido pelos sistemas de piso e o isolamento acústico quanto ao ruído gerado por equipamentos hidrossanitários (SILVA, 2014).

Este trabalho irá focar no isolamento acústico ao ruído aéreo pelas vedações verticais internas, objeto do estudo.

2.2.1.1 Isolamento acústico

O isolamento ao ruído aéreo de um fechamento é definido a partir da diferença de níveis sonoros entre dois ambientes contíguos e quanto maior esse valor, maior será o isolamento (NUNES, ZINI, PAGNUSSAT, 2014).

Souza, Almeida e Bragança (2016) salientam que todo material apresenta capacidade própria de reduzir a intensidade sonora quando aplicado entre fonte e receptor. Essa capacidade de isolar varia com a frequência dos sons, por isso, a capacidade dos materiais de isolar os ruídos é indicada por um valor específico para frequências definidas, denominado índice de atenuação. A Tabela 8 indica a capacidade de isolamento de diferentes componentes construtivos de acordo com a frequência.

Tabela 8 – Índices médios de redução sonora, obtidos em laboratório, para algumas vedações.

Componente construtivo	Frequência (Hz)				
	125	250	500	1k	2k
Parede de tijolo maciço (480 kg/m ²)	41 dB	45 dB	48 dB	53 dB	57 dB
Parede de tijolo maciço(260 kg/m ²)	32 dB	41 dB	48 dB	51 dB	52 dB
Janela de vidro simples	19 dB	22 dB	25 dB	28 dB	27 dB
Porta simples oca	12 dB	13 dB	14 dB	16 dB	18 dB
Porta com recheio e vedação	20 dB	24 dB	27 dB	28 dB	31 dB

Fonte: Souza, Almeida e Bragança (2016).

Lordsleem Jr. (2012) afirma que as vedações verticais e as esquadrias influenciam diretamente o desempenho acústico do edifício, controlando a ação de agentes indesejáveis, entre eles: o ruído aéreo.

Andrade, Cordeiro e Lordsleem Jr. (2016) destacam que para avaliar vedações quanto ao desempenho acústico em campo, a norma ISO 717 (ISO, 2013) apresenta como parâmetros acústicos a Diferença Padronizada de Nível Ponderada (D_{nt,w}) e a Diferença Padronizada de Nível Ponderada a 2 m de distância da fachada (D_{2m,nT,w}) para vedações internas e externas respectivamente. Para compilar estes dados, os softwares de análise dependem ainda do ruído de emissão, de recepção, do ruído de fundo e do tempo de reverberação.

No que diz respeito à avaliação dos sistemas de vedação de edificações habitacionais, a NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece critérios de isolamento a serem atendidos para o adequado

funcionamento das edificações – no valor de 40 dB para as vedações verticais internas e 25 dB para as vedações verticais externas.

No entanto, não há ainda uma normalização brasileira que estabeleça os critérios mínimos de isolamento a serem atendidos para as edificações de ensino, sendo necessária a busca por referências internacionais. Dentre as disponíveis na literatura, pode-se citar: a norma neozelandesa AS/NZ 2107 (2000); o guia de referência para design de escolas do Reino Unido – Building Bulletin 93 (BB93) do ano de 2003; o decreto-lei 96/2008 do Regulamento de Requisitos Acústicos em Edifícios (RRAE) de Portugal e a norma americana para arquitetura escolar ANSI S12.60 (2009) que estabelecem os critérios dispostos na Tabela 9 (ANDRADE, CORDEIRO, LORDSLEEM JR, 2016).

Tabela 9 – Critérios mínimos de isolamento acústico para edificações de ensino, segundo normativas internacionais.

Indicador	Portugal	Reino Unido	Estados Unidos	Nova Zelândia
$D_{nt,w}$	45 dB	45dB	48dB	48dB
$D_{2m,nT,w}$	30 dB	45dB	43dB	-

$D_{nt,w}$ – Diferença Padronizada de Nível Ponderada de acordo com a ISO 717 (ISO, 2013);

$D_{2m,nT,w}$ - Diferença Padronizada de Nível Ponderada a 2 m de distância da fachada de acordo com a ISO 717 (ISO, 2013);

Fonte: Adaptado de Menezes (2010).

Andrade, Cordeiro e Lordsleem Jr (2016) citam que a ausência de uma norma brasileira regulamentadora, capaz de determinar os desempenhos acústicos mínimos para edificações de ensino, favorece as construções sem planejamento.

2.2.1.2 Reverberação

Para cada ambiente existe um tempo de reverberação apropriado, com base no volume e nas frequências sonoras das fontes. Esse tempo é chamado de tempo ótimo de reverberação e pode ser definido como o tempo necessário para que um som deixe de ser ouvido, ou ainda como o tempo necessário para que o som decresça 60 dB (ABNT, 1992).

Bistafa (2016) afirma que esta medida deve ser compatível com o uso do espaço que, para cada atividade, requer valores diferentes. Em ambientes destinados a fala, se for longo, permanece no ambiente por muito tempo através de reflexões, reduzindo assim a sua inteligibilidade.

Valores de tempo de reverberação ideais por tipo de ambiente em edifícios educacionais, são recomendados por Tadeu (2000), conforme Tabela 10. Já Gemelli (2009) se concentra na ideia de volume ao invés de tipo de ambiente, destacando que ambientes com até 200m³ devem possuir um tempo de reverberação em torno de 0,6 segundo.

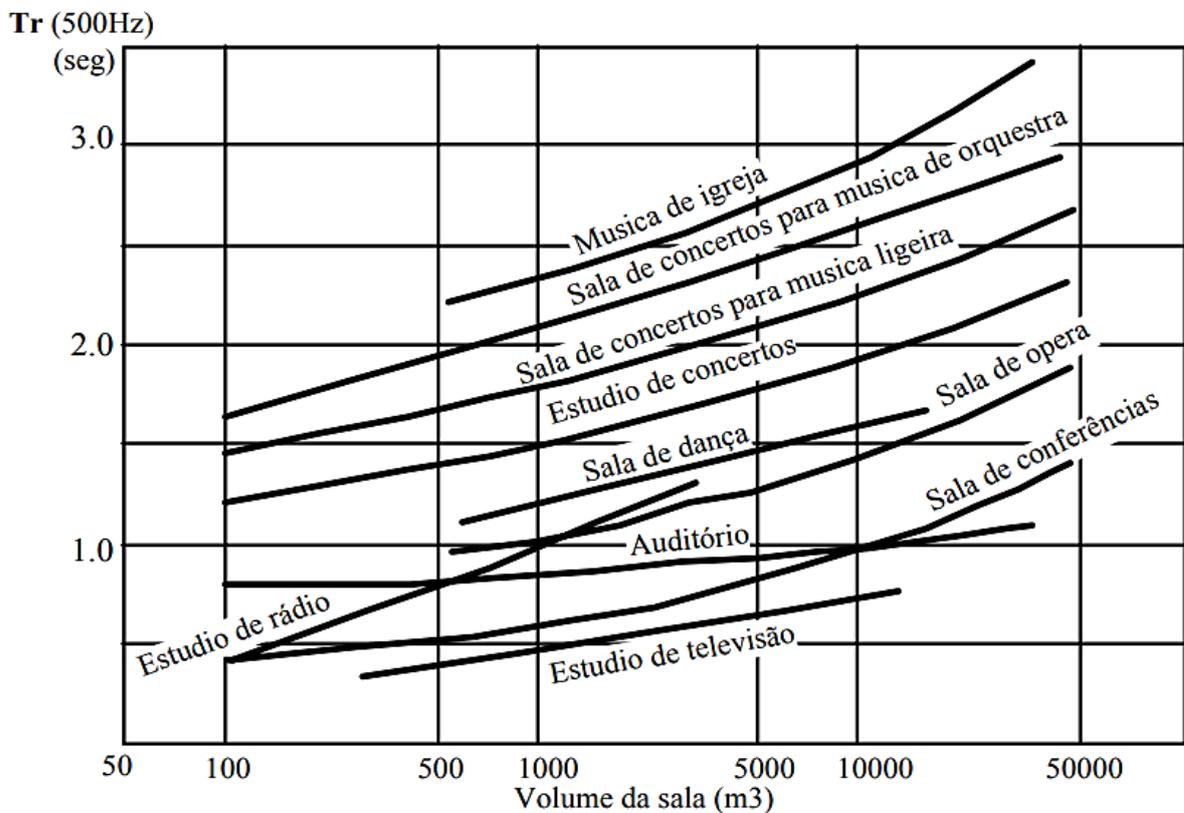
Tabela 10 – Tempos de reverberação recomendados para edificações de ensino.

Tipo de edifício	Local	Tempo de reverberação recomendado (Tr)
Educativa	Aulas	0,8s < Tr < 1,5s
	Salas de Leitura	0,8s < Tr < 1,5s
	Zonas Comuns	1,5s < Tr < 2,0s

Fonte: Tadeu (2000).

Quando ambas as variáveis, volume e tipo de ambiente, são relacionadas, Figura 11, pode ser extraído o tempo de reverberação, usualmente, obtido a 500 Hz (GEMELLI, 2009).

Figura 11 – Tempos de reverberação recomendados, a 500 Hz, para diferentes utilizações e em função do volume dos ambientes.



Fonte: Mateus (2008).

As curvas crescentes demonstram a necessidade de aumento do tempo de reverberação conforme ocorre o aumento do volume do ambiente. Uma vez que locais maiores implicam numa dispersão mais rápida do som e requerem o uso adequado de elementos reflexivos para manter o som no ambiente por mais tempo (BISTAFA, 2016).

Catai, Penteadó e Dalbello (2006) enfatizam que a escolha adequada dos materiais, como forros e paredes recheadas com lãs minerais, lã de rocha e de vidro, pode corrigir o tempo de reverberação do som.

2.2.1.3 Absorção e reflexão dos materiais

Todos os materiais possuem a capacidade de refletir e absorver o som. A diferença está no fato de que quando ele possui uma maior capacidade de reflexão que absorção, ele é classificado como um material reflexivo e quando o contrário acontece, de absorvente.

Jadir e Lima (2009) discorrem a respeito dos fenômenos que podem ocorrer quando uma onda sonora se depara com um obstáculo, são eles: a reflexão, a absorção ou a transmissão. A reflexão ocorre quando a onda se reflete de acordo com as leis da ótica; a absorção é a capacidade da superfície de não permitir que a onda sonora seja refletida; a transmissão é a capacidade de um material de permitir que o som ultrapasse uma superfície, continuando a propagação. O som encontra a superfície, faz o material vibrar e gera uma onda do outro lado do anteparo.

Para um melhor entendimento, defini-se o coeficiente de absorção (α) de um dado material, conforme apresentado na Equação 3, como o percentual de energia que é absorvida, em relação ao som incidente (JADIR, LIMA, 2009). Essa capacidade de absorção dos materiais resulta de uma alteração da energia sonora em outra forma de energia, geralmente calor.

$$\alpha = \frac{\text{Energia absorvida (W/m}^2\text{)}}{\text{Energia incidente (W/m}^2\text{)}} \quad \text{Equação (3)}$$

O valor do coeficiente de absorção de um dado material varia de 0 a 1 e não é o mesmo para sons graves, médios e agudos (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2016). A Tabela 11 demonstra a variação e os coeficientes de absorção de diferentes materiais de acordo com a frequência.

Tabela 11 – Coeficientes de absorção de diferentes materiais segundo variadas frequências.

Material	Frequência (Hz)					
	125	250	500	1k	2k	4k
Lã de rocha	0,42	0,66	0,73	0,74	0,76	0,79
Lã de vidro	0,29	0,55	0,64	0,75	0,80	0,85
Concreto	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07
Reboco liso	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06
Reboco áspero, cal	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07
Teto suspenso de gesso	0,02	-	0,03	-	0,05	-
Parede de tijolo maciço	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07
Vidraça de janela	-	0,04	0,03	0,02	-	-

Fonte: Adaptado de Jadir e Lima (2009); NBR 12179 (ABNT, 1992); Souza, Almeida e Bragança (2016).

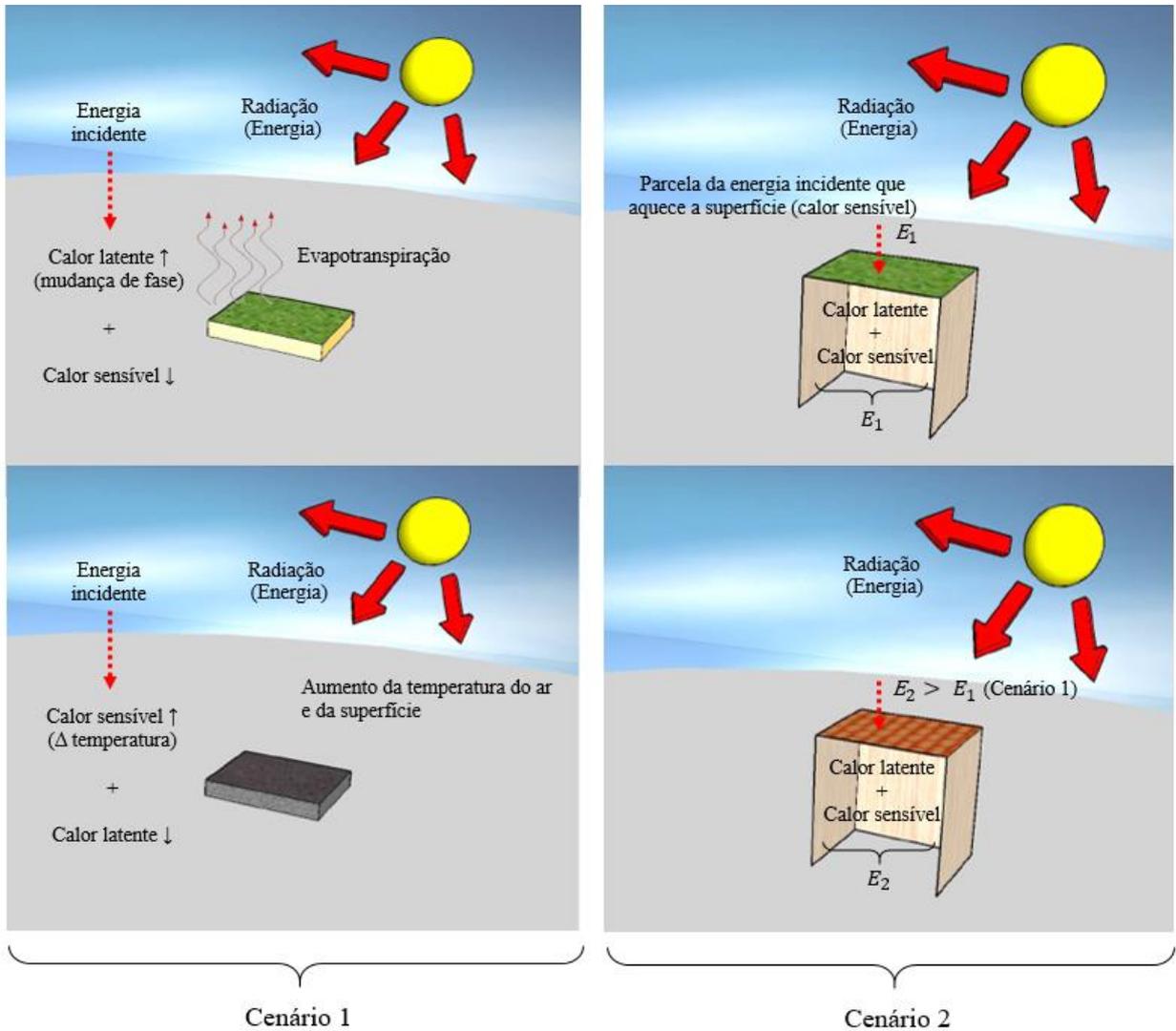
Materiais menos absorventes e mais refletores possuem valores de absorção próximos a zero, apresentando geralmente características menos permeáveis, ou seja, com grande resistência à passagem do ar, pouca porosidade (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2016).

2.2.2 Desempenho térmico

As decorrentes variações climáticas provenientes das alterações de temperatura, vento, umidade e insolação são fatores que interferem no funcionamento térmico da edificação. Adotar diretrizes que consideram as relações entre clima e seres humanos é importante para a definição de ambientes adequados às sensações dos usuários (NICO-RODRIGUES *et al.*, 2015).

Quando o tema clima urbano é referido, imediatamente, associa-se às ilhas de calor. De fato, a temperatura do ar depende de fatores, como: uso do solo, orientação e geometria do local. Porém, a heterogeneidade térmica urbana está relacionada, a princípio, à modificação da repartição do fluxo de energia que incide sobre superfícies, como observado na Figura 12. Ao se substituir uma área de vegetação ou de água, que possuem um pequeno potencial energético, por telhado ou asfalto, que apresentam grande potencial energético, ocorre uma alteração na partição do fluxo energético. A energia que antes era utilizada na evapotranspiração da vegetação e na evaporação da água, através do fluxo de calor latente (mudança de fase), será utilizada no aquecimento da superfície e, conseqüentemente, no aumento da temperatura do ar, através do fluxo de calor sensível (variação de temperatura) seguindo o balanço de energia, que se baseia na primeira lei da termodinâmica (princípio de conservação), onde a energia não pode ser criada e nem destruída, somente convertida para outra forma (MOREIRA *et al.*, 2017).

Figura 12 – Esquemática da modificação na repartição do fluxo de energia ao substituir área de vegetação por asfalto (cenário 1) ou telha cerâmica (cenário 2).



Fonte: Autora.

2.2.2.1 Transmissão de calor

Para melhor compreender o comportamento higrotérmico dos edifícios, é necessário entender alguns conceitos dos fenômenos de trocas térmicas.

Perante isto, pode-se associar a transmissão de calor com as envolventes de um edifício a uma diferença de temperatura entre duas regiões e sua ocorrência se dá por meio de três processos físicos, são eles: condução, convecção e radiação (CAMPOS, 2016; GUMERATO, SCHMIDT, GOLDONI, 2007).

Silva (2016) destaca ainda que num edifício, o seu revestimento é composto por diversos elementos e, conseqüentemente, por diferentes materiais. O fluxo de calor que atravessa a seção desses elementos define a sua permeabilidade às trocas de energia térmica que ocorrem através do revestimento. Em contrapartida, a resistência térmica de um material corresponde à dificuldade que esse material possui de se opor à transmissão de calor e é determinada pelo quociente entre a espessura do material e a sua condutividade térmica (λ), como observado na Equação 4.

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde: R – resistência térmica, em $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$; e – espessura do material, em m; λ – condutividade térmica do material, em $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$.

Como forma de demonstrar essa condução foi desenvolvida experimentalmente uma relação matemática por Fourier (Equação 5), em 1822, que estabelece que o calor transmitido é diretamente proporcional à área em que ele flui e ao gradiente de temperatura na direção do fluxo de calor. E, portanto, o coeficiente de proporcionalidade é definido como a condutividade térmica do material (ORDENES, GUTHS, LAMBERTS, 2010; GUMERATO, SCHMIDT, GOLDONI, 2007).

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \quad \text{Equação (5)}$$

Onde: q – Calor transmitido, em w; A – área por onde flui o calor, em m^2 ; T – gradiente de temperatura, em K; x – direção do fluxo de calor, em m; k – condutividade térmica do material, em $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$.

Sendo assim, a condutividade térmica quantifica a capacidade dos materiais de conduzirem calor, podendo se definir como a quantidade de calor que atravessa um elemento. Conseqüentemente, materiais com alta condutividade térmica conduzem melhor o calor que aqueles com baixa condutibilidade térmica. Deste modo, materiais com baixa condutividade são utilizados como isolantes térmicos (SILVA, 2016).

Alguns valores de condutividade térmica (λ) de materiais utilizados na construção civil estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Condutividade térmica (λ) de materiais de construção.

Material	Densidade (kg/m ³)	(λ) (W/m.K)
Isolantes térmicos		
Lã de rocha	20-35	0,045
	35-180	0,040
Lã de vidro	8-12	0,045
	12-80	0,040
Poliestireno expandido moldado	15-35	0,040
Poliestireno expandido extrudado (XPS)	25-40	0,037
Aglomerado de cortiça expandida (ICB)	90-140	0,045
Espuma rígida de Poliuretano em placas (PUR)	20-50	0,040
Espuma rígida de Poliuretano em painéis sanduiche	35-50	0,037
Espuma rígida de Poliuretano projeto in situ (PUR)	20-50	0,042
Concreto de inertes correntes		
Concreto armado com percentagem de armadura 1-2%	2300-2400	2,3
Concreto armado com percentagem de armadura > 2%	>2400	2,5
Concreto sem armadura	2200-2400	1,75
Concreto cavernoso	1700-2100	1,40
Gesso		
projetado ou de densidade massa aparente elevada	1100-1300	0,50
placa de gesso; gesso cartonado	750-1000	0,35
Madeira		
placas prensadas	450-550	0,120
	350-450	0,100
aglomerado de fibras de madeira (denso)	850-1000	0,200
aglomerado de fibras de madeira (leve)	200-250	0,058
Metal		
aço, ferro fundido	7800	55
alumínio	2700	230
Vidro		
vidro comum	2500	1,00
Teto verde - vegetação (10 cm) + substrato (8 cm)		
vegetação + substrato (W_{solo} entre 40% e 50%)	-	0,12
vegetação + substrato ($W_{solo} = 65\%$)	-	0,192
vegetação + substrato seco	-	0,065

Fonte: Adaptado de Mendonça (2005); NBR 15220 (ABNT, 2005); Machado, Britto e Neila (2003).

Por sua vez, na convecção, o calor, diferentemente da condução, não se transmite pelo contato material-material e sim pelas partículas do meio, que se movimentam de um local para outro, ocorrendo em líquidos e gases. Nos edifícios, o fluido importante a se analisar é o ar. Este, em contato com a superfície, será aquecido, tornando-o menos denso e provocando o seu movimento ascensional, diante disso funcionará como um mecanismo de flutuação. Portanto, o processo de transferência de calor em que os movimentos do fluido são transportados devido à diminuição de densidade ao serem aquecidos, é designado por convecção natural (VALÉRIO, 2007).

No que diz respeito à térmica dos edifícios, distinguem-se duas situações típicas de trocas por convecção: a convecção ar-sólido, que consiste em trocas de calor entre o ambiente (interno ou externo) e as superfícies da envolvente (paredes, tetos e pavimentos); e a convecção ar-ar, que consiste nas trocas de calor entre massas de ar exterior e interior, através das aberturas da envolvente, ou seja, ventilação através das janelas, condutas ou infiltrações através de fissuras (CAMPOS, 2016).

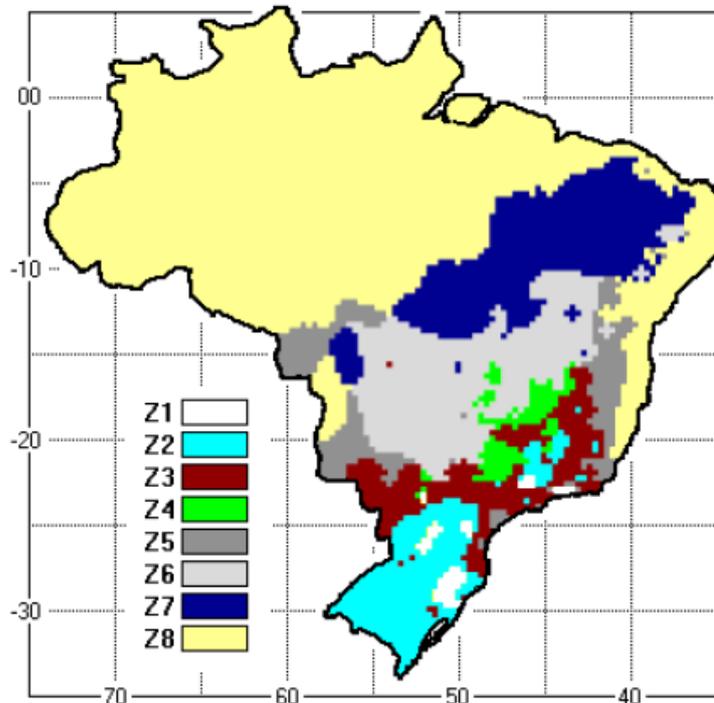
Em complemento à temática abordada, está a radiação infravermelha ou termal que ocorre mediante uma dupla transformação da energia. Uma parte do calor do corpo com maior temperatura se converte em energia radiante, que chega até o corpo com menor temperatura, onde é absorvida numa proporção que depende das propriedades da superfície receptora, sendo novamente transformada em calor. Estas propriedades de recepção são representadas pela emissividade (ou poder emissivo) do corpo. A emissividade, por sua vez, corresponde à radiação absorvida e transformada em calor, e está relacionada às fontes de baixa temperatura (ondas longas). Quando a superfície está exposta à radiação solar (fonte de alta temperatura – onda curta), as propriedades desta superfície são representadas pela absorvidade (ALVES, 2011; LAMBERTS *et al.*, 2016).

2.2.2.2 Normas de desempenho térmico

Na esfera nacional, pode-se citar a NBR 15220 (ABNT, 2005) e a NBR 15575 (ABNT, 2013). A primeira normativa apresenta o Zoneamento Bioclimático Brasileiro (Figura 13), bem como as diretrizes construtivas e o detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações. Já a segunda visa incentivar o desenvolvimento tecnológico e orientar avaliações de eficiência técnica e econômica (NICO-RODRIGUES, 2015).

A NBR 15575 (ABNT, 2013) teve sua primeira versão publicada em 2008, sendo alvo de muitas discussões, foi revisada em 2010 e 2012, entrando em vigor somente em 2013 (SORGATO *et al.*, 2014). De acordo com a versão atual estabelecida, do ponto de vista térmico, a edificação deve apresentar em seu interior condições térmicas melhores ou iguais às do ambiente externo, à sombra, para as condições de verão. O nível para aceitação é o M (denominado mínimo), porém são recomendados, pela referida norma, os níveis intermediário (I) e superior (S) para um melhor funcionamento da edificação e satisfação do usuário, conforme Quadro 4.

Figura 13 – Zona Bioclimática Brasileira (ZBB).



Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005).

Quadro 4 - Critérios de avaliação de desempenho térmico para medições de campo em condições de verão.

Nível de Desempenho	Critério	
	Zona de 1 a 7	Zona 8
M	$T_{int,m\acute{a}x} \leq T_{ext,m\acute{a}x}$	$T_{int,m\acute{a}x} \leq T_{ext,m\acute{a}x}$
I	$T_{int,m\acute{a}x} \leq (T_{ext,m\acute{a}x} - 2^{\circ}\text{C})$	$T_{int,m\acute{a}x} \leq (T_{ext,m\acute{a}x} - 1^{\circ}\text{C})$
S	$T_{int,m\acute{a}x} \leq (T_{ext,m\acute{a}x} - 4^{\circ}\text{C})$	$T_{int,m\acute{a}x} \leq (T_{ext,m\acute{a}x} - 2^{\circ}\text{C})$ e $T_{int,m\acute{i}n} \leq (T_{ext,m\acute{i}n} + 1^{\circ}\text{C})$

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013).

Para as condições de inverno, a norma de desempenho estabelece que nas zonas bioclimáticas de 1 a 5 a unidade habitacional deve apresentar em seu interior condições térmicas melhores que as do ambiente externo. Enquanto nas zonas 6, 7 e 8 este critério não precisa ser verificado.

É importante salientar ainda que a norma de desempenho térmico é estabelecida para atender aos requisitos do usuário (qualitativos), por meio da definição de critérios (quantitativos) e métodos de avaliação. Este fato demonstra uma grande contradição presente na normativa, pois para avaliar o desempenho térmico, sugere critérios mínimos, intermediários e superiores de aceitabilidade do usuário, o que corresponde a requisitos de conforto térmico, porém o método avaliativo não inclui a mensuração do atendimento a esses requisitos (SANTO, ALVAREZ,

NICO-RODRIGUES, 2013). Ao não recomendar a avaliação de índices de conforto térmico ou a aplicação de questionários, bem como a avaliação pós ocupação para verificação do atendimento ou não aos níveis ideais de satisfação, a NBR 15575 (ABNT, 2013) demonstra uma extrema simplificação da análise de desempenho térmico, em que deveriam ser considerados parâmetros mínimos de conforto para a classificação adequada da edificação (SANTO, ALVAREZ, NICO-RODRIGUES, 2013). Uma vez que os dados resultantes da medição de edificações desocupadas podem ser aprovados segundo os critérios de norma, mas podem não mais obedecer à norma após a ocupação. Da mesma forma, edificações que não seriam aprovadas quando desocupadas, com um gerenciamento correto do ambiente pelos ocupantes, podem se tornar confortáveis. Por este motivo, o ideal é fazer a medição das temperaturas nos ambientes em uso (ABREU, 2004).

Algumas pesquisas têm efetuado tentativas de comprovar a adequabilidade das recomendações da referida normativa, porém são detectadas limitações nos atuais procedimentos recomendados, além de se estabelecerem críticas e sugestões por diversos fatores, tais como: a não avaliação do uso real da edificação sob avaliação e a não avaliação da influência da variação anual da temperatura no desempenho térmico da edificação (GRIGOLETTI, SATTLER, 2010; MARQUES, CHVATAL, 2013; SORGATO *et al.*, 2012, 2014).

Deve-se destacar também a generalização inadequada do zoneamento bioclimática, em que cidades como Recife de clima tropical quente e úmido, cuja amplitude térmica e temperatura média correspondem a 2,8°C e 25,8°C respectivamente, se encontra na zona 8 assim como a cidade do Rio de Janeiro, local também de clima tropical quente e úmido, com amplitude térmica chegando a 5,5°C e temperatura média de 23,2°C, porém sendo capaz de registrar extremos que ultrapassam 40°C, no verão – condição não observada tão facilmente em Recife (CLIMATE-DATA.ORG, 2019).

2.3 Características do ambiente construído a luz do desempenho das edificações e do conforto dos ambientes

O objetivo da acústica, no ambiente construído, é proporcionar a melhor performance em qualquer atividade, eliminando eventuais incômodos causados por ruídos. Portanto, o grau de conforto acústico está diretamente ligado ao nível de ruído interno, que varia à medida que o nível de exigência da atividade exercida também varia (ROMERO; ORNSTEIN, 2003).

Sendo assim, os ambientes internos, que merecem toda a atenção dos projetistas para garantir o seu adequado funcionamento, podem ser classificados em comuns ou especiais, quando há necessidade ou não de tratamento acústico. Os ditos ambientes especiais demandam tratamento por abrigarem atividades que necessitam de concentração, adequado tempo de reverberação, menores níveis de pressão sonora e boa inteligibilidade da fala, como salas de aula, escritórios, bibliotecas; ou por abrigarem atividades geradoras de ruídos intensos, como estúdios de música, igrejas, laboratórios de construção civil, dentre outros (ADAMS *et al.*, 2017; CATAI, PENTEADO, DALBELLO, 2006; OLIVEIRA, OITICICA, 2013).

Visando esta premissa, Formolo *et al.* (2017) desenvolveram um estudo em que foram avaliados diferentes materiais sustentáveis para utilização em projetos acústicos. Dentre seus resultados, os autores destacam a lã de pet e a fibra de coco como as melhores opções, pois não apresentam pontos negativos, conforme observado no Quadro 5.

Quadro 5 – Comparativo de materiais sustentáveis com boas características acústicas.

Material sustentável	Lã de pet	Aglomerado de cortiça expandida	Fibra de coco	Forro mineral
Origem	Reciclagem	Vegetal	Fibra natural	Minérios
Durabilidade	100 anos	50 anos	100 anos	Não informado
Pontos positivos	Custo-benefício, material leve de rápida instalação, antialérgico, pode ficar em contato com a umidade.	Impermeável a líquidos e a gases, adapta-se a variações de temperatura, combustão lenta.	Custo-benefício, boa resistência mecânica, permite troca de calor com o ambiente e tem efeito retardante de chamas.	Resistente a umidade relativa do ar e ao fogo, antialérgico, fácil instalação, pode ser facilmente modelado e possui boa aparência.
Pontos negativos	-	Pouco utilizado no Brasil pois é fabricado na Europa.	-	Produto frágil com necessidade de cuidados no seu transporte e armazenamento.

Fonte: Adaptado de Formolo *et al.* (2017).

Ainda do ponto de vista da influência da acústica sobre o ambiente construído e seus usuários, quando o isolamento dos ruídos aéreos urbanos é feito por meio de elementos construtivos que promovem a queda de intensidade sonora, esses elementos são denominados de barreiras acústicas. O projetista, por sua vez, pode designar os elementos para amenizar a intensidade do ruído externo que chega ao ouvinte, sendo promovidas as barreiras acústicas por meio de

paredes, muros, taludes etc (SOUZA, ALMEIDA, BRAGANÇA, 2016; MAGALHÃES, BARBOSA, 2017).

Uma pesquisa realizada nos espaços públicos urbanos de treze bairros da cidade do Recife-PE, que avaliou a espacialização acústica, considerando a qualidade do som, as fontes de ruído e a relação com o meio circundante, visando à qualidade do ambiente e ao conforto dos usuários, constatou que a maioria (97,27%) dos valores registrados nos 220 pontos de medição estavam acima dos valores definidos pelas normas técnicas vigentes (FREITAS *et al.*, 2017). E parte destes ruídos afetam também as edificações, caso as barreiras acústicas não estejam eficientes.

No que diz respeito às construções e ao ganho térmico, pode-se dizer que a radiação solar é responsável por uma parcela significativa da carga térmica nos edifícios. A insolação direta ou difusa, ao ser absorvida pelas superfícies exteriores origina um armazenamento de calor que, por convecção e condução, pode aquecer e causar o desconforto no espaço urbano e, conseqüentemente, no interior das edificações, contribuindo para o aumento no consumo energético a partir do aumento da necessidade de condicionamento artificial nos ambientes internos (MONTEIRO, LEDER, 2011).

As coberturas dos edifícios tendem a reter o calor gerado pela radiação direta, por estarem expostas por um longo período do dia a ação do Sol. Os materiais empregados nas coberturas, estanques e de coloração escura, contribuem para a retenção de calor na superfície urbana (GARTLAND, 2010). Aliado a estes fatores, sabe-se que o Brasil possui quase que a totalidade de seu território sob intensa insolação durante a maior parte do ano. Por este motivo, a cobertura deveria ser o elemento com maior proteção térmica, principalmente, em edificações de baixa altura (PERUSSI, VECCHIA, 2017).

Salienta-se ainda que muitas edificações modernas são construídas com o uso de concreto nas lajes de suas coberturas. Estas superfícies absorvem a luz do Sol incidente, transferindo a energia térmica para o interior dos edifícios. O calor do teto aquece o ambiente – durante o dia e continua significativamente durante a noite – tornando os ambientes demasiadamente desconfortáveis durante o verão. Deste modo, tetos verdes são uma alternativa satisfatória ao método de construção convencional pois são capazes de proporcionar o conforto térmico (DAREEJU, MEEGAHAGE, HALWATURA, 2011).

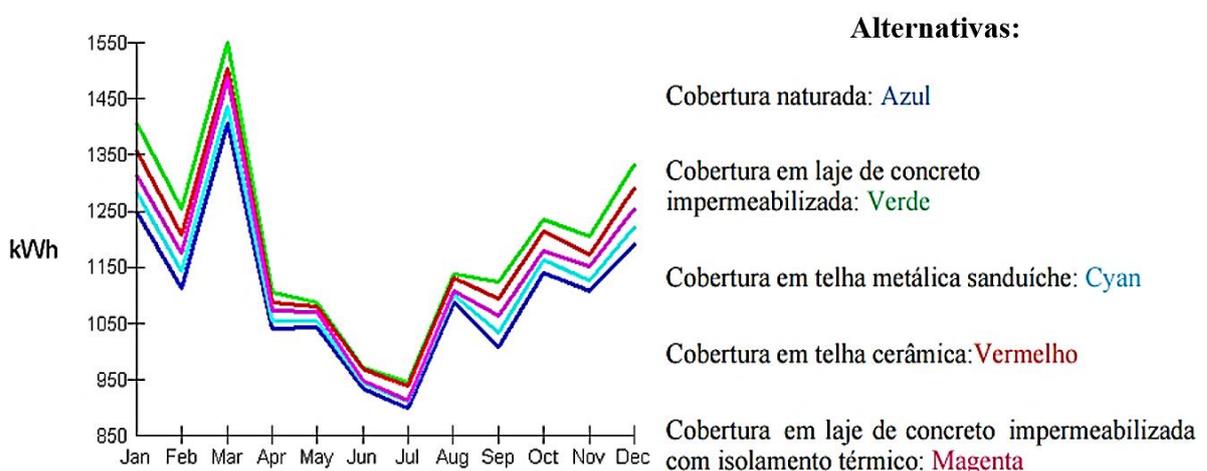
Tetos verdes são definidos como sistemas construtivos utilizados na cobertura de edificações, que consistem na sobreposição de diversas camadas sobre uma superfície estrutural, que de modo geral incluem: membrana a prova de água (impermeabilização), sistema de drenagem, substrato (meio de crescimento da vegetação) e plantas (PERUSSI, VECCHIA, 2017).

Entre outros benefícios, as coberturas verdes promovem o isolamento térmico, a proteção contra a radiação solar, a redução da demanda de energia elétrica, o resfriamento por evapotranspiração e a diminuição do volume de águas pluviais direcionado à rede de drenagem urbana. O que contribui para a redução de enchentes, problemática recorrente em cidades com alto índice pluviométrico, como é o caso de Recife (PEIXOTO, 2016).

Pesquisas relacionadas ao desempenho térmico obtido a partir da avaliação de tetos verdes tem demonstrado resultados satisfatórios para as temperaturas internas de edificações e justificam o ocorrido devido à capacidade da cobertura verde de bloquear parte da radiação incidente e favorecer a retenção da umidade no substrato, que perde energia térmica através da transpiração e fotossíntese das plantas (PERUSSI, VECCHIA, 2017; MADHUMATHI; RADHAKRISHNAN; SHANTHIPRIYA, 2016).

Em destaque a estes benefícios, Lomardo e Silva Filho (2009) simularam a demanda mensal de energia elétrica, utilizando o software VisualDOE, e o comportamento térmico de um edifício, localizado na cidade do Rio de Janeiro (local de clima tropical quente e úmido), para diversas opções de cobertura para todos os meses do ano, como pode ser visualizado na Figura 14.

Figura 14 – Simulação de consumo mensal de energia para diferentes alternativas de cobertura.



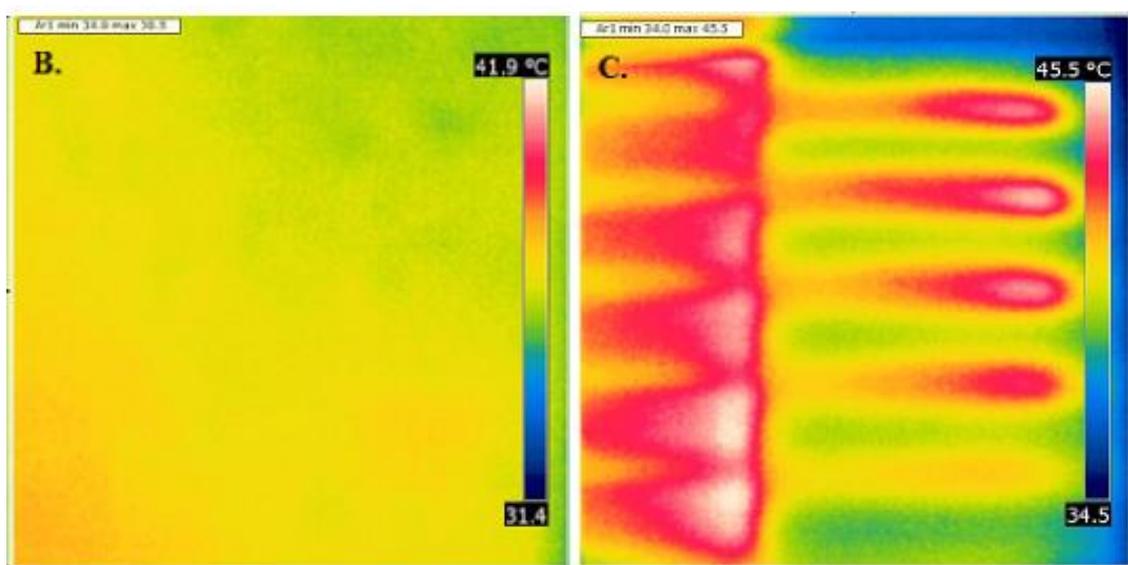
Fonte: Adaptado de Lomardo e Silva Filho (2009).

As variáveis introduzidas na simulação contemplaram: com relação às propriedades térmicas, necessitou-se estabelecer algumas simplificações devido ao referido software (VisualDOE) operar considerando estados constantes de transferência de calor entre os ambientes (exterior e interior), utilizando assim valores de resistências térmica constantes, típicos de materiais e sistemas inertes; quanto ao consumo de energia foram incluídas potências de iluminação artificial e equipamentos calculadas em virtude das especificações para cada um dos ambientes da edificação avaliada e das respectivas potências de lâmpadas especificadas no projeto luminotécnico. Os resultados obtidos comprovam que a proposta de uso da cobertura verde no projeto possibilita um menor consumo de energia e identifica a cobertura em laje de concreto impermeabilizada como a proposta de maior consumo de energia (Figura 14).

Em sua pesquisa, Carneiro *et al.* (2015) avaliaram o desempenho térmico de diferentes tipos de cobertura (telha de fibrocimento, telha reciclada, teto verde com grama da espécie *Zoysia japonica* e teto verde, amendoim, da espécie *Arachis repens*). A pesquisa foi realizada de março a maio de 2014 em Recife-PE e quatro modelos diferentes de cobertura foram elaborados. A Figura 15, registrada no dia 24 de março de 2014, evidencia a diferença de temperatura obtida pelas imagens termográficas da superfície interna das coberturas do teto verde (grama) e da telha de fibrocimento, no horário mais quente (13h30min).

Figura 15 - Imagens termográficas da superfície interna das coberturas, no horário mais quente.

a – teto verde (grama); b – telha fibrocimento.



a)

b)

Fonte: Carneiro *et al.* (2015).

As variáveis meteorológicas foram registradas interna e externamente aos modelos. Os tetos verdes demonstraram - mesmo em período de pouca precipitação - uma redução na temperatura da superfície interna das coberturas, porém não atenuaram significativamente a temperatura dos ambientes. Fato que foi justificado pelos pesquisadores devido às condições climáticas, pois localidades com pouca precipitação e/ou alta incidência de radiação solar resultam em pouca disponibilidade de vapor d'água na atmosfera, o que propicia uma situação favorável para que a evapotranspiração seja elevada, conseqüentemente, a troca do calor sensível pelo latente é mais eficiente (CARNEIRO *et al.*, 2015).

Pesquisas têm relacionado também a ventilação e a qualidade do ar interno aos estudos de conforto térmico, uma vez que a falta de renovação do ar, por exemplo, impacta diretamente na qualidade do ar de ambientes internos e neste caso, pode interferir consideravelmente no rendimento e no bem-estar dos seus usuários (ARENHARDT, 2017; LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2014; PACHECO *et al.*, 2013; SILVA, WESTPHAL, BARTH, 2013). Em adição a isto, tem-se que as construções não devem ter uma inércia térmica muito grande, pois isto dificulta a retirada de calor interno armazenado durante o dia, prejudicando o resfriamento da construção quando a temperatura externa noturna está mais agradável que internamente (FROTA, SCHIFFER, 2001).

Uma das formas de promover a renovação do ar, é a chamada ventilação natural. Sendo esta ocasionada pela diferença de pressão e densidade do ar, que pode ocorrer por ações dos ventos e devido à diferença de temperatura. Portanto, esta estratégia bioclimática consiste no fluxo de ar intencional passando através de janelas, portas e outros tipos de aberturas (NICO-RODRIGUES, 2015).

A Tabela 13 destaca o percentual de necessidade da ventilação natural em algumas capitais brasileiras no verão e ao longo do ano. Nota-se que a cidade do Recife necessita desta solução em 76,2% das horas de verão e em 67,8% das horas do ano, para compensar as condições climáticas desfavoráveis a fim de proporcionar maior conforto aos usuários, devendo-se fazer uso de estratégias que possibilitam melhorias das condições térmicas do ambiente e conseqüente redução do consumo de energia.

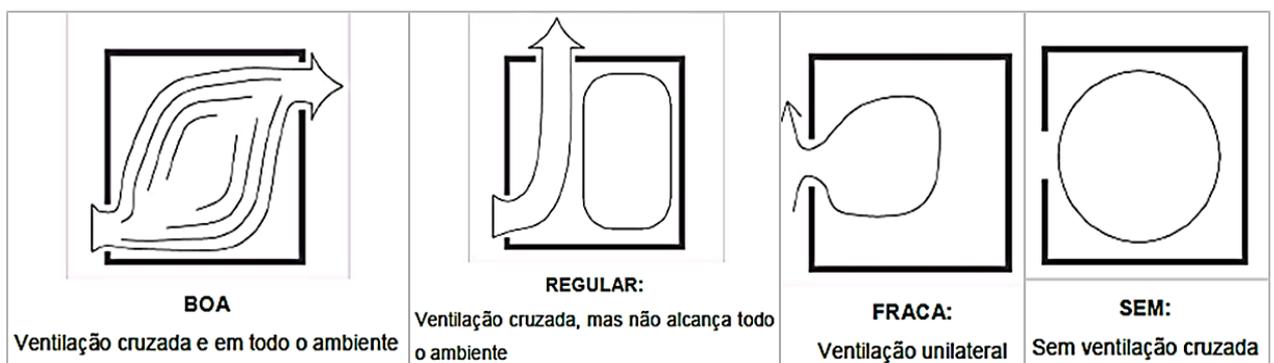
Tabela 13 – Algumas capitais brasileiras e seus percentuais de necessidade de ventilação natural.

Cidades com coordenadas	Necessidade de ventilação natural (% de horas por ano)	Necessidade de ventilação natural (% de horas de verão)
Belém (01° 27' 21" S; 48° 30' 16" W)	88,8	93,1
Brasília (15° 46' 47" S; 47° 55' 47" W)	17,3	36,3
Curitiba (25° 25' 42" S; 49° 16' 24" W)	6,8	19,9
Florianópolis (27° 35' 48" S; 48° 32' 57" W)	36,4	77,1
Fortaleza (03° 43' 02" S; 38° 32' 35" W)	85,8	92,3
Maceió (09° 39' 57" S; 35° 44' 07" W)	76,4	84,9
Natal (05° 47' 42" S; 35° 12' 34" W)	84,2	88,7
Porto Alegre (30° 01' 59" S; 51° 13' 48" W)	23,3	59,0
Recife (08° 03' 14" S; 34° 52' 52" W)	67,8	76,2
Rio de Janeiro (22° 54' 10" S; 43° 12' 27" W)	60,9	78,0
Salvador (12° 58' 16" S; 38° 30' 39" W)	57,9	80,6
São Luís (02° 31' 47" S; 44° 18' 10" W)	86,7	86,5
São Paulo (23° 32' 51" S; 46° 38' 10" W)	14,3	45,2

Fonte: Adaptado de Lamberts, Dutra e Pereira (2014)

Outra eficaz estratégia de renovação do ar frequentemente utilizada é a ventilação cruzada. Também conhecida como ventilação natural dinâmica, é consequência da ação mecânica do vento sobre as superfícies da envoltória de um edifício, que provoca o surgimento de diferentes pressões do ar. Dessa forma, as correntes de convecção introduzem o ar frio e carregam consigo o ar aquecido para fora do recinto (CLEMENTE, 2017).

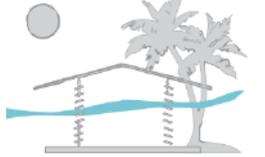
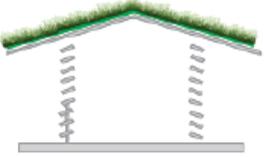
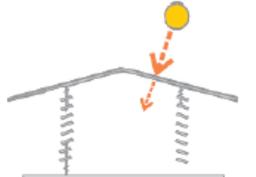
Silva, Westphal e Barth (2013) propuseram em seu estudo representações e classificações do nível de eficiência alcançado pelo uso de ventilação cruzada em cômodos, conforme exposto na Figura 16. Deste modo, é possível perceber que quando as aberturas não se encontram em janelas consecutivas, tem-se uma maior otimização da área de circulação, atravessando assim todo o recinto.

Figura 16 – Classificação e representação gráfica de ventilação cruzada no cômodo.

Fonte: Adaptado de Silva, Westphal e Barth (2013).

Em seu estudo, Pacheco *et al.* (2013) propõe diversas soluções complementares às anteriormente citadas, que também possibilitam a redução do ganho de energia térmica no ambiente interno das edificações, como pode ser observado no Quadro 6.

Quadro 6 – Estratégias adotadas para promover a redução de ganho calor.

Estratégias adotadas	Representação	Funcionalidade
Ventilação (elemento)		Construção permeável ao vento e orientada para os ventos predominantes, para remover o calor e refrescar os usuários.
Iluminação (elemento)		Aproveitamento da luz natural abundante, gratuita e de melhor qualidade para substituir a artificial, proporcionada por grandes aberturas sombreadas
Teto verde (cobertura)		O telhado provê conforto térmico-acústico e harmoniza o edifício na paisagem.
Venezianas (vedação)		As venezianas móveis são flexíveis permitindo sombrear e ventilar os ambientes conforme a necessidade. Dependem da ventilação.
Material leve (cobertura e vedação)		Materiais e sistemas construtivos leves para não acumular calor absorvido durante o dia. Essa estratégia é atendida com o emprego de paredes de chapas finas de madeira e <i>drywall</i> .
Orientação (forma)		Planta alongada com maiores fachadas e aberturas para norte e sul para otimizar sombreamento e ventilação. Depende dos elementos de sombreamento.
Isolamento (cobertura)		Isolamento térmico em coberturas de ambientes climatizados e em paredes externas voltadas para oeste, visando diminuir temperatura da superfície interna, o fluxo de calor entre o interior e o exterior e o consumo de energia do condicionador de ar.
Energia		Construção eficiente energeticamente de acordo com a etiqueta nacional de conservação de energia de edifícios. Envolve todas as outras estratégias.

Fonte: Pacheco *et al.* (2013).

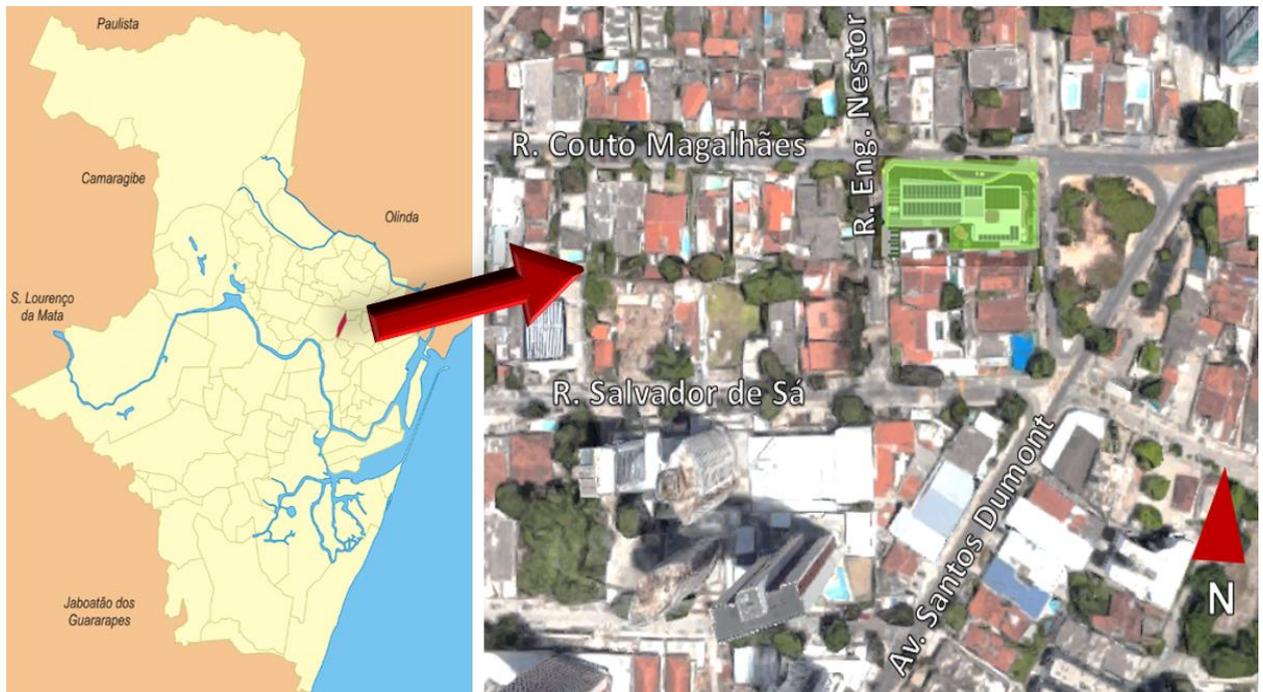
3 DESCRIÇÃO DA EDIFICAÇÃO ESCOLAR EM ESTUDO

A edificação escolar em estudo é caracterizada nesta etapa de descrição, contemplando características climáticas do entorno, métodos construtivos, população avaliada e componentes das vedações estudadas nesta pesquisa. Sendo denominada de edificação escolar com implementação de elementos sustentáveis, é preciso entender, principalmente, a complexidade da concepção de projeto, para compreender o motivo pelo qual os ambientes escolhidos foram ensaiados acústica e termicamente.

3.1 Localização

A edificação em estudo se situa no bairro residencial do Rosarinho, no município de Recife-PE, em zona urbana, com relativa arborização, como pode ser observado na Figura 17.

Figura 17 – Mapa do município do Recife com bairro do Rosarinho, em destaque, e vista via satélite da localização da edificação estudada.



Fonte: Google Earth (2017).

A escola se localiza a aproximadamente 5 km do Marco Zero da cidade, na latitude 8° 1' 50'' sul e longitude 34° 53' 43'' oeste.

3.2 Implementação

A edificação estudada foi inaugurada em outubro de 2016 e possui uma área de construção de aproximadamente 3813,10m², com 13 salas de aula, auditório, biblioteca, salas de professores, quadra esportiva, espaço para ginástica artística, sala de computação, além de 50 vagas de estacionamento. Trata-se de dois blocos conectados por passarelas, como pode ser observado na Foto 1, denominados módulos 1 e 2 pelos projetistas. Com uma população de estudantes entre 6 e 10 anos de idade, a edificação possui um total de 324 alunos², o quantitativo mais detalhado pode ser visualizado no Apêndice A.

Foto 1 – Imagem ilustrativa da unidade escolar em estudo.



ACM – Chapas de alumínio composto; Módulo 1 – salas de aula, biblioteca, sala de artes, auditório, coordenação etc; Módulo 2 – quadra esportiva, estacionamento, cantina, pátio de recreação etc.

Fonte: Adaptado de Fucale *et al.* (2016).

É importante salientar ainda que esta unidade foi pensada e projetada por um grupo de arquitetos pernambucanos que compõem o escritório de arquitetura da instituição de ensino.

² Dados cedidos pela direção do colégio e relativos ao ano letivo de 2018.

Deste modo, a concepção de projeto contemplou diversos estudos, desde as condições climáticas do entorno até o cuidado na seleção dos materiais, o que resultou numa redução da geração dos resíduos da construção e demolição (RCD) da obra em torno de 70% (PEIXOTO *et al.*, 2016). Para alcançar este indicador de redução, comparou-se o índice de resíduos por m² de área de construção de obras convencionais, 150 kg/m² (GUSMÃO, 2008), com o obtido pela obra a partir da massa de resíduos gerados (178.364,72 kg) em relação à área de construção da edificação (3.813,10 m²) e obteve-se um índice de 46,78 kg/m², chegando à conclusão de que um empreendimento convencional de mesma área possuiria uma quantidade de resíduos total, aproximadamente, 3 vezes maior (PEIXOTO *et al.*, 2016).

A fundação da edificação foi do tipo hélice contínua, e o solo excedente foi reutilizado para aterro em outro terreno da escola que funciona como estacionamento.

Para possibilitar a economia dos recursos hídricos, foi implementado um sistema de aproveitamento de água da chuva e água cinza, no qual a água passa por uma estação de tratamento localizada dentro da unidade, sendo utilizada posteriormente para as descargas e irrigação dos jardins. A edificação também conta com a utilização de aparelhos economizadores de água para garantir maior preservação dos recursos hídricos. A utilização destes aparelhos (torneiras hidromecânicas de fechamento automático e bacias com caixa acoplada dual flush) é capaz de gerar uma economia mensal de até 26% no volume total de água descartada em substituição aos aparelhos convencionais, o que seria equivalente a 1.664,6 litros (PEIXOTO *et al.*, 2016).

Do ponto de vista do consumo de energia, a edificação fez uso de luminárias para tecnologia LED. O benefício anual pela adoção desta luminária, em específico, de acordo com o seu tempo de vida útil (25000 horas), se comparada a uma lâmpada fluorescente tubular também de alta eficiência (20000 horas) é cerca de R\$ 1.117,32 ao ano. Uma vez que o benefício anual é superior ao custo anualizado (R\$ 345,73), o investimento pode ser considerado vantajoso (PEIXOTO *et al.*, 2016). Foram utilizados ainda 45 aparelhos de ar condicionado do tipo inverter, distribuídos por diversos ambientes, dispendo de uma capacidade de refrigeração total de 681.000 BTU/H. O uso deste tipo de ar condicionado possibilita o menor consumo de energia devido à redução dos picos de energia, pois a velocidade de rotação do compressor é controlada conforme a necessidade de refrigeração do ambiente. Todos os modelos utilizados possuem o Selo Procel de eficiência energética.

A automação dos ar condicionados é programada previamente e leva em consideração feriados, finais de semana, horários fixos de ausência dos alunos como, por exemplo, quando vão para a educação física etc, permitindo maior economia e evitando o esquecimento de algum aparelho ligado.

Com o intuito de proporcionar energia a partir de fontes renováveis, a edificação em estudo inclui dentre seus elementos sustentáveis um sistema fotovoltaico na cobertura, composto por painel solar com 126 módulos policristalinos e dois inversores, onde se estima uma geração de 71.268 kWh/ano.

3.3 Características climáticas e orientação

O clima da cidade do Recife é caracterizado por ser quente e úmido com chuvas de outono a inverno, iniciadas nos meses de março, e por possuir isotermas que variam entre 22 °C e 26 °C, apresentando elevada umidade relativa do ar, com valores médios anuais superiores a 84%, segundo a classificação climática de Köppen (ALVARES *et al.*, 2014).

A região estudada está situada dentro da Zona Intertropical, e com latitude próxima ao Equador, apresenta altos índices de insolação pelo fato de receber os raios solares de forma perpendicular em sua superfície, praticamente constantes entre os meses de verão (maior insolação) e inverno (menor insolação). Devido a isto, apresenta temperatura do ar média mensal em torno de 25 °C, sendo os meses de janeiro e fevereiro os mais quentes, com temperaturas superiores a 26 °C, enquanto os meses de julho e agosto apresentam temperaturas iguais ou inferiores a 24 °C, constituindo-se os mais frios, registrando uma diferença anual em torno de 2 °C entre janeiro e julho e com amplitude térmica diária podendo chegar a valores maiores que 6 °C (CORRÊA, 2006; MOREIRA *et al.*, 2017).

Alguns destes valores são confirmados ao se analisar a série histórica dos últimos 5 anos de Temperatura Compensada Média (TCM) e Umidade Relativa (UR) mensais na Tabela 14, cujos dados foram coletados por um sensor manual da estação meteorológica convencional do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada no bairro do Curado, em Recife- PE.

Tabela 14 – Dados médios mensais dos 5 últimos anos da estação meteorológica convencional do INMET, localizada no Curado, em Recife-PE.

Temperatura Compensada média (°C)/Umidade relativa média (%)												
Ano/Mês	2013		2014		2015		2016		2017		2018	
	TCM	UR										
Janeiro	27,2	70,4	26,5	73,8	26,9	71,4	27,5	74,3	27,5	69,4	27,3	72,7
Fevereiro	27,8	68,7	26,5	77,6	27,4	71,4	27,4	74,0	28,0	67,8	27,0	77,1
Março	27,7	71,3	26,8	79,4	26,8	76,6	27,5	75,9	27,4	74,6	27,0	77,1
Abril	27,2	74,4	27,0	77,1	27,2	73,6	26,9	79,3	26,7	80,5	-	-
Mai	25,8	80,7	25,5	83,3	26,4	77,3	25,7	81,9	25,9	83,9	-	-
Junho	24,9	86,3	24,9	82,1	25,0	83,5	25,0	81,0	25,0	86,6	-	-
Julho	24,3	84,6	24,4	82,3	24,3	86,8	24,4	80,4	23,8	86,6	-	-
Agosto	24,6	80,4	24,0	80,7	24,6	78,7	24,7	77,2	24,0	82,3	-	-
Setembro	25,1	78,9	24,8	80,3	25,7	74,2	25,7	73,7	24,9	78,2	-	-
Outubro	26,0	75,5	25,6	78,2	26,4	70,3	26,8	70,1	25,8	76,1	-	-
Novembro	25,6	77,0	26,3	73,3	27,0	68,7	27,4	69,8	26,9	70,6	-	-
Dezembro	27,0	74,5	26,7	73,4	27,1	69,1	27,4	70,9	27,5	72,4	-	-

TCM – Temperatura compensada média;

UR – Umidade relativa.

Fonte: Silva (2018).

É importante destacar que estudos de mudanças climáticas englobam amostras com séries históricas de mais de 30 anos. O presente estudo, no entanto, fez menção a um intervalo menor (5 anos) para caracterizar o clima atual, representando o tempo atmosférico, não como forma de averiguar mudanças definitivas.

Para a obtenção da temperatura média em estações meteorológicas convencionais, as leituras são feitas por um observador a cada seis horas. No entanto, a maioria destas estações carece de recursos humanos quanto a leitura da madrugada por se tratar do horário de descanso do observador. Por este motivo, o INMET recomenda que para a obtenção da temperatura média diária, seja necessário o tratamento dos dados, calculando-se a temperatura compensada média. Segundo Garcia (2015), o cálculo diário dos dados até o ano de 1937 foi feito a partir da média entre os horários de coleta de 7, 14 e 21 horas. Porém, a partir de 1937, esse cálculo foi

estabelecido não só pela média das temperaturas recolhidas às 12 e 24 horas, como também pelas temperaturas máxima e mínima diárias, conforme demonstrado na Equação 6.

$$t = \frac{(2t_{00} + t_{12} + t_X + t_N)}{5} \quad \text{Equação (6)}$$

Onde: t_{00} e t_{12} são, respectivamente, às temperaturas observadas às 00 e às 12 TMG (Greenwich Mean Time), e t_X e t_N referem-se a temperatura máxima e mínima diária, nesta ordem.

Interpretando-se os dados da Tabela 14, é possível constatar que os meses correspondentes de verão são marcados por temperaturas mais altas e umidades mais baixas, conforme mencionado em outras pesquisas (FREITAS, AZERÊDO, 2014; MOREIRA *et al.*, 2017). Considerando apenas os meses desta estação, ou seja, de dezembro a março de 2015 a 2018 foi constatada uma média de aproximadamente 27,4 °C de temperatura e 72,9% de umidade, sendo por isso o período de maior desconforto térmico. Segundo informações coletadas no site da Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC, 2018) é neste período que são registrados os maiores valores pluviométricos, chegando a atingir uma média mensal de 515 mm de precipitação no litoral.

Já para o inverno, as temperaturas se apresentam mais amenas e as umidades mais elevadas, tendo uma temperatura média de 24,8 °C e umidade de 80,8% aproximadamente, durante os meses de junho a setembro de 2015 a 2017. É importante frisar que de dezembro a fevereiro as temperaturas e umidades sofrem pouca alteração. Porém no mês de março, embora a temperatura continue sem muita variação, é notável um aumento da umidade saindo de uma média de 71,1% no mês anterior para 75,7%, tendo como base a análise desse mês nos anos de 2015 a 2017. Esse fato não se evidencia no ano de 2018, mas é relevante levá-lo em consideração devido a Região estudada ser tropical litorânea, e não possuir estações bem definidas (APAC, 2018).

As estações meteorológicas possuem características microclimáticas específicas em virtude de se inserirem em meio próximo ao natural e não serem tão fortemente influenciadas pelas atividades antrópicas. A comparação entre esses valores registrados por estações de referência e ambientes urbanos pode contribuir com a comprovação da existência de acúmulo de calor e de climas urbanos específicos, em recortes da cidade do Recife (FREITAS, AZERÊDO, 2014).

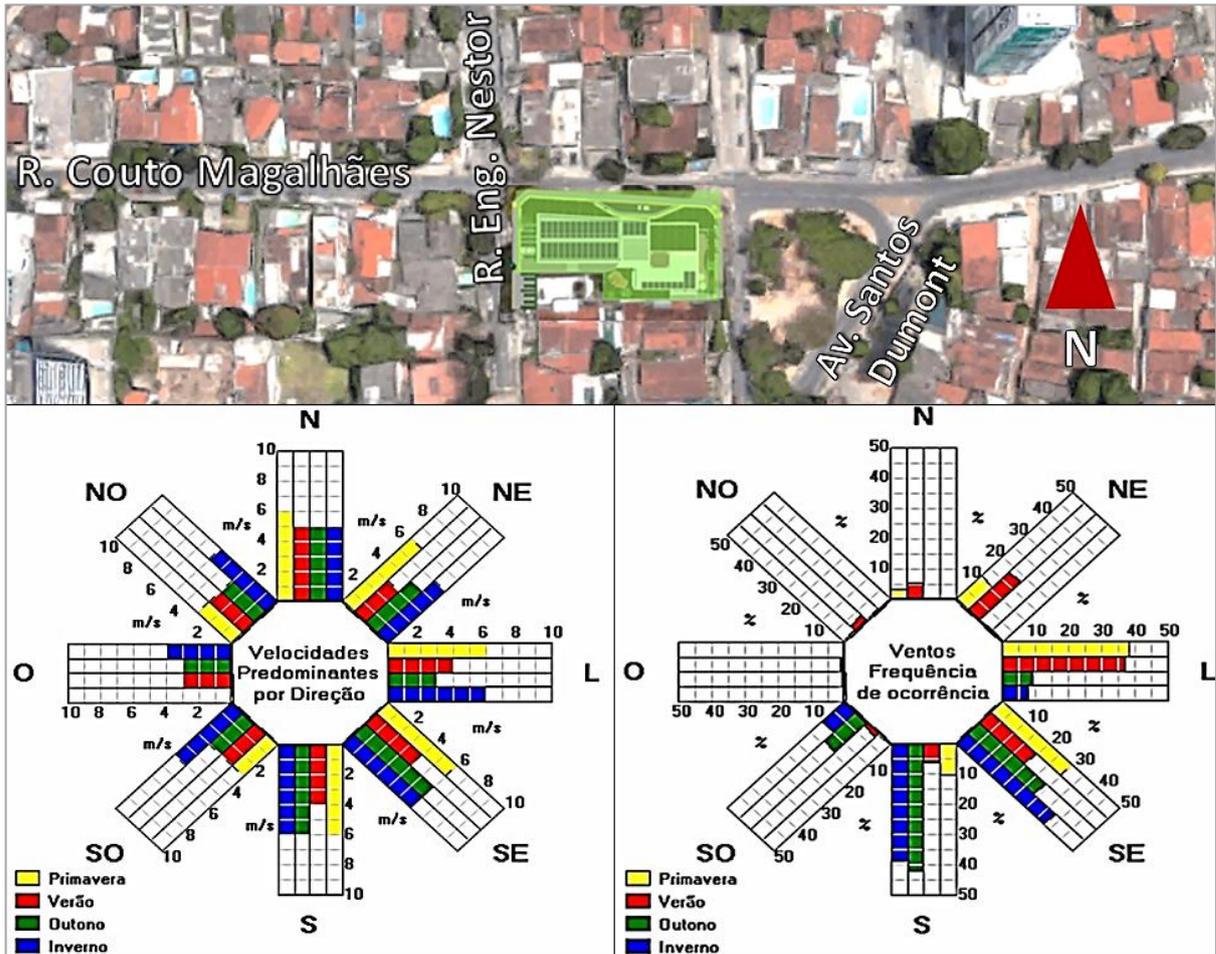
Diante das condições apresentadas e levando em consideração a carta bioclimática do Recife, limita-se o período de conforto térmico na cidade a 31,7% das horas do ano, enquanto os níveis de desconforto por calor representam 68,3% das horas. Para alcançar a satisfação térmica, recomenda-se a adoção de estratégias bioclimáticas, como: ventilação (60,8% das horas), resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento (7,2%) (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2014).

Voltando-se agora para a obra em si e em como ela se enquadra no local no qual está inserida, desde a fase de concepção do projeto foi abordada a carta bioclimática de Recife, que evidencia a concentração de horas de desconforto devido às altas temperatura e umidade relativa do ar, possuindo como principal estratégia bioclimática a ventilação. Além da análise das características climáticas do local, os projetistas se preocuparam quanto à proteção das fachadas dos fatores externos que incidem sobre a construção, como: clima, umidade, exposição ao Sol e ventilação. O que levou à determinação dos espaços internos que necessitariam de ventilação natural ou artificial. A Figura 18 demonstra a localização da edificação e os valores encontrados, com o auxílio do Programa SOL-AR, para velocidade e frequência dos ventos ao longo das estações do ano segundo as direções cardeais.

Perante os dados fornecidos pelo referido programa (SOL-AR), verifica-se o inverno como a estação com as maiores velocidades dos ventos (média de 5,2 m/s) e o verão com as menores (média de 3,1 m/s). As fachadas norte, sudeste e sul possuem as maiores médias de velocidade, com resultados entre 5,2 e 5,5 m/s. Com relação à incidência dos ventos, os resultados demonstram uma predominância nos sentidos sudeste, sul e leste. O programa indica também a fachada sudeste como a de incidência mais uniforme ao longo de toda as estações e a fachada oeste como a de pior desempenho, tanto para a velocidade quanto para a incidência, motivo pelo qual as salas de aula se encontram na região sudeste da edificação.

Para viabilizar o conforto térmico nas horas de desconforto, portanto, o projeto designou ventilação natural para a quadra esportiva (fachadas norte e sul) e uso de ar condicionados para os demais ambientes (até mesmo os da região sudeste) para garantir o conforto ao longo de todas as horas de uso no ano, em especial nas salas de aula.

Figura 18 - Velocidade e frequência dos ventos ao longo das estações do ano.



Fonte: Adaptado de Peixoto *et al.* (2016).

3.4 Materiais e técnicas construtivas predominantes

A constante busca pelo desenvolvimento de processos construtivos, alinhados com a necessidade de mercado atual, faz com que o sistema construtivo do tipo modular seja um método altamente vantajoso, já que o mesmo representa um processo construtivo industrializado, o qual torna o planejamento, a coordenação e a construção simples e ágeis, atendendo aos requisitos de rapidez, qualidade, sustentabilidade e competitividade, conforto térmico, acústico e impermeabilidade (REIS *et al.*, 2017).

É importante não apenas que os materiais adequados sejam selecionados com cautela, mas também que sua utilização seja planejada de modo a evitar desperdícios. A coordenação modular, utilizada nesta obra, é um método de construção que possibilita alcançar este objetivo.

Incluindo, entre outros aspectos, dimensionar corretamente ambientes, compatibilizar previamente os projetos e padronizar as medidas dos elementos pré-moldados.

3.4.1 Estrutura metálica

O projeto contemplou vigas e pilares de aço galvanizados a fogo, instalados através de parafusos, como observado na Foto 2a. Esta alternativa gera uma menor quantidade de resíduos em relação à estrutura de concreto armado moldada in loco, por dispensar a necessidade de atividades que produzem muito resíduo, como montagem e desmonte de fôrmas e concretagens. As lajes da edificação são do tipo steel deck, como mostrado na Foto 2b, sendo assim, dispensam a necessidade de fôrma e também, escoramento. Verifica-se ainda uma redução no uso de concreto, devido a sua geometria, e também de aço, já que a mesma dispensa a armação positiva, requisitando apenas uma armação de composição composta de tela soldada.

Foto 2 - Estrutura metálica. a – Vigas e pilares de aço galvanizado; b – laje steel deck.



a)



b)

Fonte: Peixoto *et al.* (2017).

3.4.2 Elementos de fachada

Parte da fachada do colégio foi composta de placas de ACM (chapas de alumínio composto) parafusadas, como pode ser observado na Foto 3a. A iniciativa de utilizar diversas estruturas instaladas através de parafusos faz com que estes itens se tornem facilmente reutilizáveis, impedindo que as peças se danifiquem em caso de desmonte, e facilitando uma posterior instalação em outro local, se assim for desejado.

Foto 3 - Elementos de fachada. a - Vista do interior da edificação em ACM; b – Painel isoeste.



a)

b)

Fonte: Peixoto *et al.* (2017).

Outro elemento utilizado na fachada do edifício foi o painel isoeste, identificado na Foto 3b, composto de duas camadas de aço contendo um núcleo isolante feito de espuma de poliuretano, que fornece isolamento térmico e acústico. Este material foi instalado por meio de encaixe com auxílio de moldura metálica para sustentação, e também poderá ser desmontado e reutilizado posteriormente, caso seja necessário.

3.4.3 Drywall

O uso de *drywall* para vedação e separação de ambientes é uma alternativa que reduz significativamente a quantidade de resíduos gerados quando comparada à utilização de blocos cerâmicos para o mesmo fim. De acordo com Fernandes *et al.* (2018), a técnica, que supera o método convencional em termos de eficiência, rapidez e custo, compreende um sistema com placas de gesso acartonado fixadas a perfis metálicos e que são geralmente recheadas com algum material isolante (lã de vidro, lã de rocha, espuma de poliuretano, dentre outros). Em substituição às placas de gesso, pode-se utilizar ainda placas cimentícias ou painéis de madeira.

No caso da edificação em estudo, o *drywall* se tratava de um sistema composto de duas placas de gesso de 10 mm de espessura e uma camada interna composta de OSB (painel de tiras de madeira orientadas), como pode ser observado na Foto 4.

Foto 4 – Drywall. a – OSB; b - placas de gesso.



a)

b)

Fonte: Autora.

3.4.4 Forro

O forro escolhido é do tipo mineral (Foto 5) e por se tratar de um material poroso apresenta uma maior capacidade de absorção do som (FORMOLO *et al.*, 2017).

Foto 5 - Forro mineral utilizado.

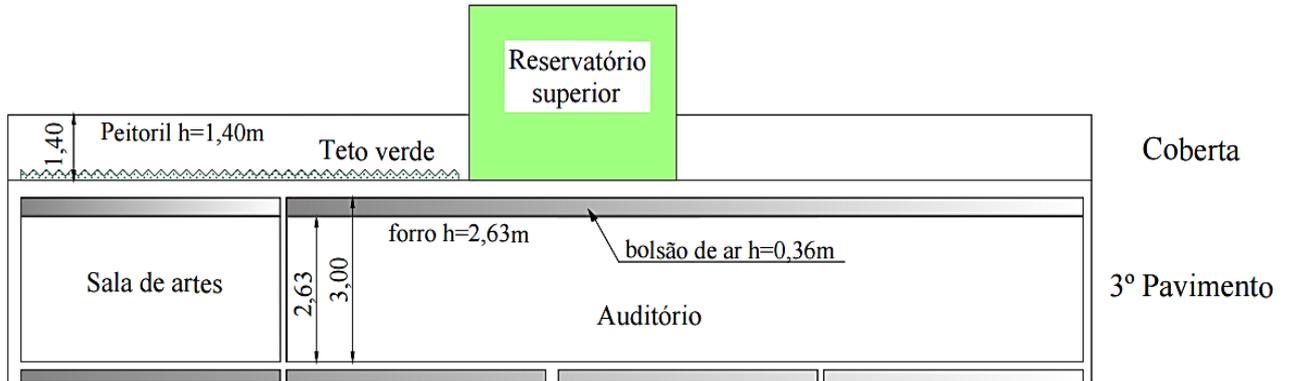


Fonte: Autora.

Sendo importante destacar ainda que o forro possui uma espessura de 1 cm e se encontra 36 cm abaixo da laje steel deck (Figura 19) em todas as salas de aula da edificação estudada. Este espaço (bolsão de ar) promove, portanto, uma diminuição da condutividade térmica (SILVA,

2016), tornando esta solução eficiente também do ponto de vista térmico principalmente no último pavimento (maior incidência da radiação solar sobre o envelope dos ambientes).

Figura 19 – Corte esquemático demonstrando bolsão de ar entre forro e laje .



Fonte: Autora.

O gesso acartonado também foi utilizado em alguns ambientes, tanto na forma de sanca em banheiros, como forro na recepção. As diferentes soluções de forro utilizadas, portanto, para cada um dos pavimentos dos módulos 1 e 2 da edificação em estudo podem ser melhor visualizadas no Anexo A. Evidencia-se que a paginação do forro no primeiro e segundo pavimentos é idêntica em ambos os módulos.

3.4.5 Piso

A utilização de cerâmicas para revestimento de pisos gera uma grande quantidade de resíduos mesmo quando realizada com paginação, pois ainda assim requer que as peças sejam cortadas para encaixe em medidas não modulares, podendo inutilizar o restante da peça, que muitas vezes se quebra durante o corte. Além disso, há uma preocupação com relação ao CO₂ gerado tanto na produção quanto no transporte destes materiais. Sendo assim, a estratégia tão eficientemente adotada pelos projetistas para tornar a edificação mais sustentável foi a de utilizar o piso do tipo concreto polido, como mostrado na Foto 6.

Embora também emita CO₂ na sua fabricação, o piso de concreto polido é capaz de reduzir a emissão do gás poluente em até 310,97 kg/m², o que equivale a 29,68% de redução em comparação ao piso com revestimento cerâmico, de acordo com Dezen-Kempter *et al.* (2018).

Foto 6 - Piso de concreto polido.



Fonte: Peixoto *et al.* (2017).

3.4.6 Brises

Os brises são conhecidos por seus benefícios quanto à redução de ganho térmico nas edificações bem como pela otimização da luminosidade natural. Posto isto, pode-se destacar que brises fixos metálicos foram utilizados na fachada leste e sul das salas de aula e termobrisas nas fachadas norte e sul da quadra esportiva. Com inclinação de 45° em relação a horizontal e, espaçamento de 10 cm entre os brises fixos e de 14 cm entre os termobrisas, eles protegem o ambiente interno da radiação. No caso das salas de aula, o brise tem função apenas de proteção (Foto 7). Já na quadra esportiva, os termobrisas podem ser rotacionados e são envoltos por material de superfície lisa, o mesmo de asas de avião (aluzinc) - Foto 8, com a injeção de espuma de poliuretano em seu interior, apresentam proteção termo-acústica, além de auxiliar na iluminação e na ventilação naturais, chegando a uma altura de 2,30 m.

Foto 7 – Brises fixos. a – elemento no auditório; b – elemento na fachada sul das salas de aula.



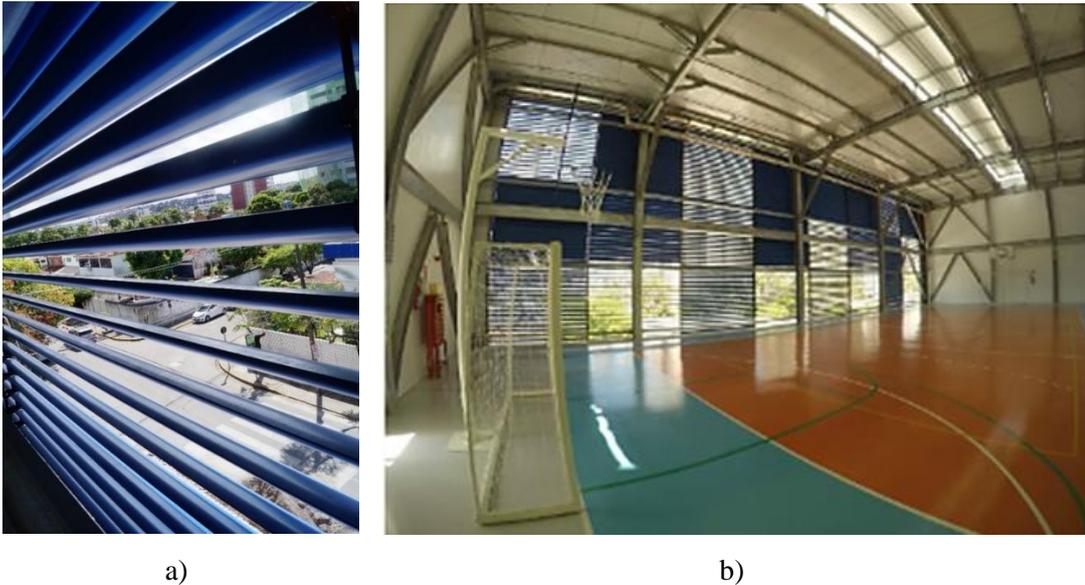
a)



b)

Fonte: Equipe de mídia da edificação escolar.

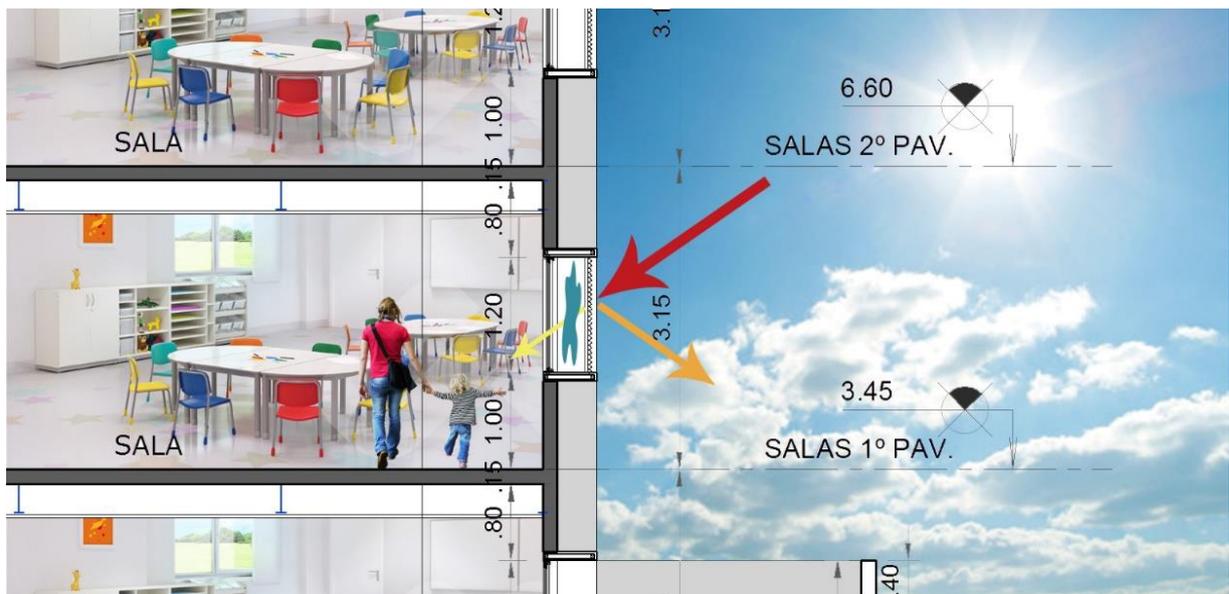
Foto 8 – Termobrises. a – elemento em destaque; b – vista panorâmica da quadra esportiva.



Fonte: Equipe de mídia da edificação escolar.³

O funcionamento dos brises das salas de aula pode ser observado na esquematização representada na Figura 20, em que se indica a incidência de luz+calor (seta vermelha), porém, graças a adoção do elemento de proteção o calor é refletido, permitindo apenas a passagem da luz (seta amarela).

Figura 20 – Esquematização do funcionamento dos brises fixos metálicos das salas de aula.



Fonte: Escritório de arquitetura⁴.

³ Imagens disponibilizadas pelo fotógrafo da edificação escolar em abril de 2018.

⁴ Esquematização elaborada pelo escritório de arquitetura projetista da edificação em estudo em maio de 2016.

A região azul destacada na Figura 20 representa a camada de ar entre os brises e as janelas das salas de aula. Deve-se salientar que para melhor otimizar a ventilação natural era possível ainda aumentar a dimensão das janelas.

3.4.7 Esquadrias

As esquadrias, bem como suas dimensões e materiais, influenciam diretamente nos valores de conforto e desempenho térmico e acústico obtidos, sendo considerados nos softwares e aparelhos de análise utilizados. Para tanto, faz-se necessário descrever as características das esquadrias por ambiente monitorado, conforme demonstrado na Tabela 15.

Tabela 15 – Caracterização das esquadrias e portas dos ambientes monitorados nos ensaios.

Ambiente	Dimensão das esquadrias	Rw estimado (dBA) CBIC (2013)
Sala 1	1 porta de vidro de correr com 3 folhas (2,79 m x 1,94 m)	-
	1 porta de madeira com 1 folha (2,10 m x 0,90 m)	18
Sala 2	1 porta de vidro de correr com 4 folhas (5,09 m x 1,95 m)	-
	1 porta de madeira com 1 folha (2,10 m x 0,90 m)	18
Sala 4, sala 7, sala 8 e sala de artes	1 janela de correr com 4 folhas (3,20 m x 1,07 m)	26*
	1 porta de madeira com 1 folha (2,10 m x 0,90 m)	18
Sala 5, 6 e 9	1 janela de correr com 6 folhas (4,73 m x 1,07 m)	26*
	1 porta de madeira com 1 folha (2,10 m x 0,90 m)	18
Auditório	2 janelas de correr com 6 folhas (4,70 m x 1,15 m)	26*
	1 janela de correr com 4 folhas (2,98 m x 1,15 m)	26*
	1 porta de madeira com 2 folhas (2,10 m x 1,80 m)	18
	1 porta de madeira com 1 folha (2,10 m x 0,90 m)	18

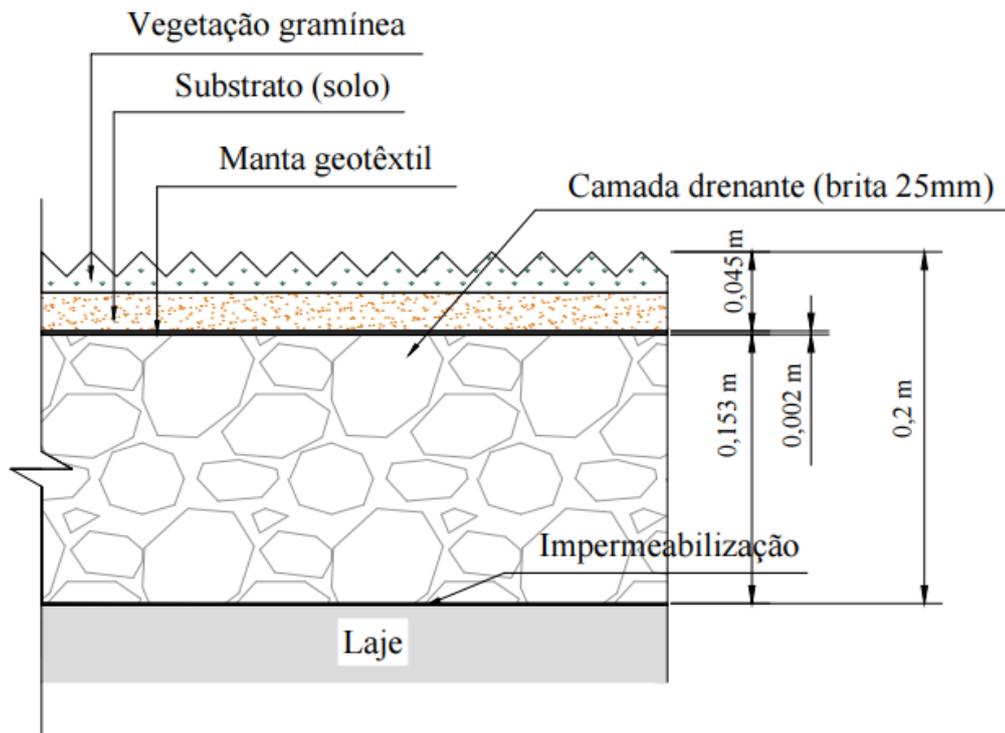
Fonte: Autora.

(*) Janela constituída por placas de vidro, com persiana (brise) para controle do sombreamento.

3.4.8 Teto verde e telha termo acústica

Na quadra esportiva foi empregada uma telha termoacústica que compreende toda a extensão do seu teto. Sobre a laje impermeabilizada da cobertura do módulo 1, encontra-se o teto verde que possui 20 cm de espessura e é constituído pelas camadas: drenante (brita 25 mm), manta geotêxtil, substrato (solo) e vegetação gramínea (Figura 21). Para melhor visualização, tem-se o teto verde na íntegra na Foto 9.

Figura 21 – Esquemática gráfica das camadas do teto verde.



Fonte: Autora.

Foto 9 – Teto verde implementado na íntegra na unidade escolar.



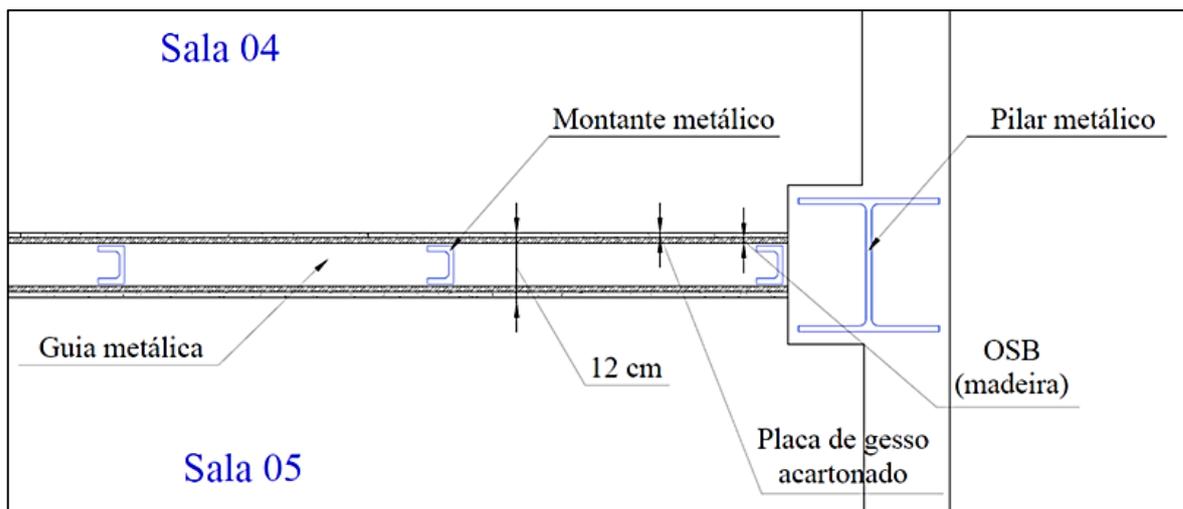
Fonte: Autora.

Estes e outros elementos sustentáveis empregados podem ser melhor visualizados no Anexo B.

3.4.9 Perfis das vedações e fachadas

A caracterização detalhada dos componentes que constituem as vedações e fachadas dos ambientes avaliados nesta pesquisa podem ser visualizados nas Figuras 22 a 25. As denominações (vedação, fachada, tipos 1 e 2) adotadas no estudo foram necessárias para que seja possível entender melhor os resultados obtidos nos ensaios realizados.

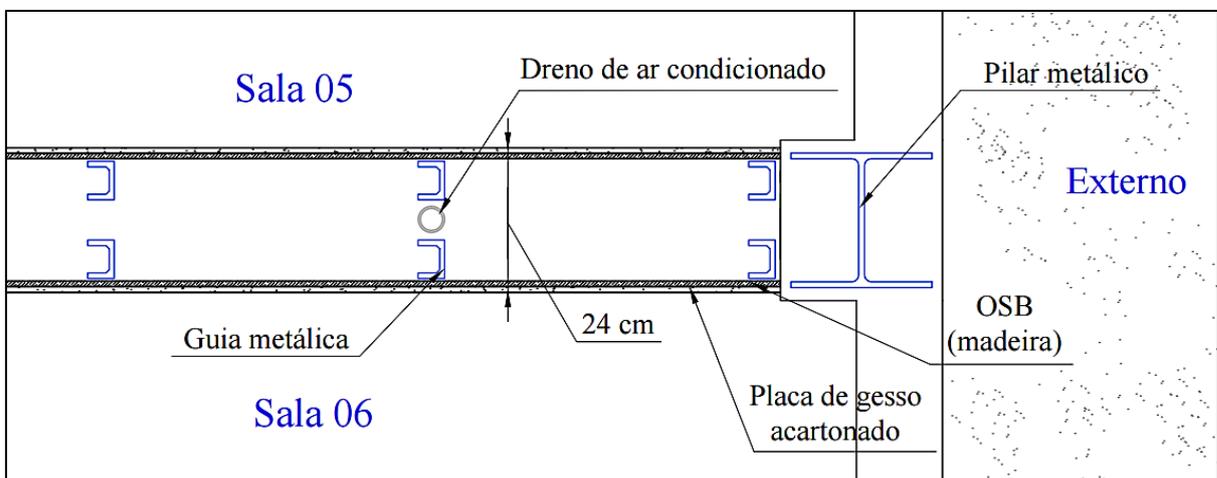
Figura 22 – Caracterização da vedação tipo 1, com suas espessuras e materiais designados.



Fonte: Autora.

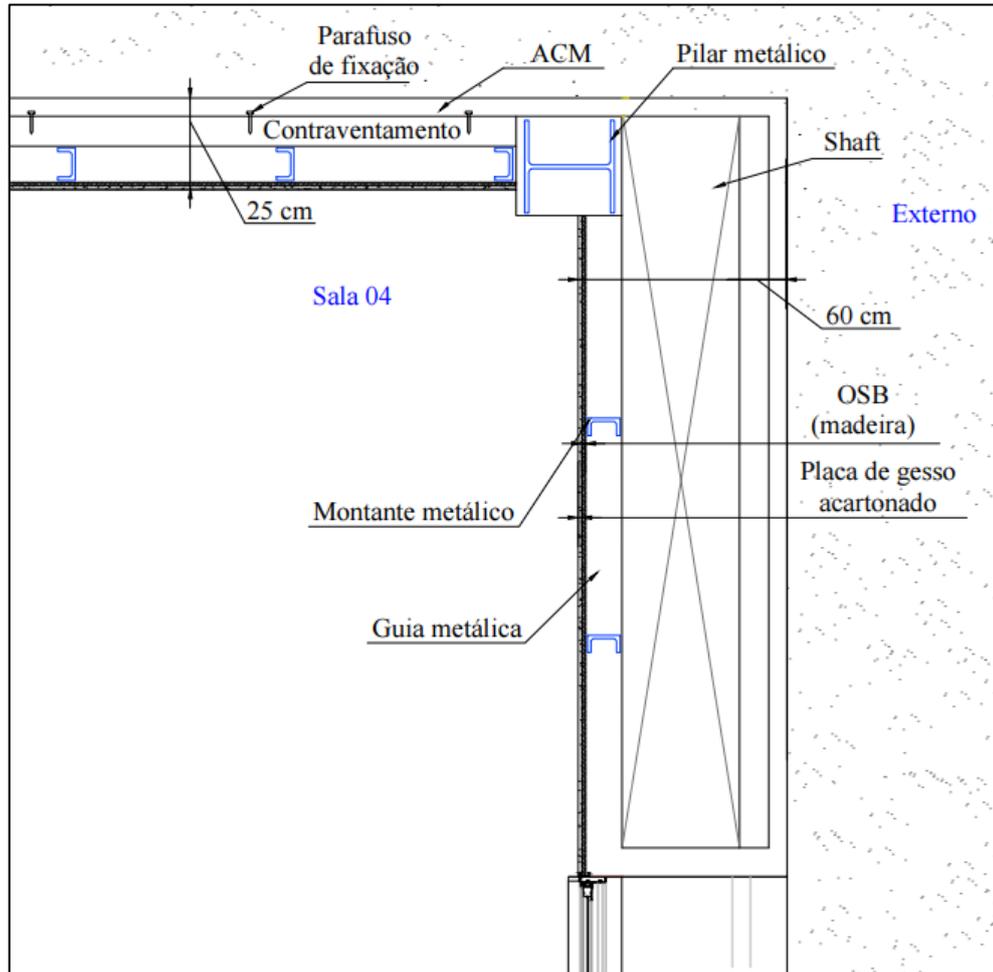
A vedação tipo 2 é semelhante a vedação tipo 1, exceto pela passagem de tubulação do ar condicionado e duplicação da suporte metálico, o que acarreta ao elemento uma espessura de 24 cm aproximadamente.

Figura 23 – Caracterização da vedação tipo 2, com suas espessuras e materiais designados.



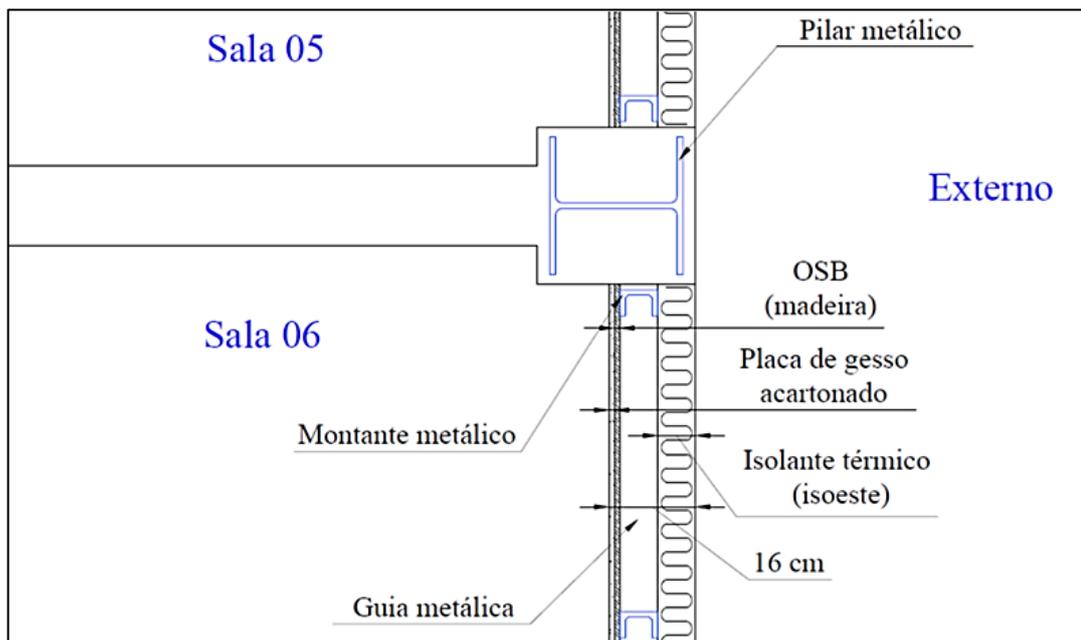
Fonte: Autora.

Figura 24 – Caracterização da fachada tipo 1, com suas espessuras e materiais designados.



Fonte: Autora.

Figura 25 – Caracterização da fachada tipo 2, com suas espessuras e materiais designados.



Fonte: Autora.

As Figura 26 a 29 estabelecem um breve esquema da localização dos tipos de vedação e fachada empregados na edificação em estudo.

Os ambientes onde foram realizados ensaios de conforto e desempenho térmico e/ou acústico são: sala 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, corredor (térreo), sala de artes e auditório. As salas de artes, 4, 7 e 8 tem uma sistema construtivo diferente pela sua localização nas plantas baixas, possuindo a configuração das fachadas tipo 1, 2 e vedação tipo 1 – além de uma esquadria menor, como evidenciado na Tabela 15. Já as demais salas possuem a configuração de vedação tipo 1, 2 e fachada tipo 2. A vedação entre o corredor e a sala 2 possui a configuração tipo 1, porém com a existência de portas, diferentemente das vedações entre salas de aula.

Os ambientes ensaiados estão melhor detalhados e comentados no Capítulo 4 seguinte.

Figura 26 – Térreo com salas e corredor ensaiados e os tipos de vedações e fachadas em destaque.

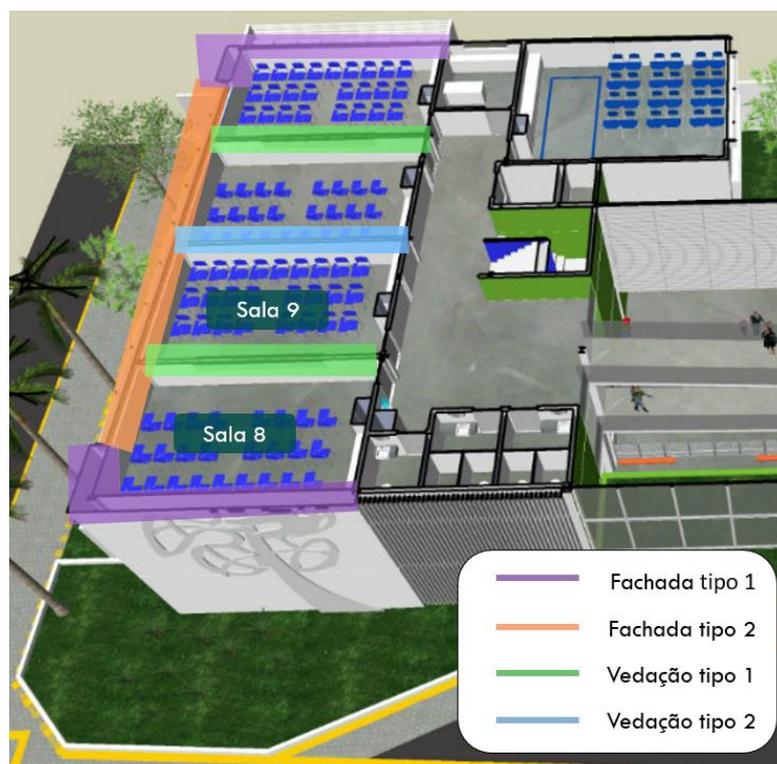


Figura 27 – Primeiro pavimento com salas ensaiadas e os tipos de vedações e fachadas em destaque.



Fonte: Autora.

Figura 28 – Segundo pavimento com salas ensaiadas e os tipos de vedações e fachadas em destaque.



Fonte: Autora.

Figura 29 – Terceiro pavimento com ambientes ensaiados e os tipos de vedações e fachadas em destaque.



Fonte: Autora.

A escolha dos materiais utilizados nas vedações, no piso e no teto, as espessuras das vedações e a estrutura metálica empregada foram especificadas neste capítulo, para um melhor entendimento da complexidade envolvida na construção em estudo.

4 METODOLOGIA

De modo geral, a descrição dos ensaios de campo realizados, bem como a aplicação de questionários aos usuários, além de todas as etapas desenvolvidas para alcançar os objetivos predeterminados e contemplados nesta pesquisa são demonstrados a seguir.

4.1 Programa de investigação

O programa de investigação empregado na pesquisa contempla de forma geral a realização de ensaios térmicos e acústicos e aplicação de questionários. As variáveis envolvidas são: ventilação natural, temperatura de ambientes e superfícies, umidade relativa do ar, características climáticas, isolamento térmico e acústico (absorção dos materiais, reflexão e ruído nos ambientes internos e externo). Sendo assim, na pesquisa, foram executadas quatro etapas.

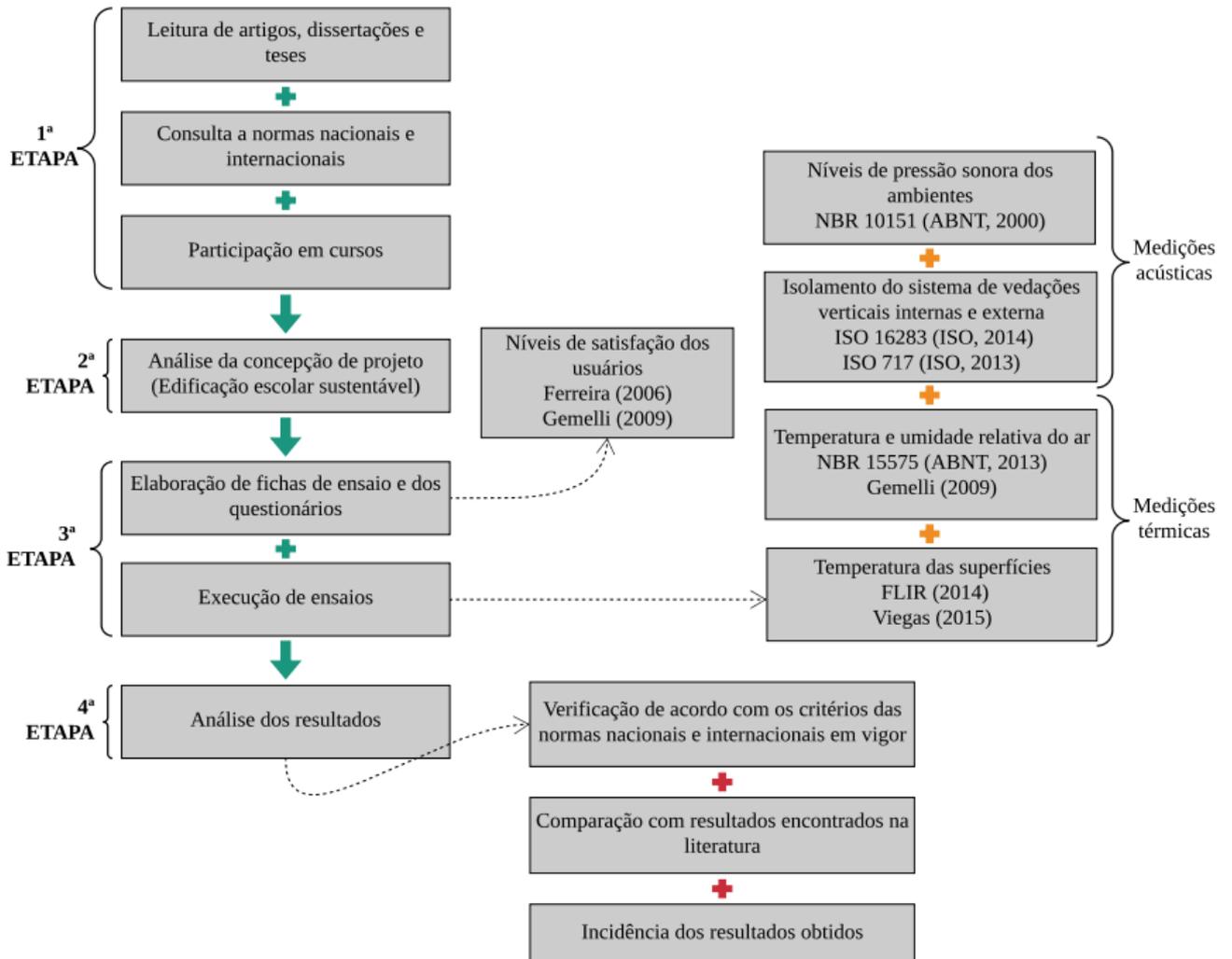
Primeiramente, houve o levantamento da literatura sobre o tema para adquirir embasamento técnico e teórico. Compreendendo a leitura de artigos, dissertações, teses, normas nacionais e internacionais, além da realização de cursos complementares que auxiliaram na metodologia das medições e na interpretação dos resultados.

Em seguida, o projeto da edificação foi profundamente analisado devido à sua complexidade. Tendo início, esta etapa, desde a concepção por meio de entrevistas com os projetistas até a fase de uso e ocupação da edificação. A sua completa caracterização compreendeu conversas com os construtores além da coleta de informações quanto à localização, aos projetos de arquitetura, ao cronograma de execução da obra, aos materiais empregados, às etapas de construção, além de outros documentos existentes.

A leitura de artigos e dissertações possibilitou a elaboração de fichas de ensaio, que proporcionaram o adequado armazenamento de todas e quaisquer informações nos momentos de realização das medições. Compreendendo também esta etapa, estava a elaboração bem como a aplicação dos questionários aos grupos focais de alunos e professores da edificação escolar em estudo, a fim de se obter a avaliação quanto ao nível de satisfação dos usuários. Após a elaboração das fichas e dos questionários, foram realizadas visitas técnicas à edificação estudada para efetuar as avaliações propostas no estudo – o que corresponde à terceira etapa.

A última etapa está associada, portanto, à análise dos resultados obtidos de acordo com as normativas e a literatura sobre o tema, assim como à elaboração da dissertação propriamente dita. Sendo assim, a Figura 30 compreende todas as quatro etapas explanadas anteriormente para melhor visualização e entendimento.

Figura 30 – Ensaios desenvolvidos no programa de investigação.



Fonte: Autora.

4.2 Níveis de satisfação dos usuários quanto ao conforto ambiental proporcionado pela edificação escolar

Foram aplicados questionários com perguntas que compreendem todas as vertentes deste estudo, conduzindo assim questionamentos desde a percepção do tamanho do espaço por parte dos usuários, que também compreende a ideia de conforto, chegando até questões como a percepção térmica dos ambientes sem ar condicionado observada pelos usuários.

A verificação dos níveis de satisfação se restringiu a dois grupos focais: professores e alunos. O intuito desta avaliação foi perceber se as possíveis queixas a respeito do conforto ambiental estavam condizentes com os resultados obtidos nos ensaios de campo. Para tanto, questionários foram elaborados (Apêndice E) e aplicados aos usuários da edificação escolar em estudo.

A aplicação com os alunos, em ambos os turnos da manhã e da tarde, ocorreu no dia 1 de março de 2018, após o período de ensaio de temperatura e umidade relativa do ar com os usuários em sala. A premissa seguida possuía o intuito de permitir uma avaliação justa, após dias de monitoramento e adaptação (modelo adaptativo) aos ambientes com condicionamento térmico passivo (sem o uso de ar condicionado e com ventilação natural) em duas salas específicas: sala de artes (que possui teto verde em sua cobertura e se encontra no terceiro pavimento) e sala 4 (que se encontra no primeiro pavimento). Deste modo, os questionamentos se deram apenas sobre as turmas correspondentes à ocupação da sala 4 em ambos os turnos (não nas turmas das salas de aula restantes da edificação, pois estes ambientes permaneceram com o uso de ar condicionados). Foram computadas 44 respostas no total, para ambos os turnos de manhã e tarde, representando o grupo focal de alunos da edificação estudada. As salas 4 e de artes possuem 40 m² e apresentavam cerca de 22 alunos em cada ambiente no momento das avaliações.

Os questionários também foram aplicados a 5 professores ao longo desta mesma semana de monitoramento, entre os dias 27 de fevereiro e 2 de março de 2018. Foram priorizados os professores que se utilizam dos ambientes abordados no questionário, tais como: sala de artes, auditório, quadras esportivas, salas de aula avaliadas etc.

A estrutura do questionário compreendeu os aspectos descritos a seguir:

- I) Os questionamentos elaborados tomaram como base pesquisas semelhantes de avaliação de conforto ambiental em escolas, também com a aplicação de questionários, como a de Gemelli (2009) e Ferreira (2006).
- II) As primeiras perguntas do questionário, estavam voltadas para a ideia de conforto ambiental envolvendo as dimensões do espaço. O intuito por trás das perguntas era constatar se há sensação de confinamento nos ambientes comuns da edificação escolar. É importante destacar que a noção de espaço cabe aos alunos, no sentido de

proporção, segundo o tamanho ou estatura dos próprios indivíduos observadores do espaço no qual estão inseridos. O considerado grande para eles, pode não o ser para um adulto, porém a noção de conforto despertada nas crianças é o foco desta pesquisa. Em seguida, após considerarem as dimensões, os alunos e professores poderiam responder se sentiam necessidade de mais espaço para a realização de alguma atividade. A pergunta seguinte já se referia a uma questão mais subjetiva e que reflete a sensação de bem-estar que a unidade escolar traz para aos ocupantes.

- III) Uma vez terminada a temática de conforto ambiental em geral, deu-se início ao aprofundamento das perguntas com enfoque no conforto acústico, por ambiente de convívio diário. Os questionamentos seguintes davam enfoque a possíveis incômodos vinculados a fenômenos da acústica, como a observação de ruídos externos que adentravam no ambiente interno.

- IV) Após finalizadas as respostas referentes ao conforto acústico, os alunos podiam dar início as respostas com enfoque no conforto térmico.

Vale salientar a importância de terem sido feitos estes levantamentos com os usuários, uma vez que algumas das queixas levantadas pelos professores em conversas informais, no momento de aplicação dos questionários, influenciaram na delimitação da amostra para o ensaio de desempenho acústico como será demonstrado nos itens seguintes.

4.3 Medições acústicas

As medições acústicas contemplaram procedimentos para avaliação dos níveis de pressão sonora dos ambientes de acordo com as finalidades de uso, bem como para a verificação da capacidade de isolamento acústico do sistema de vedações verticais internas e externa escolhidas. Para a posterior comparação com os valores de referência indicados nas normativas nacionais (ABNT, 2000; ABNT, 2017) e internacionais (decreto-lei 96/2008 de Portugal; BB93 do Reino Unido; ANSI 12.60 dos EUA; AS/NZ 2107) em vigor.

4.3.1 Níveis de pressão sonora dos ambientes

Para a realização do ensaio de conforto acústico foi utilizado o equipamento de medição do Laboratório Avançado de Construção Civil (LACC) da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco. A maleta de armazenamento contém um sonômetro ou medidor de nível de pressão sonora da marca francesa 01 dB e um calibrador acústico para verificação das especificações estabelecidas pelo fabricante (Foto 10). O aparelho é capaz de aferir os níveis de pressão sonora mínimo, máximo e equivalente observados durante o monitoramento de uma atividade qualquer, dentro do intervalo de tempo estipulado pelo próprio operador.

Foto 10 – Sonômetro utilizado na pesquisa.



Fonte: Autora.

Além do sonômetro também se fez uso de um tripé, uma fita adesiva colorida para demarcação dos pontos no piso, como pode ser observado na Foto 11, e de uma trena para garantir as distâncias mínimas entre objetos, piso e vedações.

O procedimento consistiu em posicionar o aparelho no interior dos ambientes avaliados e a duração do ensaio em cada posição teve de ser delimitada pelo tempo de duração da atividade observada. Foram medidos os níveis de pressão sonora, no interior, em no mínimo três posições distintas afastadas entre si em pelo menos 0,7 m, com o instrumento a uma altura de 1,20 m em relação ao piso. No exterior os níveis foram medidos em apenas duas posições distintas. Os

procedimentos, os afastamentos dos pontos entre si, assim como entre os pontos e paredes, teto, piso, mobiliários, muros e elementos com significativa transmissão sonora (janelas, portas ou entradas de ar) foram realizados conforme indicado na NBR 10151 (ABNT, 2000) para o ambiente externo e na NBR 10152 (ABNT, 2017) para os ambientes internos.

Foto 11 – Aparelho executando ensaio de medição do ruído na quadra esportiva.



Fonte: Autora.

Para a execução dos testes, foram criadas duas fichas de ensaio (uma mais detalhada, para cada ponto e uma mais resumida, contendo todos os pontos e valores médios fornecidos pelo aparelho) como pode ser visualizado no Apêndice B. A elaboração das fichas se deu com base nos parâmetros fornecidos pelo aparelho e nas informações ressaltadas em outras pesquisas.

As atividades monitoradas na edificação escolar em estudo, bem como o tempo de duração do ensaio em cada ponto, a quantidade total de pontos, além dos limites preestabelecidos para o ambiente de acordo com a finalidade de uso, segundo a NBR 10152 (ABNT, 2017), são mostrados na Tabela 16.

Tabela 16 – Medições de conforto acústico realizadas nos ambientes internos da edificação escolar em estudo.

Ambiente	Atividade	Condição	Qtde de Pontos	Duração por ponto (min)	NBR 10152 (dB)	
					RL_{Aeq}	$RL_{ASmáx}$
Sala 2	Atividades normais	Janelas e portas fechadas	3	20	35	40
	Recreio	Janelas e portas fechadas	3	5	35	40
Sala 6	Atividades normais	Janelas e portas fechadas	3	20	35	40
Sala 9	Atividades normais	Janelas e portas fechadas	3	20	35	40
Sala de artes	Atividades normais	Janelas e portas fechadas	3	7	35	40
	Educação Física	Janelas e portas fechadas	3	7	35	40
Auditório	Atividades normais	Janelas e portas fechadas	4	7	35	40
	Educação Física	Janelas e portas fechadas	4	7	35	40
Corredor	Recreio	-	3	5	50	55
	Alunos em sala de aula	-	3	5	50	55
Quadra esportiva	Educação Física	Termobrises abertos	4	7	45	50
	Tráfego das vias	Termobrises abertos	4	7	45	50
	Tráfego das vias	Termobrises fechados	4	7	45	50

RL_{Aeq} – Referencial para nível de pressão sonora global representativo do ambiente obtido em ponderação A de frequência; $RL_{ASmáx}$ – Referencial para nível máximo de pressão sonora global representativo do ambiente obtido em ponderação A de frequência e ponderação temporal em S (*Slow*).

Fonte: Autora.

Cada medição gerava 1 leitura por minuto e era efetuada pelos operadores, no momento de medição, ao pausar o aparelho. Foram efetuadas, portanto, 393 leituras de nível de pressão sonora nos ambientes internos da edificação escolar e 10 leituras no ambiente externo (dois pontos de medição com 5 minutos de duração em cada ponto). Os intervalos diferentes de medição ocorreram devido às atividades monitoradas (aula, educação física, recreio, etc) que possuíam tempos diferentes de duração e consistiam o foco de observação do estudo.

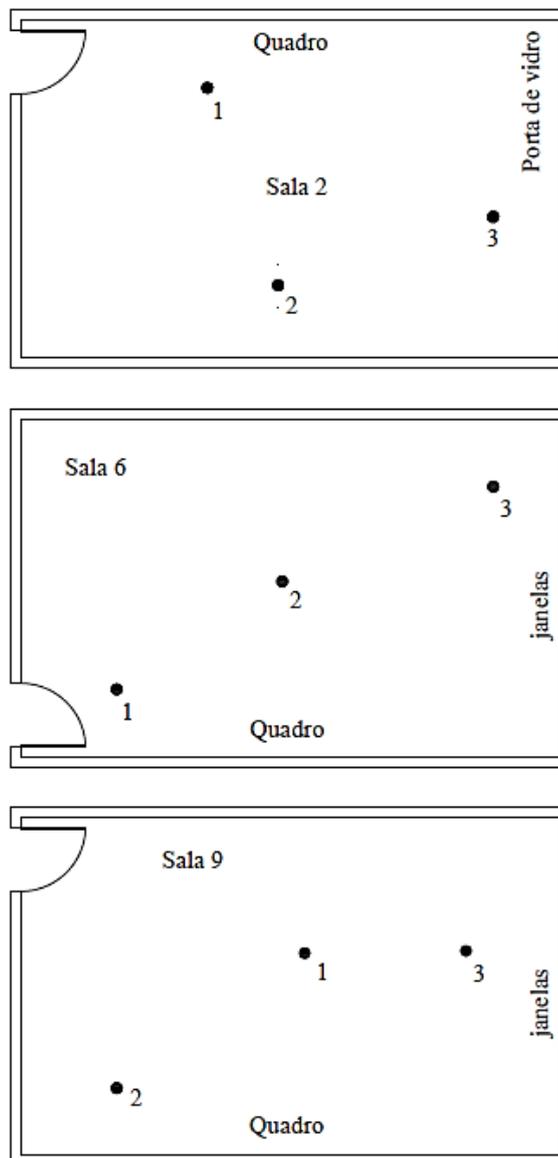
Destaca-se que as medições não foram realizadas com condições ambientais adversas de vento, precipitações pluviométricas ou trovoadas que poderiam interferir nos resultados ou não atenderem às especificações das condições de operação dos instrumentos de medição estabelecidas pelos fabricantes, também conforme indicado na NBR 10152 (ABNT, 2017).

Salas de aula

As medições de conforto acústico nas salas de aula da edificação se deram conforme indicado na Figura 31. As leituras foram realizadas em três pontos distintos, totalizando 180 leituras na observação durante a atividade normal de salas de aula (com a presença dos alunos) e 15 leituras

no recreio (sem a presença dos alunos naquele dia e momento de medição). Esta última se deu somente sobre a sala 2 (térreo) nos mesmos três pontos estipulados para verificar a influência do recreio. É importante mencionar que todas as medições realizadas para verificação da influência de uma dada atividade sobre outra condiziam com a realidade, no colégio, o recreio do 1º ao 2º ano do ensino fundamental se dá no início do expediente e em seguida se tem o recreio dos 3º e 4º anos, em ambos os turnos da manhã e da tarde. Os intervalos do recreio, em momentos distintos, tem causado uma interferência real nas atividades e na concentração das turmas do térreo, que precisava ser observada.

Figura 31 - Locação dos pontos de medição nas salas de aula.



Fonte: Autora.

A locação dos pontos no interior das salas, bem como o respectivo pavimento onde elas se encontravam na edificação podem ser observados na Tabela 17. Sobre as características gerais das salas, todas possuem 40 m² de área com 5x8 metros de dimensão.

Para uma melhor visualização das condições de entorno (vegetação e vias de acesso) da edificação e caracterização dos ambientes internos como, por exemplo, a demonstração do mobiliário (mesas, armários, cadeiras, dentre outros), tem-se o Anexo B.

Tabela 17 – Locação do instrumento de acordo com o ponto nas salas de aula avaliadas.

Pavimento	Ponto	Locação do instrumento
Térreo	1	Mais próximo do quadro
	2	Mais próximo da vedação oposta ao quadro
	3	Mais próximo da porta de vidro
Pavimento	Ponto	Locação do instrumento
Primeiro	1	Mais próximo do quadro
	2	Mais próximo do centro da sala
	3	Mais próximo das janelas
Pavimento	Ponto	Locação do instrumento
Segundo	1	Mais próximo do centro da sala
	2	Mais próximo da vedação oposta ao quadro
	3	Mais próximo das janelas

Fonte: Autora

Com relação aos dias de medição, a sala 2 foi observada segundo o ruído gerado durante as atividades normais de sala de aula, com a presença dos alunos, no dia 14 de junho de 2017, das 13h às 14h29min. Mais tarde naquele mesmo dia, a influência do recreio sobre esta sala foi monitorada das 16 às 16h20 min (recreio dos 3º e 4º anos), atividade esta ocorrendo no ambiente externo (circulação), sem a presença de alunos na sala 2. Já para a sala 6, as leituras de medição foram feitas no dia seguinte (15 de junho de 2017), das 13h37min as 15h. E por fim, na sala 9 as atividades normais foram contempladas das 13h54min as 15h41min no dia 16 de junho de 2017.

Sala de artes e auditório

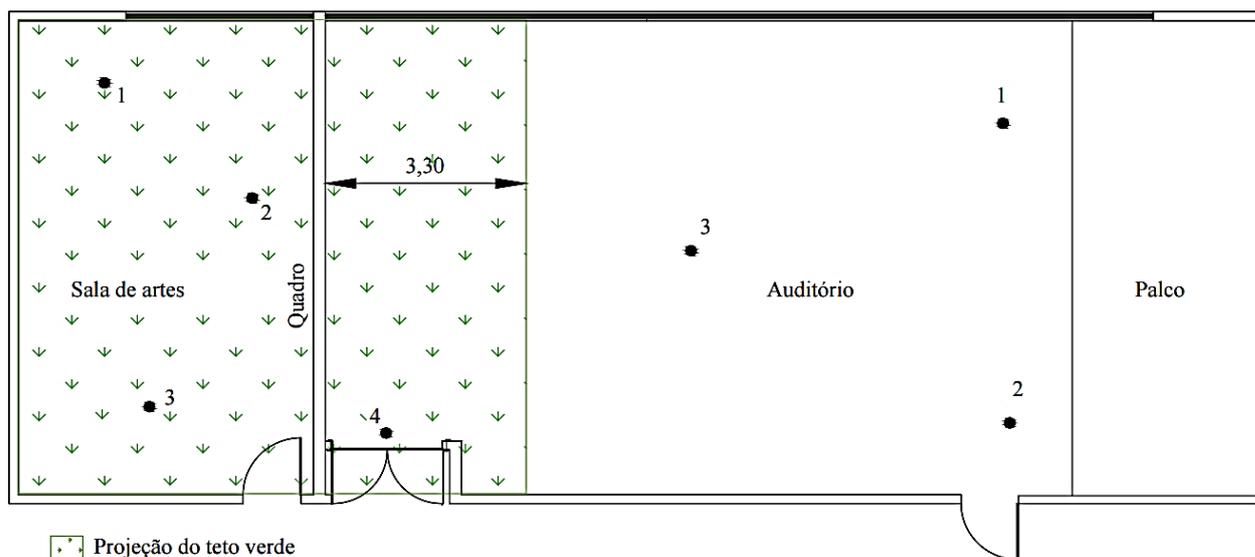
As posições em que o aparelho se encontrou durante a realização dos ensaios de conforto acústico na sala de artes e no auditório se encontram na Figura 32. Além disso, a imagem

também indica a projeção do teto verde presente na cobertura da edificação, o qual faz contato direto com toda a laje da sala de artes e ocupa cerca de 3,30 metros da laje do auditório.

É importante destacar ainda que o auditório não possui tratamento acústico algum que o diferencie dos demais ambientes onde as aulas também são ministradas e por este motivo, na análise dos resultados, seus níveis de pressão sonora foram abordados de acordo com os limites impostos na NBR 10152 (ABNT, 2017) para finalidade de uso de sala de aula.

Como o auditório contém uma área muito superior (cerca de 121,40 m²) em relação à sala de artes (40 m²), optou-se por executar as medições de conforto em quatro pontos distintos, com a finalidade de abranger toda a envoltória do ambiente. O aparelho estava próximo ao palco nos pontos 1 e 2, no ponto 3 estava mais próximo do centro do ambiente e no ponto 4 estava próximo a vedação oposta ao palco.

Figura 32 – Localização dos pontos de medição de na sala de artes e no auditório.



Fonte: Autora.

Já na sala de artes, foram locados três pontos dentro do ambiente, de forma semelhante aos das salas de aula. É importante salientar que o ponto 1, diferentemente das salas 2,6 e 9, estava mais próximo da vedação que contém não apenas a janela associada a *drywall* e isoeste (Figura 25), mas também *shaft* e placas de ACM (Figura 24), resultando em uma composição mista com espessuras de 60 cm (*shaft*+ACM) e 16 cm (janelas+*drywall*+isoeste).

Deste modo, ambos os ambientes foram observados durante as atividades normais de sala de aula, assim como sob a influência externa da educação física, ocorrendo simultaneamente na quadra esportiva, que se localiza no mesmo pavimento das áreas analisadas. A medição de influência da educação física ocorreu em ambos os ambientes no dia 25 de maio de 2017, das 15h31min às 16h05min na sala de artes e das 16h31min às 17h15min no auditório. Já a medição do ruído gerado pelas atividades normais de sala de aula se deu no auditório também no dia 25 de maio, das 13h46min às 14h37min, enquanto que na sala de artes o monitoramento teve início às 15h29min e terminou às 16h09min do dia 1 de junho.

Foram realizadas seis medições na sala de artes e oito no auditório, com uma medição por ponto em cada uma das atividades observadas. Cada medição teve duração de sete minutos, as leituras se fizeram a cada minuto, totalizando assim 42 leituras de níveis de pressão sonora para a sala de artes e 56 para o auditório.

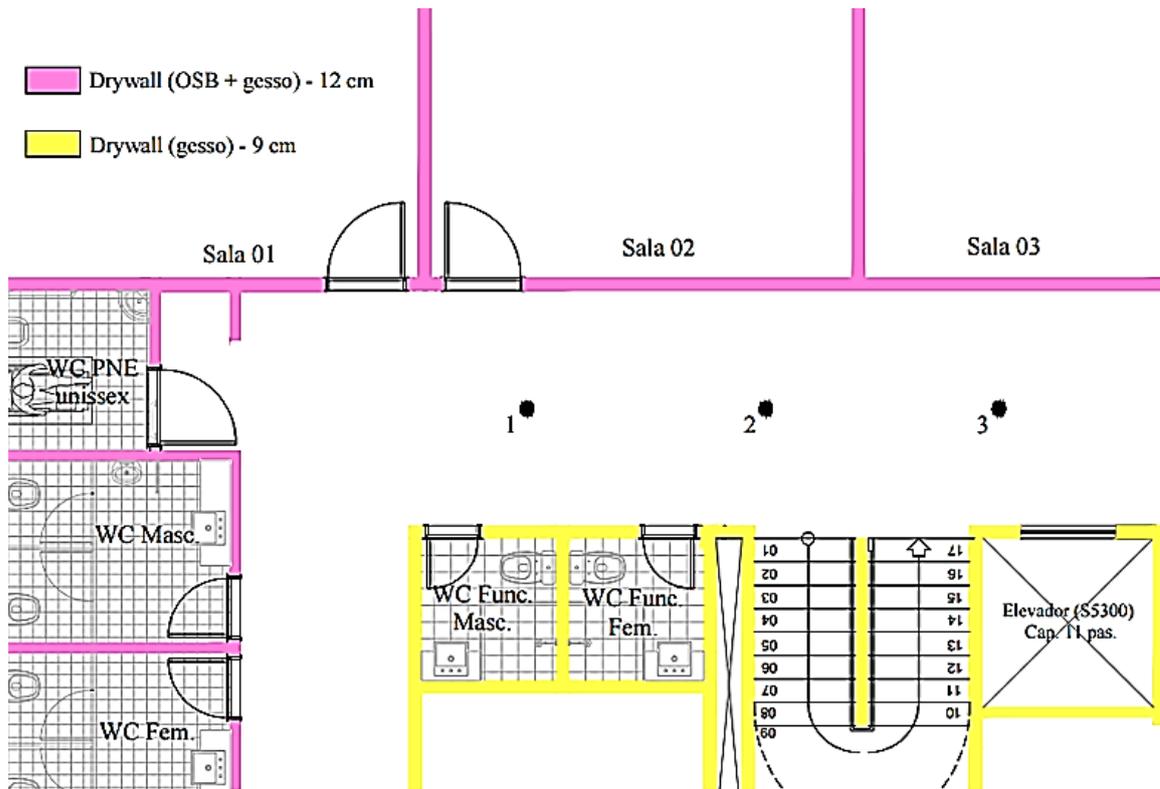
Corredor

As medições realizadas na área de circulação ocorreram no térreo (local habitual de recreação dos alunos) no dia 22 de junho de 2017 das 15h20min até as 15h39min durante a atividade de recreação e no dia 01 de junho de 2017 das 16h36min até as 17h28min durante as atividades normais, ou seja, com os alunos em sala.

Sendo assim, a vista de cima do corredor bem como os pontos de medição de conforto acústico estão ilustrados na Figura 33. No entanto, a composição dos *drywalls* não era idêntica em todas as divisórias dos ambientes, possuindo painéis de tiras de madeira (OSB) apenas nas vedações entre salas e corredor, conforme demonstrado no desenho esquemático, chegando a uma espessura de 12 cm. Essa redução de massa implicou, inclusive, em uma diminuição considerável no conforto acústico entregue para os usuários que será melhor abordada no capítulo 6 de resultados.

As medições se deram durante um período de 5 minutos em cada ponto para permitir a avaliação da atividade observada (o recreio) que durava somente 20 minutos. Como forma de padronização, o monitoramento no corredor durante as atividades normais de sala de aula também se deu em apenas 5 minutos por ponto. O que contabilizou, portanto, um total de 30 leituras neste ambiente.

Figura 33 – Localização dos pontos de medição no corredor (térreo) da edificação em estudo.



Fonte: Autora.

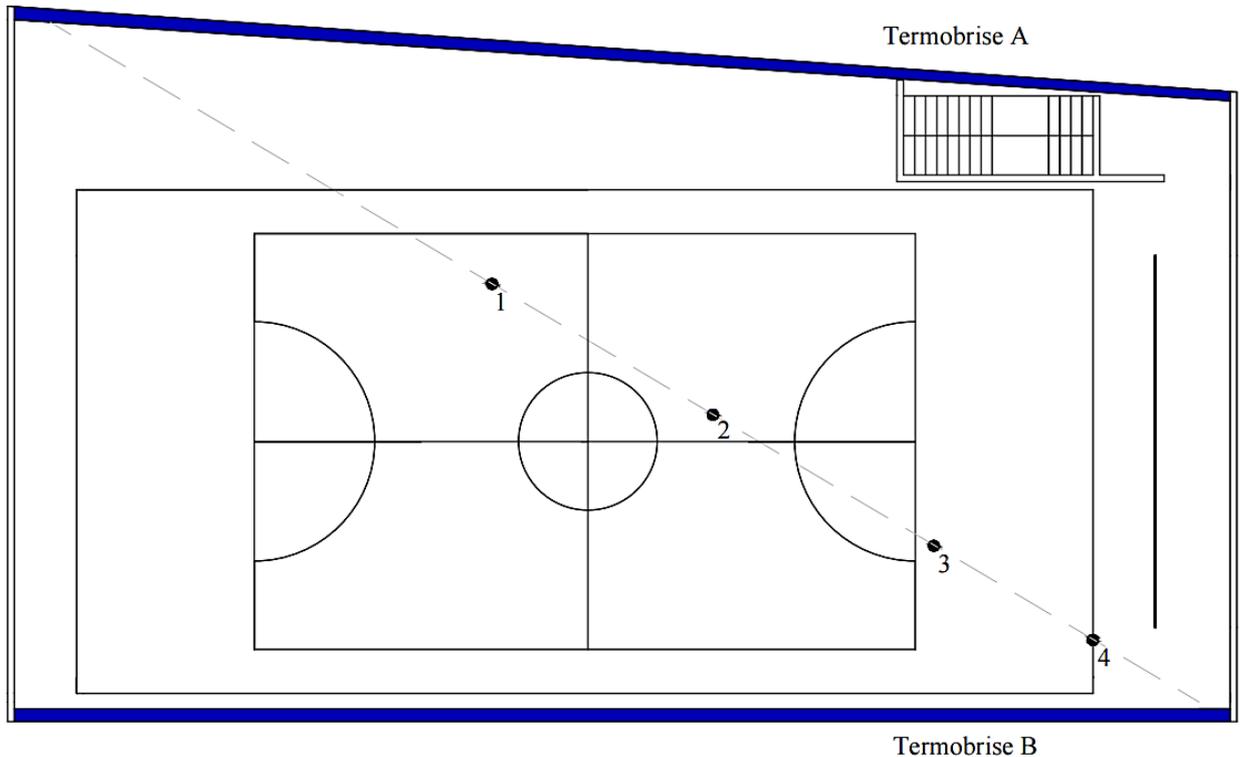
Quadra esportiva

A quadra esportiva possui uma grande área (341,3 m²) a ser contemplada durante o monitoramento dos níveis sonoros registrados no ambiente interno e, por este motivo foram estipulados quatro pontos de medição ao invés de apenas três como nos demais ambientes abordados anteriormente. Portanto, as quatro posições distintas onde foram medidos os níveis de pressão sonora na quadra esportiva, são demonstrados na Figura 34.

As medições realizadas buscaram associar níveis sonoros de diferentes fontes sob diferentes circunstâncias. Na posição 1, o aparelho estava mais próximo do termobrise A, já na posição 2, o equipamento estava próximo ao centro da quadra esportiva e nas posições 3 e 4 estava próximo ao termobrise B. Os ruídos observados no ambiente interno devido à atividade de educação física ocorrendo simultaneamente com o tráfego no ambiente externo (primeira situação) e devido ao tráfego somente ocorrendo no ambiente externo, ou seja, sem atividade alguma no ambiente interno (segunda situação) foram medidos nas quatro locações demonstradas na Figura 34 e de maneira idêntica (manuseio, posição e altura do instrumento).

O intuito consistia em averiguar a percepção do usuário nos mesmos pontos, segundo as diferentes fontes e condições, bem como o quanto os ruídos externos podem interferir no atividade gerada internamente, além de se obterem valores médios para efeitos de comparação.

Figura 34 – Locação dos pontos de medição na quadra esportiva.



Fonte: Autora.

No dia 20 de abril de 2017 foi monitorada a atividade de educação física, tendo início às 16h28min e terminando às 17h10min, apenas na condição de termobrises abertos, para não proporcionar qualquer desconforto aos alunos envolvidos na atividade. O tempo de duração do ensaio em cada posição foi de 7 minutos, uma vez que era preciso se adequar à duração da atividade monitorada que era 50 minutos. Como forma de padronização, as demais medições nas diferentes condições também duraram 7 minutos por ponto. Com uma leitura por minuto, totalizaram-se assim 84 leituras neste ambiente.

Já o monitoramento do ruído externo gerado pelo tráfego se deu na quadra esportiva no dia 25 de agosto das 19h02min às 19h43min com os termobrises fechados e das 19h45min às 20h24min com os termobrises abertos.

Externo

A coleta de dados no ambiente externo à edificação foi obtida no dia 25 de maio de 2017 das 18h15min às 18h30min – o que corresponde ao período diurno (7 às 22h) – de acordo com a NBR 10151 (ABNT, 2000), que elaborece o limite de tolerância para ambientes externos de áreas de escolas em 50 dB para este período. Utilizou-se apenas dois pontos de medição, também conforme indicado na referida normativa, afastados 1,2 m do piso e pelo menos 2 m de superfícies refletoras. O tempo de duração da medição por ponto foi de 5 min, totalizando 10 leituras efetuadas para os dois pontos.

Vale salientar que a medição do ruído externo se deu para averiguar o local no qual está inserida a edificação em estudo, observando do ponto de vista da incidência de ruídos aéreos tais como: buzinas, vozes, etc. E o período noturno foi assim escolhido, por se tratar do mais rigoroso de acordo com a normativa, que estabelece um limite de apenas 45 dB no entorno de escolas.

O equipamento estava voltado para a rua durante a medição como pode ser observado na Foto 12. O tráfego no momento de realização do ensaio estava intenso, pois se caracterizava pelo instante de saída dos alunos de volta para as suas casas.

Foto 12 – Aparelho executando ensaio de medição do ruído no ambiente externo à edificação.



Fonte: Autora.

É importante ressaltar também que a NBR 10152 validada desde 1987 foi atualizada em novembro de 2017, ou seja, após a realização de todas as medições desta pesquisa. Tendo sido necessário ajustar as comparações dos resultados obtidos com os novos valores de referência indicados na versão mais atual e estabelecer níveis de pressão sonora equivalentes globais, ponderados em A, representativos dos ambientes, além de se adaptar às limitações encontradas, em virtude da impossibilidade de acréscimo de indicadores não disponibilizados pelo aparelho de medição.

A referida norma indica o método simplificado como uma das formas de avaliação dos resultados. Este método consiste no comparativo dos níveis de pressão sonora equivalente (LAeq) e máximo (LASmáx), obtivos a partir das medições por ponto, com os valores de referência (RLAeq e RLASmáx) apresentados na Tabela 1. No entanto, é importante salientar que o aparelho utilizado nesta pesquisa não fornece o indicador LASmáx, apenas os valores equivalentes por ponto (LAeqmin,T,X, LAeq,T,X e LAeqmáx,T,X). Por este motivo, a avaliação foi feita apenas sobre o LAeq global calculado a partir dos por valores obtidos por ponto com o auxílio da Equação 2.

4.3.2 Isolamento acústico do sistema de vedações verticais internas e externa

Os ensaios de desempenho acústico foram realizados no dia 5 de maio de 2018, com o auxílio de empresa consultora da região, possuindo por finalidade complementar os ensaios de conforto acústico e assim possibilitar o aprofundamento dos resultados encontrados. Foram coletados ruídos de emissão, recepção e tempo de reverberação entre os elementos de vedação interna da edificação escolar analisada.

A norma de desempenho, NBR 15575 (ABNT, 2013), apesar de designar critérios de atendimento para o adequado funcionamento acústico de sistemas construtivos de vedações, não se aplica a edificações escolares, porém a avaliação tem validade como análise comparativa de comportamento das soluções técnicas adotadas no prédio.

A capacidade de isolamento das vedações verticais internas foi medida com aparelho similar de verificação de nível de pressão sonora do ambiente utilizado nos ensaios de conforto acústico. No entanto, para a devida verificação da capacidade de isolamento acústico de um

dado elemento de vedação, faz-se necessário também o uso de uma fonte sonora (Foto 13). Estes e demais partes integrantes do ensaio estão descritos no Quadro 7.

Foto 13 – Medidor de nível de pressão sonora e fonte de ruído executando ensaio de desempenho acústico na vedação interna escolhida.



Fonte: Autora

Quadro 7 – Partes integrantes do ensaio e suas respectivas funções.

Parte integrante	Função
Um medidor de nível de pressão sonora	Coletar os ruídos de emissão, recepção e tempo de reverberação em campo para posterior análise e compilação no software dBBati. Assim como, aferir os níveis de pressão sonora de atividades realizadas dentro de um mesmo ambiente. Sem a necessidade do uso do software nesta coleta em específico.
Um calibrador acústico	Verificar a calibração do microfone, conforme as especificações do fabricante
Uma fonte emissora de ruído	Formada por um amplificador de potência, uma haste elevatória, uma fonte sonora dodecaédrica e um controle remoto
Um software dBBati	Software responsável pela compilação dos dados coletados em campo

Fonte: Adaptado de Andrade (2017).

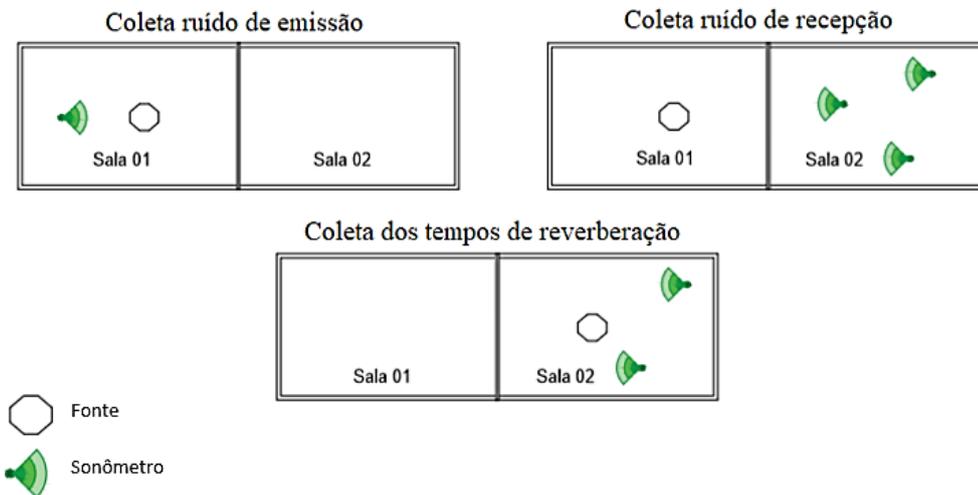
A calibração do medidor e da fonte sonora é realizada, preferencialmente, a cada 2 anos, conforme recomendação do fabricante, sendo também realizada pelo mesmo. O calibrador acústico integrante do equipamento objetiva aferir se há ou não necessidade de calibração, sendo verificado antes do procedimento de ensaio.

Os ensaios foram realizados conforme as especificações descritas nas normas ISO 16283 (ISO, 2014) e ISO 717 (ISO, 2013), onde são dadas as recomendações para o número de posições da

fonte e do microfone nos ambientes de emissão e recepção, bem como algumas distâncias recomendadas entre as partes integrantes. Não foram estabelecidas simulações computacionais.

Uma vez estabelecidas as distâncias predeterminadas, a fonte emissora e o medidor de nível de pressão sonora são ligados na mesma sala, coleta-se assim o ruído de emissão durante trinta segundos. O sonômetro é então transportado para a sala adjacente, a fim de coletar os ruídos de fundo e de recepção em três pontos. A vedação avaliada se encontra entre ambas as salas e a metodologia empregada de realização dos ensaios seguiu o descrito em estudo semelhante em edificação escolar (ANDRADE; CORDEIRO, LORDSLEEM JR., 2016), com a única diferenciação de terem sido utilizados três pontos de recepção ao invés de quatro, conforme realizado por Andrade (2017). Por fim, coletam-se dois tempos de reverberação com ambos os instrumentos (sonômetro e fonte sonora) no ambiente interno da sala adjacente, após o ruído da fonte ter cessado, conforme Figura 35.

Figura 35 – Esquematização dos procedimentos de medição na realização do ensaio de desempenho acústico de vedações verticais internas.

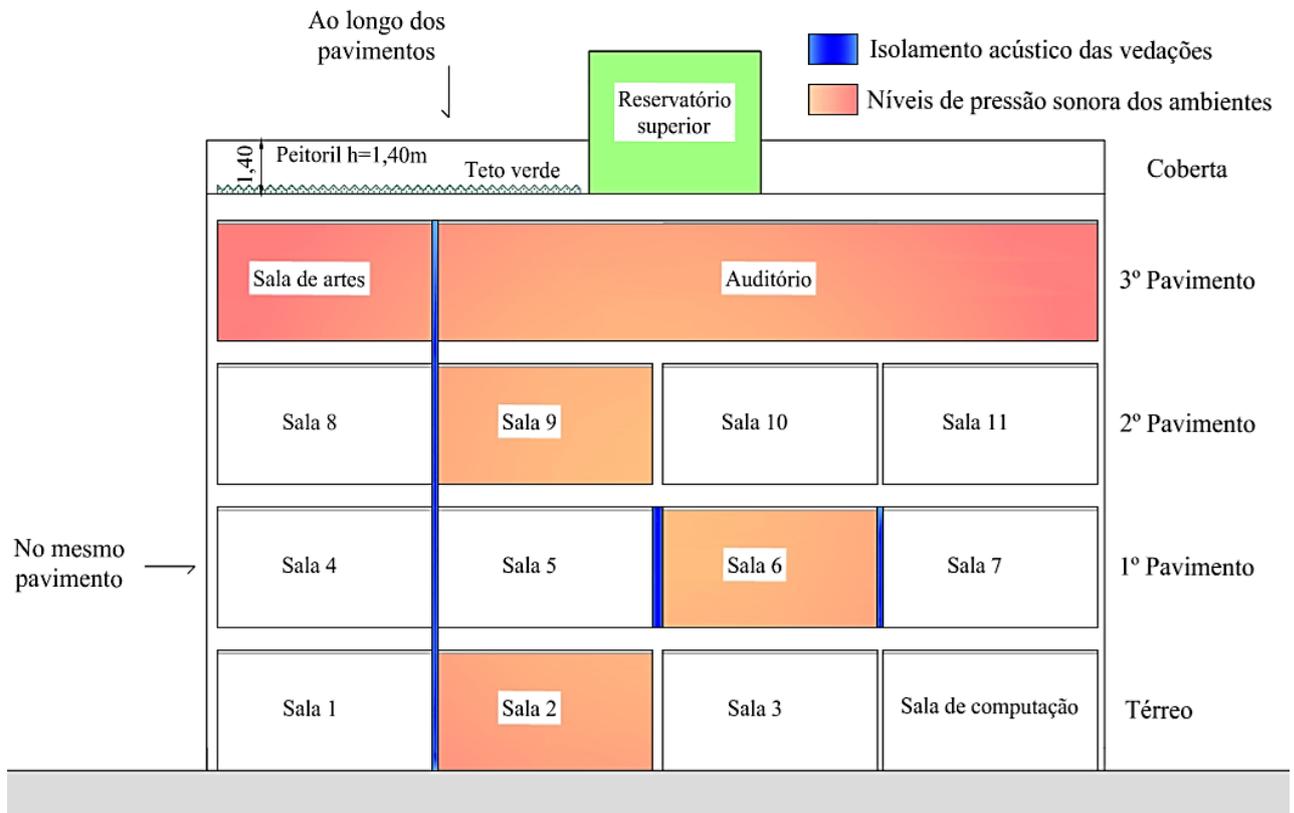


Fonte: Souza (2018).

É importante destacar também que o software dBati exige uma diferença mínima de 6 dB entre o ruído de fundo e o ruído de recepção para cada leitura, referente à exigência normativa. Quando esta diferença não é alcançada, não é possível compilar os dados e gerar os resultados. Os sistemas de vedações verticais internas (SVVI) selecionados para análise de desempenho são comuns a alguns ambientes previamente selecionados para conforto, no intuito de observar o grau de influência da capacidade de isolamento presente nas superfícies das mesmas, no conforto acústico obtido, de forma comparativa,

A Figura 36 evidencia os SVVI escolhidos bem como os ambientes de medição de conforto acústico. O SVVI entre as sala 5 e 6 possui espessura maior (24 cm) que as demais vedações internas (12 cm), pois entre eles passam os dutos de tubulação de ar condicionados. Maiores especificações a respeito da composição destas vedações, bem como dos materiais utilizados nelas, foram melhor explanados no capítulo 3.

Figura 36 – Corte esquemático evidenciando os elementos e ambientes internos ensaiados acusticamente no módulo 1.



Fonte: Autora.

Vale salientar que, no momento de aplicação dos questionários referente ao nível de satisfação dos usuários (melhor explicado no item 4.2), foi possível observar – principalmente por parte dos professores - queixas quanto ao isolamento das salas de aula, quando expostas a fontes externas (atividades de recreação nos corredores, por exemplo). Devido a isto, foi acrescentada, na investigação de campo da edificação em estudo, a verificação da capacidade de isolamento da SVVI entre a sala 2 e o corredor. Sendo assim, a delimitação da amostra com relação ao ensaio de desempenho acústico ficou determinada como descrito no Quadro 8.

Quadro 8 – Delimitação da amostra de ensaio de desempenho acústico.

Tipo de sistema	Localização dos elementos
SVVI	Sala 2/Sala 1
	Sala 5/Sala 4
	Sala 6/Sala 5
	Sala 7/Sala 6
	Sala 9/Sala 8
	Auditório/Sala de artes
	Corredor/Sala 2

Fonte: Autora.

4.4 Medições térmicas

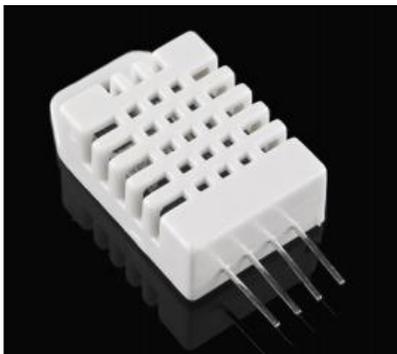
As medições térmicas contemplaram diversos procedimentos para medição de temperatura e umidade relativa do ar, bem como de temperatura das superfícies, contemplando verificação de calibração de sensores, instalação e operação de aparelhos de medição, o que possibilitou uma investigação inicial do ponto de vista térmico sobre ambientes com e sem influência de teto verde, para a posterior comparação com os valores de referência indicados na NBR 15575 (ABNT, 2013).

4.4.1 Temperatura e umidade relativa do ar

As medições de térmicas dos ambientes foram realizadas com a utilização de aparelhos de dois canais que registram dados de temperatura e umidade relativa do ar (Temp + UR), por meio de sensores que medem e enviam os dados coletados para uma plataforma online criada para acesso exclusivo da pesquisadora.

O sensor de temperatura e umidade de modelo AM2302 (Foto 14), utilizado na pesquisa, está contido internamente no produto final (Foto 15), e sua calibração foi verificada com o auxílio de aparelho semelhante (termo-higromêtro). Algumas especificações técnicas do sensor podem ser visualizadas na Tabela 18 e com maior riqueza de detalhes no Anexo C, que corresponde ao manual completo do sensor AM2302 e contém, dentre outras informações, as curvas de erro e o tempo de resposta das medições.

Foto 14 – Sensor de temperatura e umidade relativa do ar utilizado na pesquisa, contido internamente no aparelho de medição.



Fonte: Aosong (2017).

Tabela 18 – Especificações técnicas do sensor de temperatura e umidade.

Especificações técnicas	
Modelo	AM2302
Amplitude da leitura de temperatura	-40°C até 125°C
Alcance da leitura de umidade relativa	0% até 100%
Acurácia da temperatura	± 1°C
Acurácia da umidade	± 5%
Resolução da temperatura	0,1°C
Resolução da umidade	0,1%

Fonte: Aosong (2017).

4.4.1.1 Confeção da plataforma de armazenamento dos dados e verificação da calibração do sensor

Os aparelhos de medição utilizados foram montados e programados, por empresa do ramo de prestação de serviços da região, de acordo com as necessidades específicas da pesquisa, tais como: proteção contra impactos, frequência de envio de dados coletados em curto intervalo de tempo, monitoramento por longo período, prevenção contra riscos de incêndio, dentre outros.

Pode-se destacar que o aparelho de medição final é compacto, sendo composto por: uma caixa plástica para proteção e de dimensões: 58mm de largura, 23mm de altura e 68mm de comprimento, uma placa de controle e comunicação wifi e, um sensor de temperatura e umidade, conectados por fios de cobre.

O seu funcionamento ocorre a partir da alimentação do sensor pelos fios amarelo e azul (Foto 15), alimentação de apenas 5 Volts em tensão contínua. Já o fio verde tem a função de manter

a comunicação do sensor com a placa de controle, por onde são enviadas as informações de temperatura e umidade coletados.

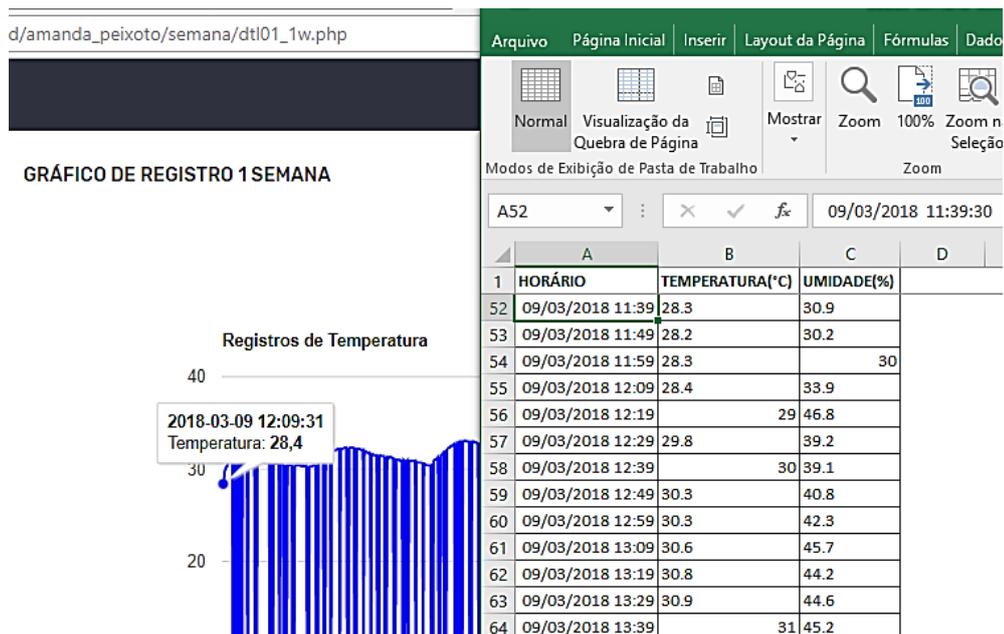
Foto 15 – Aparelho de medição montado para a pesquisa, contendo caixa plástica, sensor de dois canais e placa de controle conectados por fios.



Fonte: Autora.

A placa de controle precisa estar conectada à rede wifi, pois a partir da conexão com a internet é possível enviar para o banco de dados online as informações de temperatura e umidade. Uma vez estabelecida a conexão, a cada 10 minutos o sensor envia para a placa de controle o sinal de informação com os dados coletados do ambiente. Ao receber esse sinal, os resultados são enviados para o banco de dados online do servidor. Em seguida, a página de monitoramento online separa as informações recebidas e cria gráficos do exato instante de medição que podem ser armazenados no computador na forma de planilha (Figura 37).

Figura 37 – Demonstração dos gráficos e planilhas de monitoramento gerados.

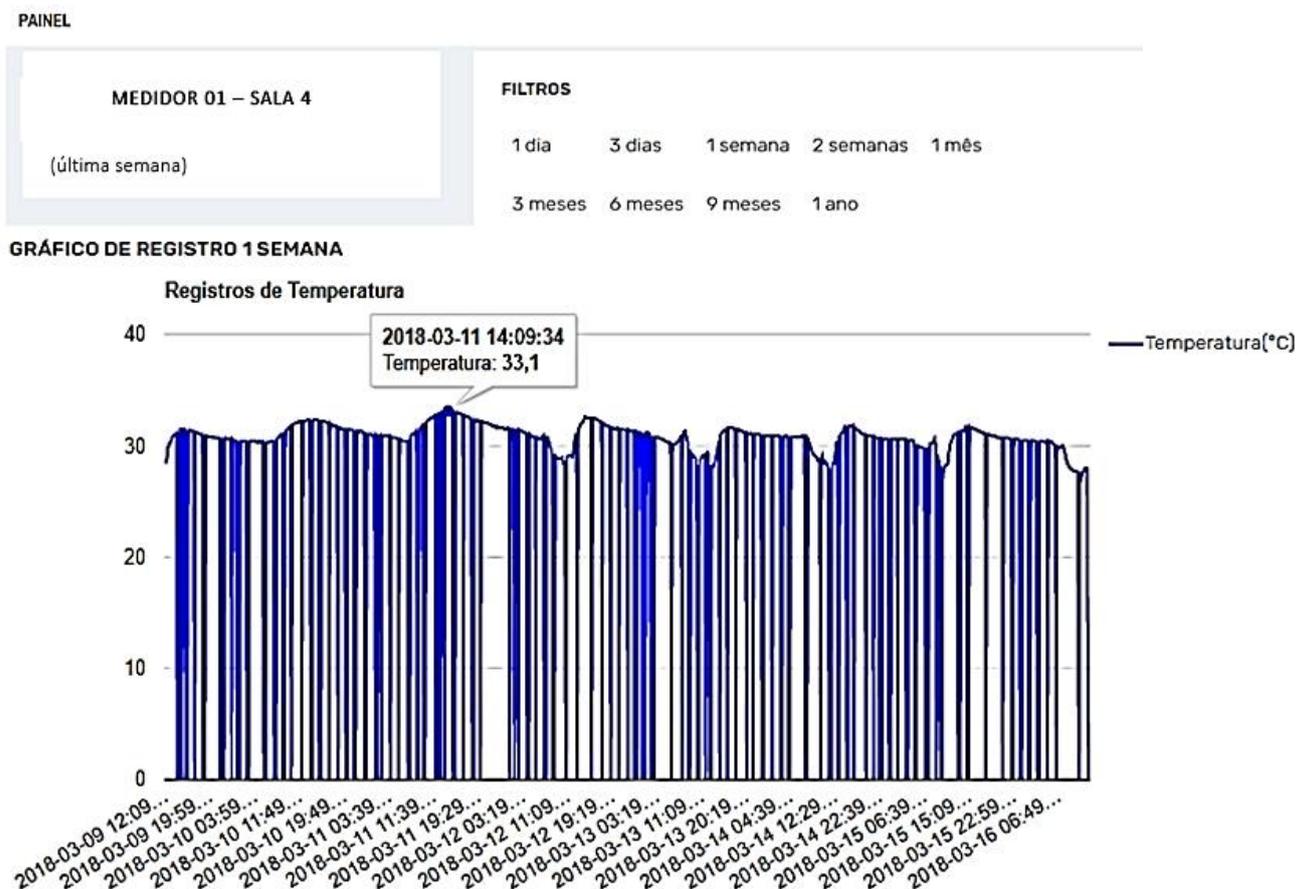


Fonte: Autora.

As visualizações nos gráficos e tabelas podem ser acumulativas de acordo com os filtros escolhidos, podendo acessar, até um ano atrás, os dados acumulados do mesmo ambiente, conforme demonstrado na Figura 38.

A capacidade de armazenamento do módulo está relacionada à capacidade de armazenamento do servidor online de banco de dados já que nenhuma informação é gravada diretamente nos aparelhos. Sendo assim, a capacidade atual do sistema é de 50 GB. Como o equipamento envia informações que necessitam de pequeno espaço de armazenamento, o sistema online consegue suportar alguns anos de dados.

Figura 38 – Demonstração do gráfico de temperatura da sala 4 gerado até a última semana de dados acumulados.



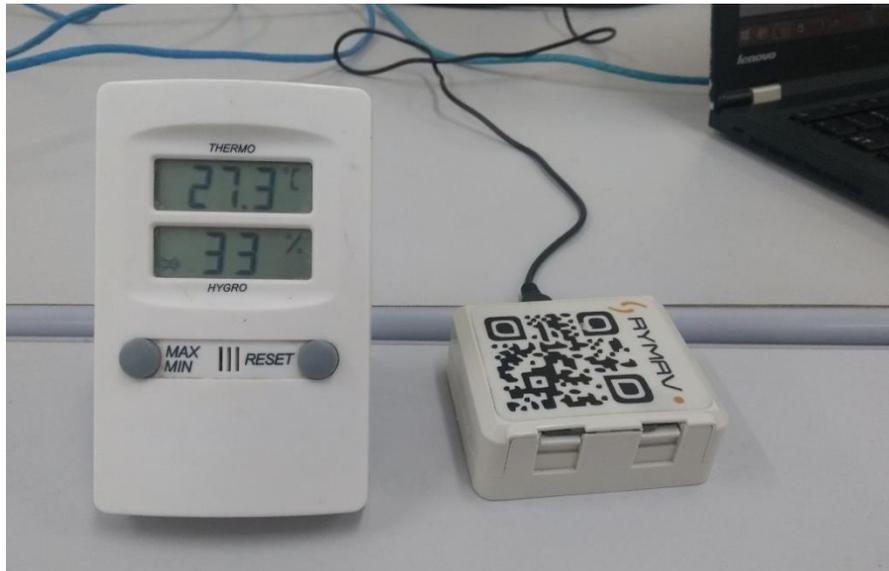
Fonte: Autora.

Com relação à transmissão de dados, a mesma está relacionada à velocidade da internet. A frequência de trabalho dos sensores é de 2,4 gigahertz, que é a mesma frequência das redes wifi. E a linguagem de programação utilizada para programar a placa de controle foi a C++. Para o

sistema online de monitoramento foram utilizadas as linguagens HTML, CSS, PHP e Javascript.

Após a fabricação, houve a necessidade de se verificar a calibração dos aparelhos confeccionados, que foi realizada no dia 20 de dezembro de 2017 (Foto 16). Para a verificação, foi utilizado o termo-higrômetro digital pertencente ao Laboratório Avançado de Construção Civil (LACC) da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco e que possui acurácias de temperatura e umidade de 1°C e 5% respectivamente (idênticas a do sensor AM2302). As verificações foram feitas a cada minuto e o erro observado estava dentro da precisão especificada pelos fabricantes. É possível visualizar a verificação completa no Apêndice C.

Foto 16 – Verificação da calibração dos sensores com o uso de termo-higrômetro.



Fonte: Autora.

4.4.1.2 Delimitação da amostra

Os ambientes selecionados para a verificação da temperatura e umidade relativa do ar da edificação escolar podem ser visualizados na Tabela 19. Eles foram escolhidos devido aos diferentes elementos sustentáveis utilizados na sua construção, tais como: isoeste, termobrise, teto verde, forro mineral, telha termoacústica, dentre outros.

Tabela 19 – Indicação dos ambientes de instalação dos equipamentos de medição da temperatura e umidade relativa do ar.

Sensor	Tipo	Quantidade	Ambiente	Localização	Altura (m)
1	Temp + UR	1	Sala 4	Primeiro pavimento	1,5
2	Temp + UR	1	Sala de artes	Terceiro pavimento	1,5
3	Temp + UR	1	Externo	Térreo	1,5

Fonte: Autora.

4.4.1.3 Instalação e procedimento

A instalação de todos os aparelhos de medição se deu no dia 17 de janeiro de 2018, das 10h16min às 12h. Cada ambiente escolhido dotava de um aparelho e estava protegido da radiação solar direta - conforme indicado na NBR 15575 (ABNT, 2013) – principalmente no caso do sensor 3 (externo) que deveria estar a sombra. Vale destacar ainda que a instalação dos sensores levou em consideração as recomendações descritas em Gemelli (2009), que indica uma altura de medição de 1,2m a 1,5m do piso como ideal, na busca por dados mais precisos de temperatura em altura considerada de ocupação, conforme observado na Foto 17.

Foto 17 – Instalação dos equipamentos na altura de 1,5m do piso como recomendado.



Fonte: Autora.

As leituras realizadas pelos sensores foram programadas para ocorrerem a cada 10 minutos. O intervalo diário determinado para a verificação foi das 8h às 18h, pois correspondia ao funcionamento efetivo da edificação no quesito aulas.

O monitoramento se deu sem os usuários na condição de janelas e portas fechadas inicialmente, na semana seguinte os ambientes internos foram observados com janelas e portas abertas – cinco dias de monitoramento para cada condição e de acordo com as disponibilidades de uso da edificação. Em seguida, houve a coleta de dados por cinco dias no início do mês de março com os usuários (alunos e professores) nos ambientes internos e externo avaliados, sem ar condicionados, com janelas e portas abertas na sala de artes e na sala 4 (Tabela 20).

Tabela 20 – Períodos de medições de conforto térmico realizadas na edificação em estudo.

Ambiente	Atividade	Condição	Intervalo de leitura (min)	Data de medição
Sala 4	Sem atividades	Janelas e portas abertas	10	22 a 26/01/2018
	Sem atividades	Janelas e portas fechadas	10	27 a 31/01/2018
	Atividades normais	Janela e portas abertas com alunos	10	26/02 a 02/03/2018
Sala de artes	Sem atividades	Janelas e portas abertas	10	22 a 26/01/2018
	Sem atividades	Janelas e portas fechadas	10	27 a 31/01/2018
	Atividades normais	Janela e portas abertas, com alunos	10	26/02 a 02/03/2018
Externo	Sem atividades	-	10	22/01 a 31/01/2018
	Atividades normais	-	10	26/02 a 02/03/2018

Fonte: Autora.

Importante destacar que, em virtude da disponibilidade descontínua da edificação em estudo (período de férias e ausência de funcionários para manter os ambientes abertos após certos horários), o período de monitoramento para cada condição ficou restringido diariamente das 8 às 18 hrs também em janeiro e os dias de coleta de janeiro a março não foram consecutivos, como exposto a Tabela 19.

Evidencia-se também que, devido ao fato da coleta de dados depender da conexão wifi, quando havia uma interrupção na rede no momento da leitura, a mesma não tinha como ser efetuada. Resultando em quantitativos totais um pouco diferentes por ambiente, subordinados à eficiência do sinal de transmissão. Totalizando, 745 leituras para o ambiente externo, 754 leituras para a sala 4 e 780 leituras para a sala de artes.

4.4.2 *Temperatura das superfícies*

A radiação solar é responsável por uma parcela significativa da carga térmica nos edifícios. A insolação direta ou difusa, ao ser absorvida pelas superfícies do envelope das edificações (fachadas e cobertas) origina um armazenamento de calor que, por convecção e condução, pode aquecer e causar o desconforto dos usuários no interior das edificações, contribuindo para o aumento no consumo energético a partir do aumento da necessidade de condicionamento artificial nos ambientes internos.

Medições de temperatura das superfícies internas representam a capacidade dos materiais dos sistemas construtivos de transmitir calor do ambiente externo para o interno e a sua ineficiência em promover o isolamento térmico.

Deste modo, foram estabelecidas medições de temperatura das superfícies do forro da sala de artes e do auditório da edificação em estudo por meio de câmera termográfica de modelo FLIR E-60, como demonstrada na Foto 18.

De acordo com Viégas (2015), a câmera termográfica utilizada capta os raios infravermelhos, utiliza os dados de entrada e apresenta como resposta a temperatura superficial do objeto analisado. A faixa de temperatura, na qual o equipamento opera varia entre -20°C e 650°C e a resolução espacial é de 1,36 mrad. A lente utilizada foi a de 25 graus.

Foto 18 – Câmera termográfica por infravermelhos.



Fonte: Viégas (2015).

O aparelho é capaz de gerar imagens e termogramas, que apresentam as temperaturas superficiais por meio de cores. Além de possuir lâmpada de LED, utilizada para iluminar ambientes escuros, e ponteiro laser, que permite a localização exata do campo de medição (VIÉGAS, 2015). Outras características são apresentadas na Tabela 21.

Tabela 21 – Algumas características adicionais do equipamento utilizado.

Especificações	
Modelo	FLIR E60
Resolução IR	320 x 240 pixels
Sensibilidade Térmica	< 0,05°C
Precisão	± 2°C ou ± 2% de leitura
Câmera de vídeo sem iluminação	3,1MP
Peso	0,825kg

Fonte: Adaptado de Flir (2014).

A fim de melhor analisar os termogramas, utilizou-se o software Flir Tools, o qual possibilita variações da paleta de cores, bem como a inclusão ou a exclusão de pontos de medição para verificação de diferenças de temperatura em locais específicos da superfície (FLIR, 2014).

Os ambientes selecionados (sala de artes e auditório) para estabelecer as medições foram, particularmente, escolhidos devido à localização privilegiada (último pavimento da edificação), do ponto de vista térmico, e pela implementação do teto verde.

A técnica utilizada para medir a temperatura de superfície foi a passiva, que consiste em aferir objetos que contêm energia térmica própria ou são estimulados a armazenar energia por uma fonte natural de calor (energia solar), devendo existir uma diferença natural de temperatura entre o objeto sob estudo e o meio onde ele está inserido (VIÉGAS, 2015).

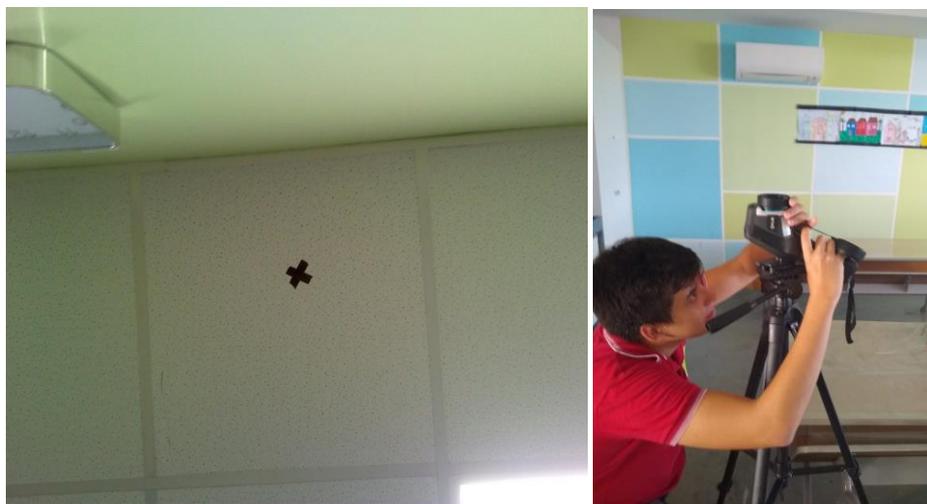
A abordagem passiva é comumente qualitativa, como a análise da presença de alguma patologia ou pontos de frio ou calor que necessitam de laudos imediatos - este último se enquadra na objetividade desta pesquisa. Não houve a necessidade de uma análise quantitativa na pesquisa, que são frequentemente utilizadas em inspeções (CASTANEDO, TARPANI, MALDAGUE, 2013).

As medições se deram no período da tarde entre 13h23min e 13h30min do dia 4 de dezembro de 2018. O dia estava ensolarado e sem precipitações, a condição dos ambientes no momento

do ensaio era de janelas e portas fechadas para melhor visualização das imagens. Porém, antes de efetuar a medição foi promovida a renovação do ar nos ambientes (janelas e portas abertas) a fim de garantir diferenças de temperatura entre o meio e as superfícies, para só então possibilitar as medições sobre os forros. Importante destacar também que para se efetuar a medição é necessário inserir o valor de emissividade do objeto, a temperatura do ambiente, a umidade relativa do ar e a distância até o objeto. Sendo assim, a temperatura e a umidade relativa do ar também foram aferidas no momento do ensaio, com o auxílio do mesmo termohigrômetro utilizado na verificação da calibração dos sensores mencionados no tópico 4.3.1.

A emissividade dos meios foi determinada experimentalmente em campo com o auxílio de fita isolante na cor preta, conforme Foto 19. O método utilizado consiste em colocar sobre a superfície a ser analisada, uma fita de emissividade padrão conhecida e igual a 1. A temperatura da fita foi então medida pela termocâmera, de acordo com o seu respectivo valor de emissividade padrão, para descobrir a emissividade do forro avaliado, correspondendo a outro ponto (sem fita). A emissividade introduzida no equipamento foi alterada até que a temperatura da superfície do objeto, sem fita, registrasse a mesma temperatura observada anteriormente (VIÉGAS, 2015). O aparelho estava a 90° do objeto (forro) investigado, conforme recomendado pelo Manual da Flir (2014), sendo possível garantir, com o auxílio de um tripé, a mesma distância até o forro (1,43 m) e a mesma angulação ao longo de todas as medições.

Foto 19 – Ensaio de termografiasendo executado em campo. a - Emissividade determinada através de fita isolante; b – Operador se apoiando em tripé para efetuar a medição.

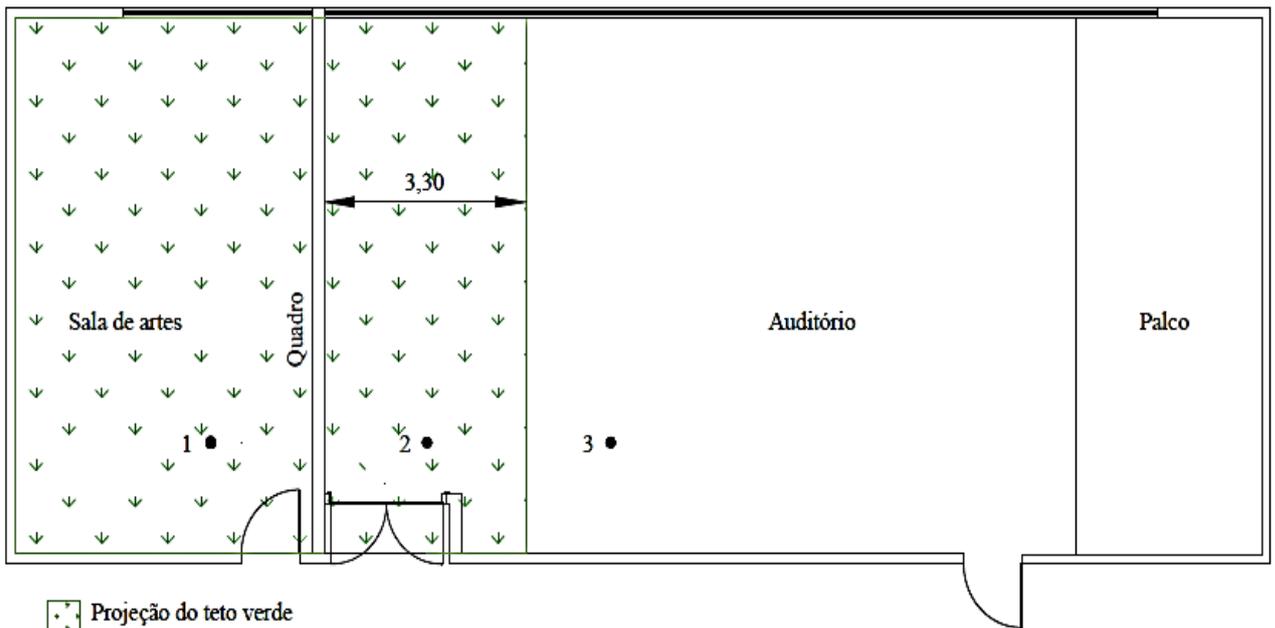


a)

b)

Na sala de artes foi verificada uma região no forro mineral. Já no auditório foram verificadas duas regiões distintas, são elas: a região imediatamente abaixo do teto verde e a região além da cobertura naturada para efeitos de comparação, representadas pelos pontos 2 e 3 centrais a cada região, separados de 3 metros entre si (Figura 39).

Figura 39 - Localização dos pontos de medição de com a câmera termográfica no forro da sala de artes e do auditório.



Fonte: Autora.

Para a execução deste experimento, também foi elaborada uma ficha de ensaio (Apêndice D), contendo, dentre outras especificações, a superfície analisada; o ambiente em que se encontrava a superfície; os horários de início e fim do ensaio; a emissividade; a temperatura máxima, mínima e média alcançadas da região delimitada pelo próprio operador sobre a superfície (dados estes fornecidos pelo software Flir); a numeração do ponto escolhido sobre a superfície e a respectiva temperatura.

A projeção dos pontos na cobertura da edificação sofreram influência da sombra criada pelo reservatório, de acordo com a posição do Sol ao longo das horas do dia. Porém, no momento de medição, não havia sombra nos locais da cobertura de projeção dos pontos de medição interna da superfície do forro, conforme observado na Foto 20.

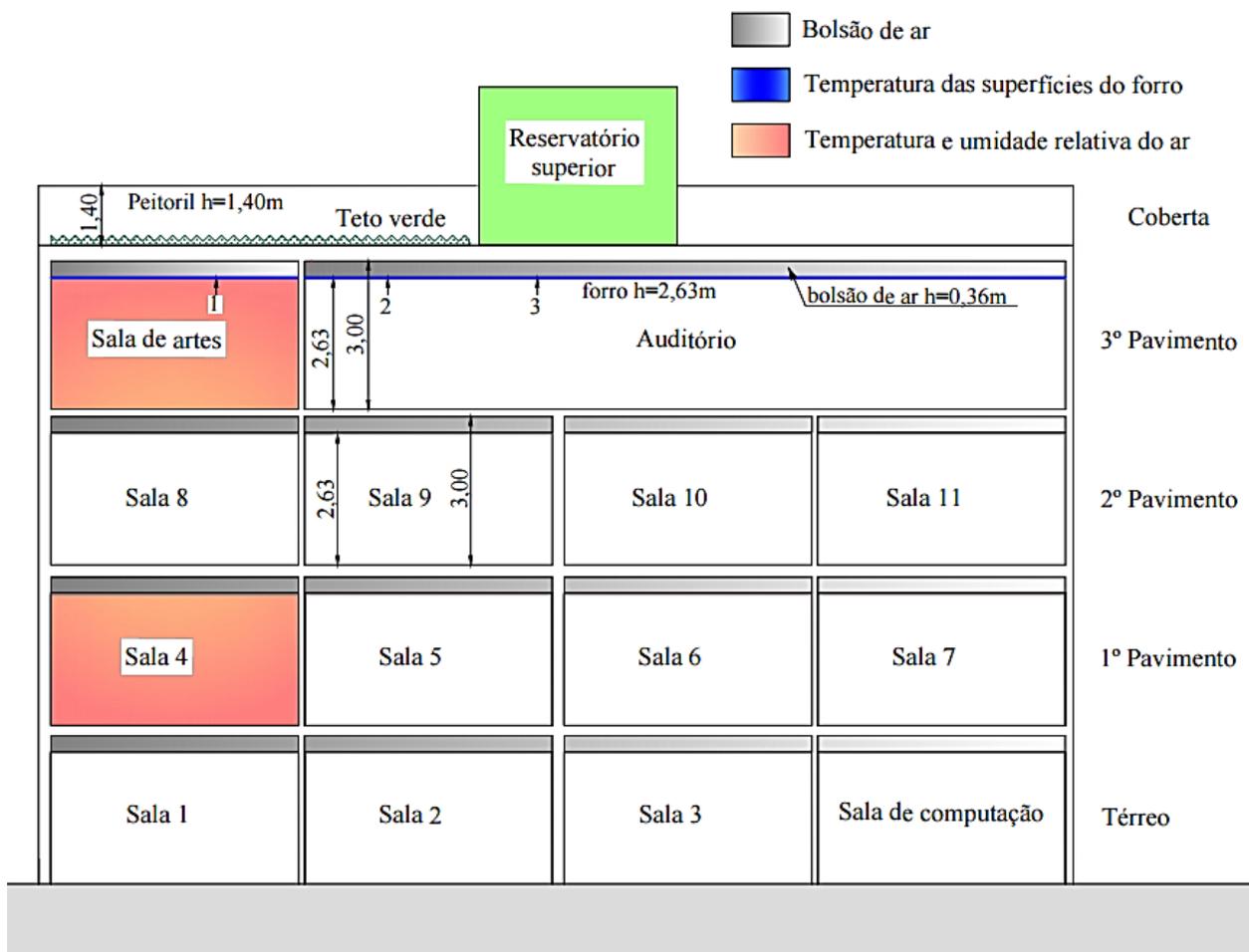
Foto 20 – Coberta da edificação no dia de ensaio com a câmera termográfica. a – sombra gerada pelo reservatório em destaque; b – projeção dos pontos de medição.



Fonte: Autora.

De modo semelhante ao efetuado com as amostras de medição acústica, a Figura 40 evidencia os ambientes e componentes ensaiados termicamente no módulo 1 da edificação estudada. O forro mineral avaliado apenas no último pavimento, está demonstrado em azul na referida figura, bem como as regiões medidas com o auxílio da câmera termográfica representadas pelos pontos 1, 2 e 3. Além dos ambientes de medição de temperatura e umidade relativa do ar mencionados anteriormente. Maiores especificações a respeito da composição dos materiais utilizados na envelope dos ambientes investigados foram melhor explorados no Capítulo 3.

Figura 40 – Corte esquemático evidenciando os elementos e ambientes internos ensaiados termicamente no módulo 1.



Fonte: Autora.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

São apresentados e discutidos os resultados referentes ao conforto e desempenho acústico e térmico bem como as avaliações dos níveis de satisfação dos usuários do estudo de caso.

5.1 Níveis de satisfação dos usuários quanto ao conforto ambiental proporcionado pela edificação escolar

Neste item foram abordados os resultados obtidos a partir da aplicação dos questionários sobre os dois grupos focais: professores e alunos, com o intuito de apurar os níveis de satisfação dos usuários, no âmbito do conforto ambiental. Os resultados coletados nas medições térmicas foram associados aos níveis de satisfação observados para verificar se há necessidade de se efetuarem reformas na edificação, em caso de insatisfação destes usuários. Levando a abordagem para além dos indicadores climáticos impostos nas normativas e literatura nacional e internacional.

5.1.1 Alunos

Neste item, os resultados obtidos com base numa amostra de 44 alunos (13% do universo de alunos da edificação) são demonstrados nas Tabelas 22 a 26.

Tabela 22 – Questionamentos a respeito das dimensões do espaço dos ambientes de convívio pelos alunos.

Questionamento	Respostas (%)				
	Muito pequeno	Pequeno	Normal	Grande	Muito grande
O que você acha sobre o tamanho:					
Da escola?	4,5	0,0	34,1	20,5	40,9
Da quadra esportiva?	2,3	4,5	22,7	52,3	18,2
Dos corredores?	2,3	29,5	54,5	13,6	0,0
Do auditório?	4,5	18,2	31,8	38,6	6,8
Da sala de artes?	4,5	25,0	56,8	13,6	0,0
Do pátio de recreação?	9,1	9,1	15,9	38,6	27,3

Cor lilás ou cor rosa – insatisfação; cor azul – satisfação.

Fonte: Autora.

Tabela 23 – Questionamentos quanto à sensação de bem-estar trazida pela edificação escolar.

Questionamento	Respostas (%)	
	Sim	Não
Você sente falta de espaço para alguma atividade na escola?	40,9	59,1
Você gosta de estar na escola?	86,4	13,6

Fonte: Autora.

Tabela 24 – Questionamentos quanto à percepção acústica dos ambientes por parte dos alunos.

Questionamento	Respostas (%)		
	Sem barulho	Pouco barulho	Muito barulho
O que você acha do barulho:			
Na sua sala de aula:	11,4	45,5	43,2
Na quadra:	18,2	52,3	29,5
Nos corredores:	45,5	29,5	25,0
No auditório:	54,5	34,1	11,4
Na sala de artes:	18,2	59,1	22,7
No pátio de recreação:	6,8	13,6	79,5

Cor lilás ou cor rosa – insatisfação; cor azul – satisfação.

Fonte: Autora.

Tabela 25 – Questionamentos quanto a possíveis incômodos gerados pelo funcionamento inadequado perante a acústica na edificação.

Questionamento	Respostas (%)	
	Sim	Não
Dentro da sala de aula, você consegue escutar barulhos vindos do lado de fora?	86,4	13,6

Fonte: Autora.

Tabela 26 – Questionamentos quanto à percepção térmica por parte dos alunos da edificação.

Questionamento	Respostas (%)				
	Fria	Fresquinha	Normal	Quente	Muito quente
O que você acha sobre a temperatura:					
Na sua sala de aula com ar condicionado?	45,5	29,5	25,0	0,0	0,0
Na quadra?	0,0	25,0	13,6	40,9	20,5
Nos corredores?	2,3	25,0	45,5	20,5	6,8
No auditório com ar condicionado?	36,4	45,5	18,2	0,0	0,0
Na sala de artes com ar condicionado:	22,7	38,6	38,6	0,0	0,0
No pátio de recreação:	0,0	6,8	22,7	52,3	18,2

Cor lilás ou cor rosa – insatisfação; cor azul – satisfação.

Fonte: Autora.

As respostas foram coloridas de acordo o nível de satisfação dos usuários, conforme efetuado em Freitas, Azerêdo e Freitas (2017). Sendo assim, o nível correspondente à cor azul engloba o percentual de respondentes que estavam satisfeitos com o local, tanto do ponto de vista do

tamanho como da percepção térmica ou do barulho observado. Já as cores lilás ou rosa simbolizam pessoas insatisfeitas perante os mesmos questionamentos.

Diante dos resultados obtidos, observa-se que um percentual significativo (40,9%) dos estudantes caracterizou a escola, em geral, como muito grande; a quadra esportiva como grande (52,3%); os corredores como normal; o auditório como grande (38,6%); a sala de artes como normal (56,8%); e o pátio de recreação como grande (38,6%), conforme exposto na Tabela 22.

No que diz respeito à falta de espaço para alguma atividade, foi perceptível que as respostas ficaram bem equilibradas. Em contrapartida, uma parcela expressiva dos respondentes (86,4%) afirmou que sim, gosta de estar no ambiente escolar – o que demonstra a capacidade da instituição de ensino em questão de despertar uma sensação de bem-estar na maioria dos alunos (Tabela 23).

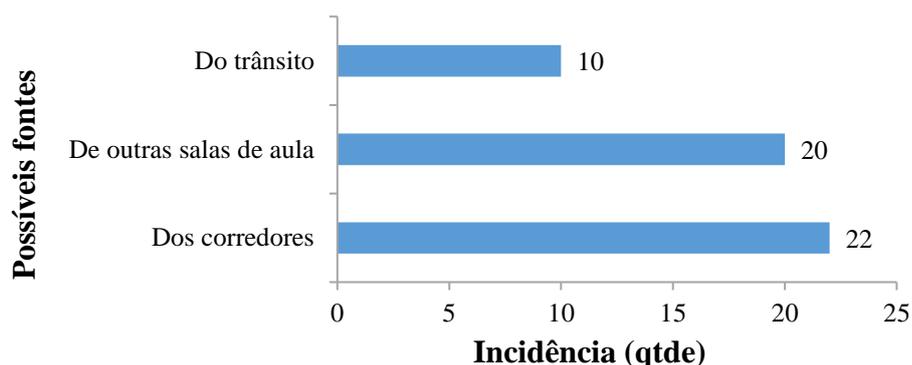
Com relação aos possíveis incômodos gerados por ruídos, parcelas significativas dos alunos classificaram as suas salas de aula como ambientes de pouco (45,5%) a muito barulho (43,2%). Outro percentual expressivo ocorreu no pátio de recreação, com 79,5% dos estudantes considerando-o como um local muito barulhento, como observado na Tabela 24, porém este é um comportamento previsto para um ambiente de lazer e brincadeiras, bem como o tempo de permanência não é prolongado (cerca de 20 minutos durante o recreio).

Sem deixar de mencionar, que o auditório demarcou 54,5% das respostas voltadas para a afirmativa “sem barulho” (Tabela 25), fato que não necessariamente indica algo ideal, pois pode estar mascarando uma dificuldade na compreensão da palavra falada. Uma vez que, a maior dimensão do auditório contém aproximadamente 15 m, estando a distância entre a fonte (professor) e a última fileira de alunos muito próxima da distância limite para atendimento ao critério excelente de inteligibilidade da fala (Figura 9 do Capítulo 2) (SOUZA, BRAGANÇA, ALMEIDA, 2016).

Em continuidade à temática sobre dificuldades relacionadas à inteligibilidade da fala, em se tratando dos ruídos externos, 86,4% dos respondentes afirmaram que conseguem escutar barulhos vindos do lado de fora das suas salas de aula – evidenciando a problemática quanto ao isolamento, comprovada pelos resultados inadequados de desempenho acústico.

Uma vez afirmado que se percebiam barulhos vindos do lado de fora das salas de aula, o intuito seria descobrir quais vedações estavam representando a maior fragilidade do sistema. Diante disso, a Figura 41 demonstra a incidência das respostas quanto às possíveis fontes de ruído (do trânsito, de outras salas de aula ou dos corredores).

Figura 41 – Incidência das respostas quanto as possíveis fontes de barulhos externos às salas de aula.



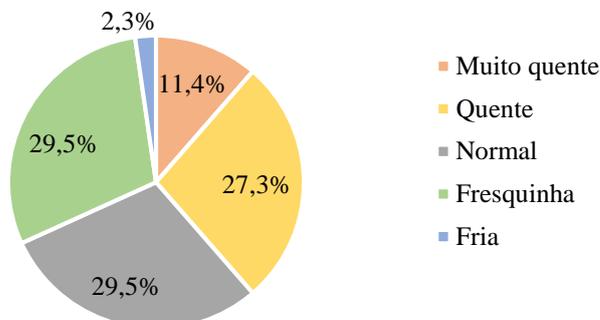
Fonte: Autora.

Sendo assim, na Figura 41 se destaca que metade dos alunos acreditam ouvir barulhos vindos dos corredores para dentro da sala de aula, e 45,4% escutam sons oriundos das outras salas de aula. Motivo pelo qual, os ensaios de desempenho acústico se delimitaram às vedações internas entre salas de aula ao longo da edificação e entre sala e corredor no térreo. Em contrapartida, apenas 22% dos alunos respondentes se queixaram quanto aos ruídos advindos do trânsito, o que reflete a eficiência dos elementos de fachada.

Além dos incômodos apurados quanto à acústica, tem-se os percentuais coletados sobre os níveis de satisfação quanto ao conforto térmico dos alunos, conforme indicado na Tabela 26. Destaca-se que a sala de aula com o ar condicionado ligado é considerada fria, pela maioria dos alunos (45,5%). Este questionamento foi essencial para a completa análise das condições atuais observadas, na medida em que apesar dos projetistas buscarem as melhores condições climáticas segundo o posicionamento e a orientação mais favoráveis aos ambientes da edificação, o conforto não foi atingido, sendo necessário o uso de ar condicionados e além disso, foi apurado que alguns professores requisitam, ao sistema de automação, a fixação do termostato em 17°C nas salas de aula. O que tem provocado sensação de desconforto por frio para os alunos – porém é um cenário ajustável e por isto o questionamento se faz importante.

Dando continuidade às perguntas voltadas para as percepções térmicas, tem-se a verificação do nível de satisfação dos alunos durante os dias de realização dos ensaios de conforto térmico na sala 4, com ventilação natural (Figura 42).

Figura 42 - Percepção térmica da sala 4 pelos alunos na semana do experimento.

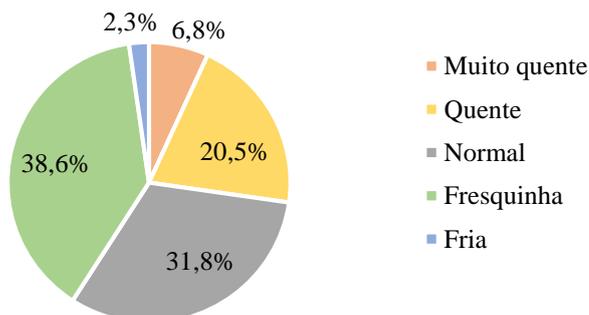


Fonte: Autora.

Constatou-se que 59% dos respondentes consideraram a sala 4 como normal ou fresquinha na semana do experimento (Figura 42), representando um percentual de conforto expressivo. No entanto, apesar de a maioria dos estudantes terem classificado positivamente a sala, de acordo com o critério LEED baseado nas premissas descritas na ASHRAE 55 (2017), de que pelo menos 80% dos usuários da amostra devem estar satisfeitos com o local, a edificação, de modo geral, ao não atender a este requisito, demanda reformas de modo a melhorar o conforto térmico do ambiente avaliado.

De mesmo modo, também foi verificada a percepção térmica dos alunos quanto às condições ambientais da sala de artes com ventilação natural na semana do experimento, como demonstrado na Figura 43.

Figura 43 – Percepção térmica da sala de artes pelos alunos na semana do experimento.



Fonte: Autora.

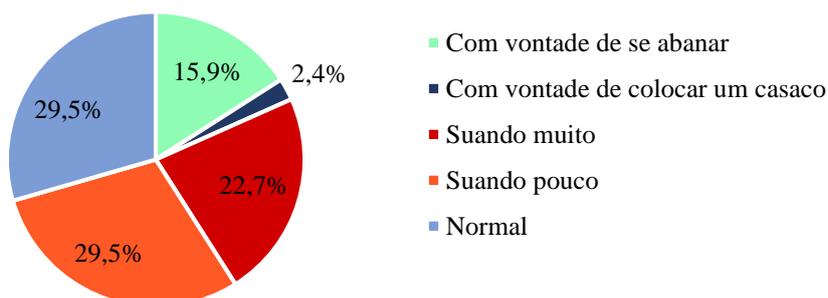
Observa-se um percentual ainda maior de satisfação quanto ao ambiente se comparado à sala 4, com 70,4% dos estudantes avaliando a sala de artes como normal ou fresquinha (Figura 43). Esse fato demonstra que o ambiente em questão, para a maioria dos alunos, não oferecia desconforto térmico.

Com uma distribuição percentual considerável perante todas as opções de percepção térmica disponíveis, evidencia-se a natureza subjetiva do experimento cujas respostas variam de acordo com o peso, idade, sexo e metabolismo de cada indivíduo. Sendo complexo avaliar também o que caracterizou essa sensação de maior conforto por parte dos usuários preferencialmente na sala de artes em relação à sala 4.

Pode-se buscar explicar a preferência, dentre outros fatores, quando se observam os valores médios constatados para as variáveis climáticas na semana do experimento. A temperatura média da sala 4 marcou 30,7°C e a umidade média relativa do ar 57,5%; já, para a sala de artes, os valores médios constatados eram de 32,4°C e 50,3%. Embora o valor médio de temperatura na sala de artes seja superior, a variação em si não é tão expressiva (1,7°C), já quando se observam os valores de umidade, a diferença é mais significativa (7,2%), o que pode ter acarretado a maior satisfação dos usuários de um ambiente em relação ao outro, pois valores menores de umidade podem garantir melhores sensações térmicas aos usuários (HAMZAH *et al.*, 2016; PACHECO *et al.*, 2013). Evidenciando-se a importância de não se avaliar o ambiente apenas com relação a temperatura - caso da norma desempenho, a NBR 15575 (ABNT, 2013) - mas em conjunto com a umidade e cruzar os dados coletados com as opiniões dos usuários.

Finalizando-se as discussões dos questionários, os dados quanto às sensações térmicas observadas durante a semana do experimento, de modo geral, estão apresentados na Figura 44.

Figura 44 – Sensação térmica dos alunos na semana do experimento de conforto térmico.



Fonte: Autora.

A maioria dos alunos (52,2%) classificou a semana do experimento em sensação de desconforto por calor, chegando a suar pouco ou muito (Figura 44).

Em seu estudo realizado em São Leopoldo-RS (clima subtropical), Arenhardt (2017) fez uso de avaliações nos modelos comparativo (ar condicionado) e adaptativo (ventilação natural), e constatou com seus resultados que os usuários demonstraram uma maior satisfação no modelo comparativo, porém o aumento da taxa de renovação do ar nas salas de aula naturalmente ventiladas, configurou-se como uma boa alternativa para melhorar a sensação térmica dos ocupantes, em local de clima quente e úmido.

De modo semelhante, Gemelli (2009) observou com sua pesquisa, também realizada na Região Sul (Viamão-RS) e de clima subtropical, que um sensor interno associado a alta incidência (58,9%) de elevada umidade relativa do ar (acima de 80%) prejudicou a condição de conforto no ambiente. Apesar de constatar, para o mesmo sensor, uma grande incidência (86,1%) de temperaturas dentro da zona de conforto estabelecida.

5.1.2 Professores

De modo semelhante à aplicação com os alunos, o questionário aplicado aos professores continha perguntas quanto a diversos aspectos do conforto ambiental vivenciado na edificação estudada (Tabelas 27 a 31). Como o quantitativo de respondentes foi bem menor, apenas 5 professores no total, as respostas se demonstraram similares, sem grandes variações.

Tabela 27 – Questionamentos para os professores quanto às dimensões de espaço dos ambientes.

Questionamento	Respostas (unidade)				
	Muito pequeno	Pequeno	Normal	Grande	Muito grande
O que você sobre o tamanho:					
Da escola?	0	0	2	3	0
Da quadra esportiva?	0	0	3	1	1
Dos corredores?	0	0	3	2	0
Do auditório?	0	3	1	1	0
Da sala de artes?	0	3	2	0	0
Do pátio de recreação?	0	4	1	0	0

Cor lilás ou cor rosa – insatisfação; cor azul – satisfação.

Fonte: Autora.

Tabela 28 – Questionamentos referentes à sensação de bem-estar trazida pela edificação.

Questionamento	Respostas (unidade)	
	Sim	Não
Você sente falta de espaço para alguma atividade na escola?	3	2
Você se sente confortável nos ambientes da escola?	5	0

Fonte: Autora.

Tabela 29 – Questionamentos quanto à percepção acústica dos ambientes por parte dos professores.

Questionamento	Respostas (unidade)		
	Sem barulho	Pouco barulho	Muito barulho
O que você acha do barulho:			
Na sua sala de aula?	0	3	2
Na quadra?	1	4	0
Nos corredores?	2	3	0
No auditório?	2	2	1
Na sala de artes?	2	2	1
No pátio de recreação?	1	0	4

Cor lilás ou cor rosa – insatisfação; cor azul – satisfação.

Fonte: Autora.

Tabela 30 – Questionamentos quanto a possíveis incômodos gerados pelo funcionamento inadequado perante a acústica da edificação.

Questionamento	Respostas (unidade)	
	Sim	Não
Dentro da sala de aula, você consegue escutar barulhos vindos do lado de fora?	5	0

Fonte: Autora.

Tabela 31 – Questionamentos quanto à percepção térmica dos ambientes por parte dos professores.

Questionamento	Respostas (unidade)				
	Fria	Fresquinha	Normal	Quente	Muito quente
Qual a sua percepção térmica:					
Na sua sala de aula com ar condicionado?	2	0	2	1	0
Na quadra?	0	2	2	1	0
Nos corredores?	0	1	2	2	0
No auditório com ar condicionado?	2	1	1	1	0
Na sala de artes com ar condicionado?	0	0	4	1	0
No pátio de recreação?	0	2	2	0	1

Cor lilás ou cor rosa – insatisfação; cor azul – satisfação.

Fonte: Autora.

Sobre as dimensões do espaço dos ambientes da escola, destaca-se a sensação de confinamento relatada pelos professores no auditório, sala de artes e pátio de recreação (Tabela 27). Quando

perguntados mais especificamente, relataram sentir falta de espaço para a realização de diferentes atividades que viabilizassem a dinâmica de sala de aula. Embora percebam falta de espaço, todos os professores afirmaram se sentirem confortáveis nos ambientes da escola (Tabela 28).

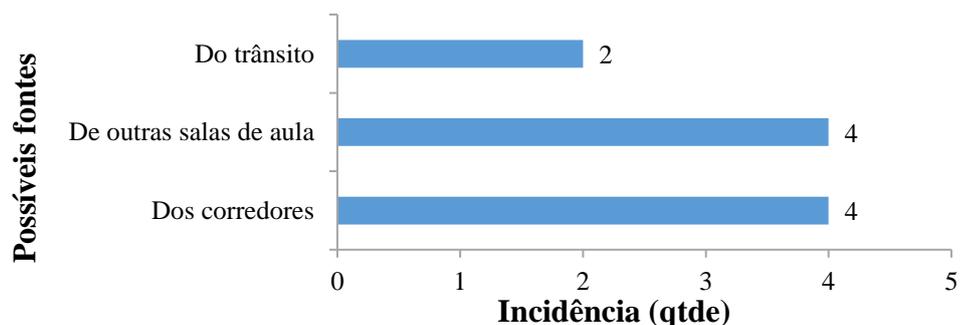
No que diz respeito à acústica, quatro dos cinco professores respondentes consideraram o pátio de recreação como muito barulhento, conforme indicado na Tabela 29. Tal observação também foi constatada pelos alunos (79,5% insatisfeitos e classificando o ambiente como um local de muito barulho).

Com relação aos possíveis incômodos gerados em decorrência da existência de ruídos de fontes externas às salas de aula, todos os professores afirmaram perceber estes barulhos (Tabela 30).

Segundo a Tabela 31, dois professores classificaram as salas de aula e o auditório como ambientes frios com o uso de ar condicionado; e quatro dos cinco consideraram a sala de artes como normal, também com o uso de ar condicionado. Isto pode transparecer um caráter regulador térmico associado ao teto verde; necessitando-se, porém de um estudo mais aprofundado quanto a questão para maiores comprovações.

De mesmo modo à abordagem realizada sobre os resultados dos alunos, a Figura 45 reflete a incidência das respostas dos professores quanto às possíveis fontes de barulho vindos do lado de fora da sala de aula. É perceptível que os professores assim como os alunos, reclamaram em sua maioria dos barulhos vindos tanto de outras salas de aula quanto dos corredores.

Figura 45 – Incidência das respostas dos professores quanto às possíveis fontes de barulho externos à sala de aula.



Fonte: Autora.

É importante mencionar também que nos questionários dos professores, houve uma parte dedicada a questões subjetivas de como alguns transtornos gerados pelo inadequado funcionamento da edificação, tanto do ponto de vista térmico quanto acústico, podem influenciar na didática e pedagogia do professor. Posto isto, tem-se as respostas coletadas nas Tabelas 32 e 33.

Tabela 32 – Questionamentos quanto a influência do inadequado funcionamento acústico da edificação para com as atividades de pedagogia dos professores.

Questionamento	Respostas (unidade)	
	Sim	Não
Você percebe diferença no comportamento/desempenho escolar dos alunos quando a sala de aula está muito barulhenta?	5	0
Você percebe diferença no seu desempenho como professor quando a sala de aula está muito barulhenta?	4	1

Fonte: Autora.

Tabela 33 – Questionamentos quanto a influência do inadequado funcionamento térmico da edificação para com as atividades de pedagogia dos professores.

Questionamento	Respostas (unidade)		
	Não	Sim, quando quente	Sim, quando fria
Você percebe diferença no comportamento/desempenho escolar dos alunos quando a sala de aula está muito quente/muito fria?	1	4	0
Você percebe diferença no seu desempenho como professor quando a sala de aula está muito quente/muito fria?	0	4	1

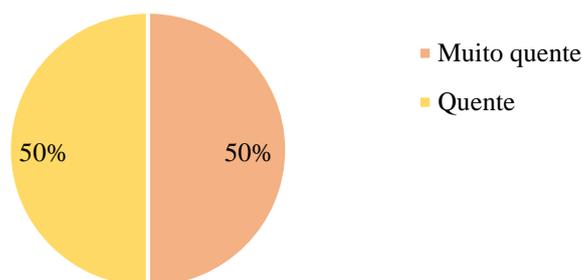
Fonte: Autora.

Observa-se que todos os professores percebem um pior desempenho escolar dos alunos quando a sala está muito barulhenta, porém um dos professores não percebe diferença quanto ao próprio desempenho, como educador, na condição prevista (Tabela 32). Isto remete o caráter subjetivo destas perguntas, pois diz respeito também ao domínio de sala de cada professor para com os alunos.

Quando o questionamento se voltava para as condições térmicas (Tabela 33), mais uma vez, um dos professores relatou não perceber diferença no seu papel como disciplinador para com o desempenho dos alunos, quando o ambiente não está tão favorável (quente ou frio) ao desenvolvimento de atividades. Em contrapartida, os quatro professores restantes julgaram a condição do ambiente quente como a pior situação para se realizarem as atividades pedagógicas.

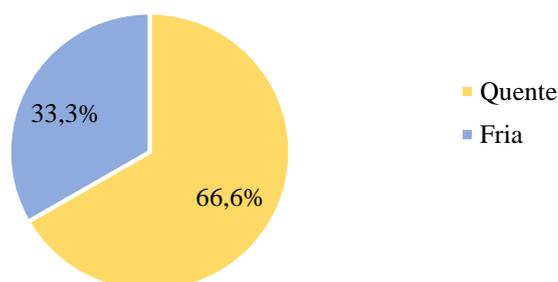
De modo semelhante, os questionários foram aplicados aos professores na semana de realização do experimento de conforto térmico e também englobaram as perguntas quanto à percepção térmica da sala 4 e de artes por parte dos mesmos (Figuras 46 e 47), assim como, a sensação térmica na edificação escolar, em geral, naquele período (Figura 48).

Figura 46 – Percepção térmica da sala 4 pelos professores na semana do experimento.



Fonte: Autora.

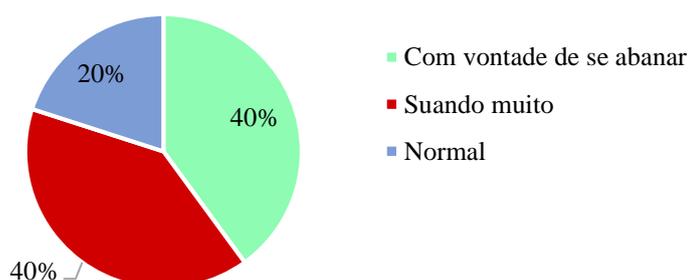
Figura 47 – Percepção térmica da sala de artes pelos professores na semana do experimento.



Fonte: Autora.

É importante destacar que estas duas últimas perguntas quanto à percepção térmica na sala de artes e na sala 4 (Figuras 46 e 47) continham a opção “não dei aula nessa sala”, que foi marcada uma vez na sala 4 (totalizando 4 respostas participativas) e duas vezes na sala de artes (totalizando 3 respostas participativas).

Figura 48 - Sensação térmica dos professores durante a semana do experimento.



Fonte: Autora.

É interessante perceber também que todos os quatro professores respondentes classificaram a sala 4 como quente ou muito quente (Figura 46), porém somente 38,7% dos alunos relataram o mesmo (Figura 42). De mesmo modo, na sala de artes, enquanto dois dos três educadores respondentes afirmaram que a mesma estava quente (Figura 47), apenas 27,3% dos alunos concordaram com a afirmação (Figura 43). E ainda dois dos cinco professores relataram estar suando muito durante toda a semana do experimento (Figura 48).

Esta informação é ainda mais refutada quando são olhadas pesquisas como a de Teli *et al.* (2012), realizada no Reino Unido (clima temperado), que afirma serem crianças (idade entre 7 e 11 anos para o referido estudo) mais sensíveis às altas temperaturas do que os adultos.

De maneira geral, os resultados observados podem ter ocorrido por dois motivos: choque cultural - a premissa de que, sem o uso de ar condicionado ou ventilação mecânica, na região Nordeste, é quase impossível atingir o conforto térmico; ou devido ao dinamismo das atividades realizadas pelos professores (leitura em pé, movimentação constante, caminhadas curtas pela sala etc) que demandavam uma maior taxa metabólica se comparadas às atividades dos alunos (sentados, lendo ou desenhando).

5.2 Medições acústicas

As análises acústicas efetuadas, tanto para avaliação do adequado funcionamento da edificação com relação ao isolamento acústico proporcionado pelas vedações, quanto ao conforto acústico entregue aos usuários durante as atividades comuns nos ambientes, são descritas a seguir.

5.2.1 Níveis de pressão sonora dos ambientes

Neste item, é possível visualizar a análise dos valores obtidos para cada ambiente por ponto de medição, como também estabelecer comparativos entre: diferentes ambientes para um mesmo tipo de atividade; a influência de uma mesma atividade em diferentes ambientes; e diferentes condições para um mesmo ambiente e atividade sendo executada. Além de observar os resultados segundo os limites normativos em vigor (ABNT, 2017; ABNT, 2000).

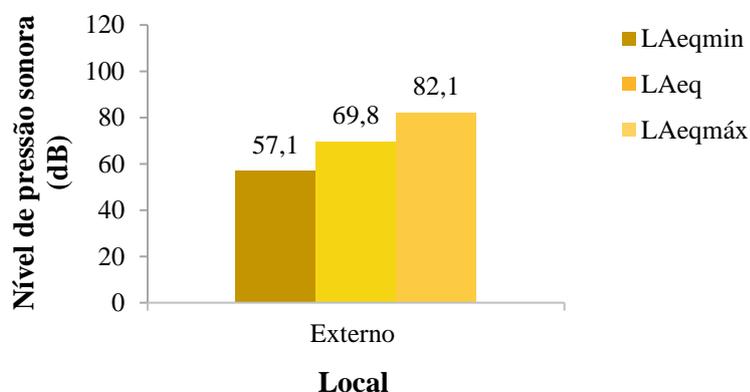
Em complemento a análise das normas brasileiras, conforme estabelecido pela OMS (1999, *apud* Andrade, 2017), o nível sonoro de conforto está fixado em 50 dB para os ambientes,

independentemente de sua finalidade de uso, portanto, para efeitos de comparação e avaliação segundo diferentes usos, valores acima deste parâmetro foram considerados elevados.

5.2.1.1 Ruído externo

Os valores globais de níveis de pressão sonora referentes ao ruído externo são mostrados na Figura 49. Ressalta-se que este ruído representa o entorno da edificação e ao momento de saída dos alunos da escola, marcado por buzinas e certa agitação por parte de pais e alunos.

Figura 49 – Níveis de pressão sonora globais dos ruídos externos à edificação estudada.



Fonte: Autora.

A partir da análise da Figura 49, é possível observar que as redondezas da edificação possuem elevados níveis de ruído (LAeq igual a 69,8 dB), se comparado ao limite estabelecido na NBR 10151 (ABNT, 2000) para escolas no período diurno (RLAeq de 50 dB). E isto se dá, provavelmente, por se tratar de um local movimentado, com passagem frequente de veículos nas avenidas que circundam a edificação.

5.2.1.2 Salas de aula

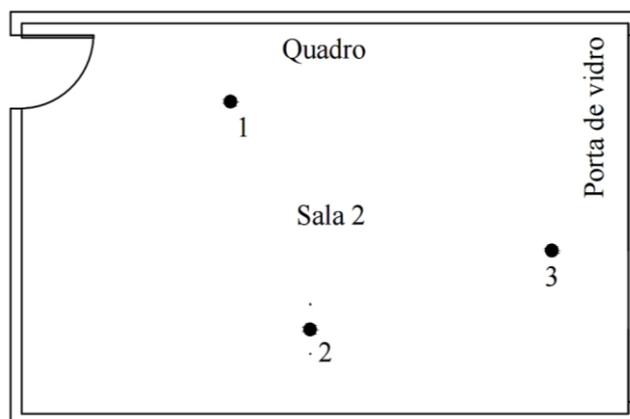
Os níveis de pressão sonora registrados nas salas 2 (térreo), 6 (primeiro pavimento), 9 (segundo pavimento) e de artes (terceiro pavimento) estão demonstrados a seguir.

a) Sala 2: atividades normais (fontes internas) e recreação (fontes externas)

Para melhor identificação dos pontos no ambiente interno com os respectivos resultados obtidos, tem-se novamente a Figura 50, já demonstrada no Capítulo 4. Assim como, os níveis

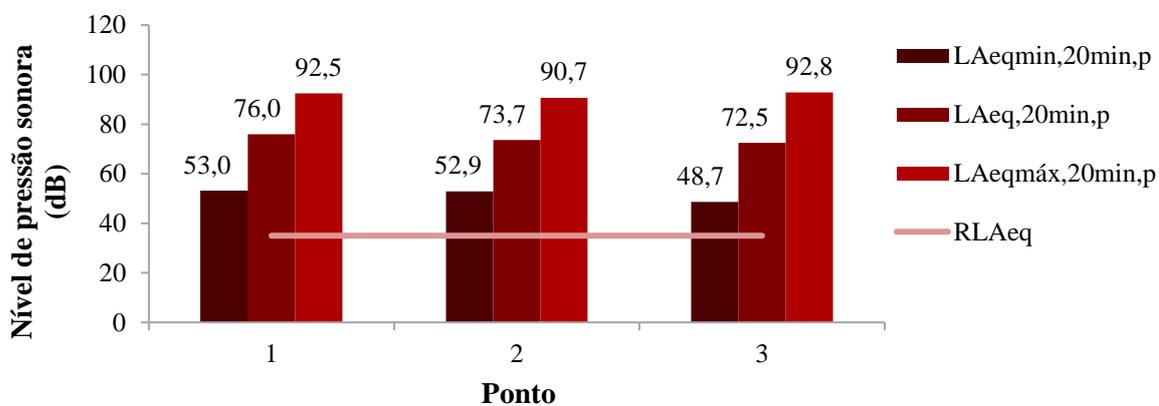
sonoros coletados por ponto durante as atividades normais, com alunos e sob a influência do recreio ocorrendo externamente à sala 2, sem alunos, estão descritos na Figura 51.

Figura 50 - Locação dos pontos de medição na sala 2.

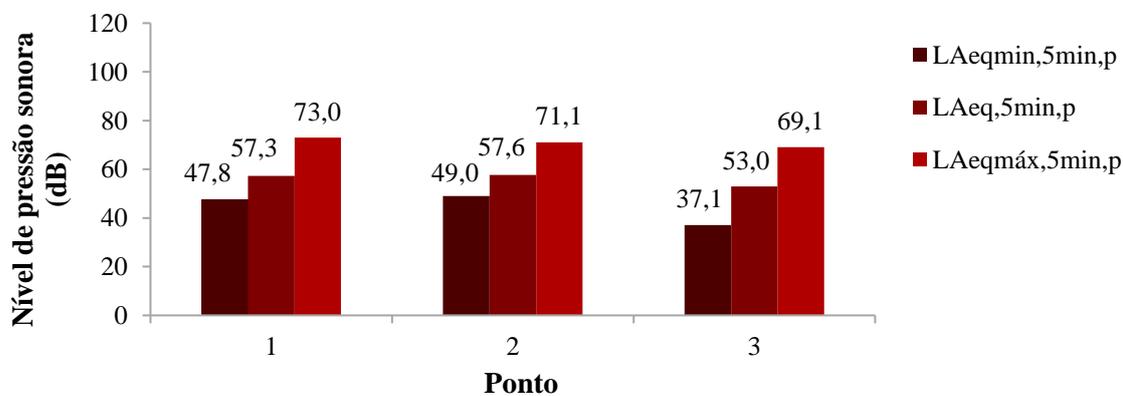


Fonte: Autora.

Figura 51 –Níveis de pressão sonora por ponto de medição na sala 2. a - durante as atividades normais de sala de aula; b – sob a influência do recreio, sem alunos em sala.



a)



b)

Fonte: Autora.

Ao se observarem os resultados durante as atividades normais, constatou-se que a posição com o mais elevado nível de pressão sonora equivalente no intervalo de medição correspondeu ao ponto 1 (L_{Aeq,20min,p1}), com valor de 76,0 dB (Figura 51a) e pode ser identificada como aquela em que o instrumento estava mais próximo da vedação do quadro (com 12 cm de espessura) e do professor (fonte sonora predominante). Ao passar para os pontos 2 e 3, não se verificou uma variação expressiva, com reduções de apenas 3,0% e 4,6% respectivamente em relação ao ponto 1.

Quando são observados os resultados da influência da atividade de recreação ocorrendo do lado de fora da sala 2, o local de maior nível de pressão sonora equivalente foi o ponto 2 (L_{Aeq,5min,p2}), que estava mais próximo da vedação oposta ao quadro (com 24 cm de espessura), com um valor de 57,6 dB (Figura 51b). Os pontos 1 e 3, apresentaram reduções de 0,5% e 8,0% respectivamente em relação ao ponto 2 nesta medição.

Pode-se constatar também, no que diz respeito ao limite estabelecido pela NBR 10152 (ABNT, 2017) em 35 dB com tolerância de 5 dB para salas de aula, que todos os níveis equivalentes coletados por ponto, na sala 2, durante as atividades normais de sala de aula (finalidade de uso – recomendação para verificação segundo a referida norma) estavam acima do recomendado.

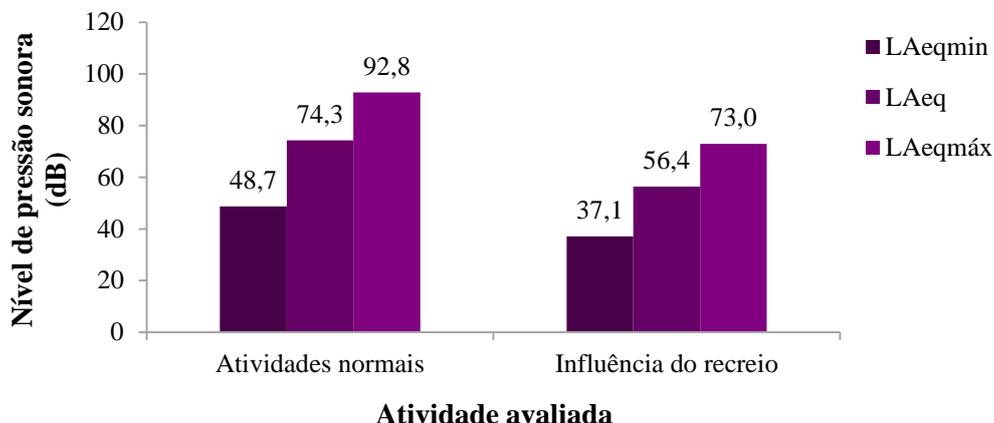
Vale salientar ainda que os níveis equivalentes elevados (acima de 50 dB) apresentados na medição da atividade de recreação, demonstram um comportamento ineficiente do envelope da sala 2 quando exposta aos ruídos externos, oriundos da área de circulação.

b) Comparativo das atividades monitoradas na sala 2 (fontes internas e externas)

Os níveis sonoros globais e representativos do ambiente em ponderação de frequência A (L_{Aeq}), registrados na sala 2, para cada uma das atividades monitoradas (influência do recreio e atividades normais de sala de aula), podem ser visualizados na Figura 52, a fim de se estabelecer a devida comparação entre as fontes internas e externas atuantes sobre o ambiente.

Deve-se destacar, previamente, que os valores de L_{Aeqmáx} e L_{Aeqmín} globais demonstrados na Figura 52 correspondem aos valores extremos registrados nas medições por ponto efetuadas, representando assim a amplitude dos resultados coletados.

Figura 52 – Comparativo entre os níveis de pressão sonora globais da sala 2, durante as atividades normais e de recreação.



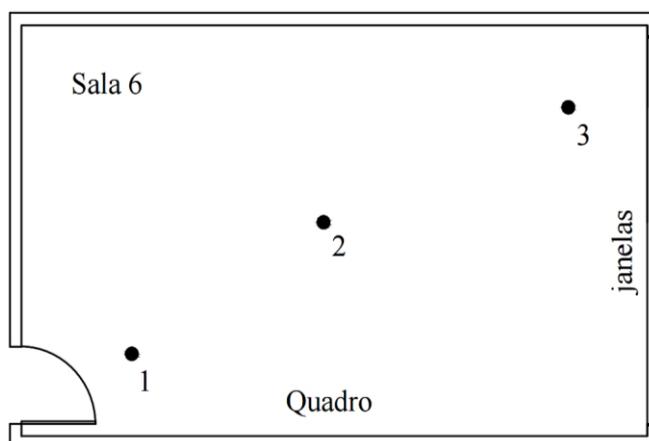
Fonte: Autora.

Ao se compararem ambas as atividades monitoradas no mesmo ambiente, observa-se que com a influência do recreio, sem a presença dos alunos no local (Figura 52), a sala 2 apresentou níveis sonoros com uma diminuição significativa (redução média de aproximadamente 24,1% - igual a 17,9 dB).

c) Sala 6: atividades normais (fontes internas)

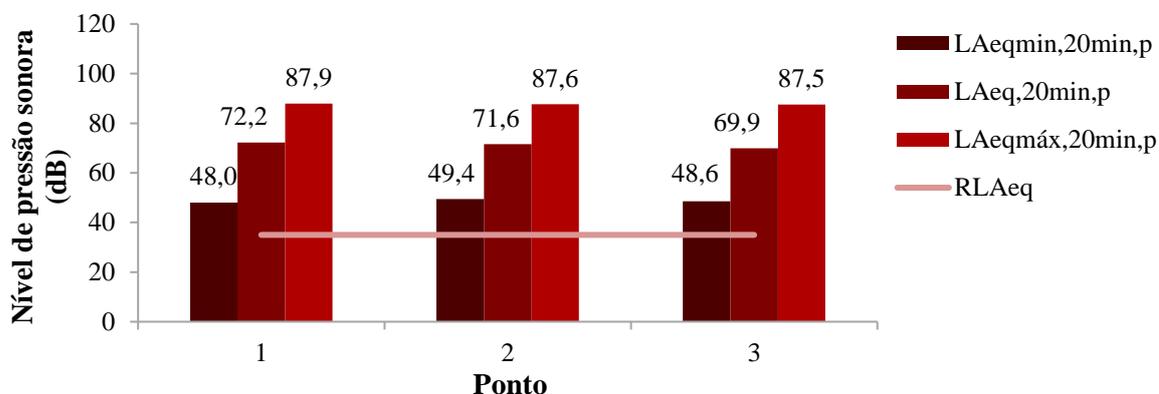
De modo semelhante ao efetuado para a sala 6, localizada no primeiro pavimento da edificação, os pontos de coleta assim como os respectivos níveis sonoros registrados durante as atividades normais de sala de aula, estão demonstrados nas Figuras 53 e 54.

Figura 53 - Localização dos pontos de medição na sala 6.



Fonte: Autora.

Figura 54 – Níveis de pressão sonora por ponto de medição da sala 6 durante as atividades normais de sala de aula.



Fonte: Autora.

Percebe-se que o local de maior nível de pressão sonora equivalente, na sala 6, tratava-se do ponto que continha o instrumento mais próximo do quadro (ponto 1), assim como ocorreu na sala 2, durante as atividades normais. Atingindo um LAeq,20min,p1 igual a 72,2 dB (Figura 54). Os valores dos demais pontos também foram próximos entre si, o que demonstra uma coerência entre as medições executadas durante a mesma atividade monitorada, com reduções de apenas 0,8% e 3,2% para os pontos 2 e 3, respectivamente.

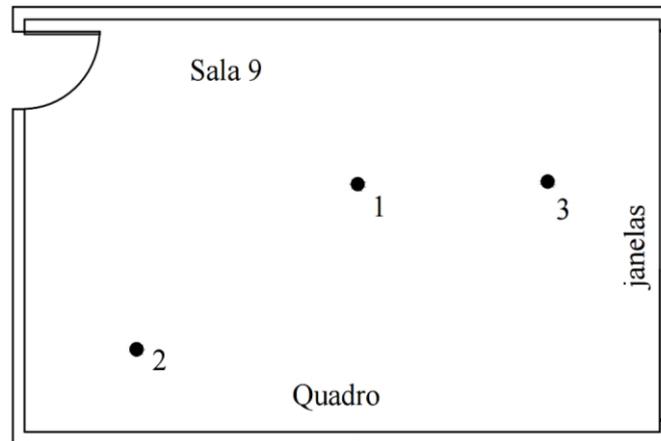
Em sua pesquisa, Catalina e Banu (2014) detectaram valores de nível sonoro iguais a 65,9 dB (início da sala) e 61,1 dB (no final da sala), e atribuíram esta variação à proximidade da fonte sonora que estava localizada no quadro. Porém, relataram que o ouvido humano não percebe esta diferença (em torno de 5 dB). Portanto, provavelmente por este motivo, a tolerância para níveis de pressão sonora do ambiente superiores aos valores de referência foi fixada, na NBR 10152 (ABNT, 2017), em 5 dB.

Em continuidade ao que está estabelecido na referida norma (ABNT, 2017), todos os pontos de medição da sala 6 não atenderam ao nível de pressão sonora equivalente de referência (RL Aeq), fixado em 35 dB, para a finalidade de uso de sala de aula.

d) Sala 9: atividades normais (fontes internas)

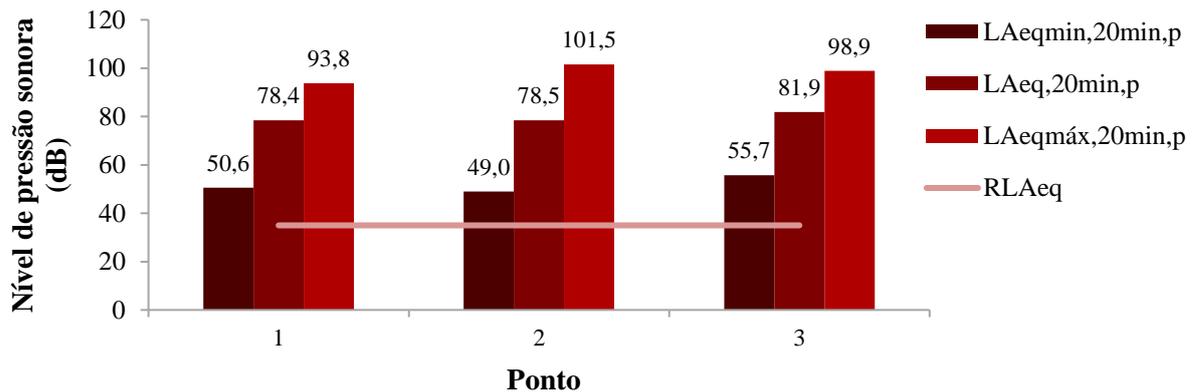
Localizada no segundo pavimento da edificação estudada, a sala 9 continha o sonômetro posicionado conforme demonstrado na Figura 55, durante as atividades normais. Os níveis sonoros obtidos durante cada uma destas medições separadamente estão descritos na Figura 56.

Figura 55 - Locação dos pontos de medição na sala 9.



Fonte: Autora.

Figura 56 – Níveis de pressão sonora por ponto de medição da sala 9 durante as atividades normais de sala de aula.



Fonte: Autora.

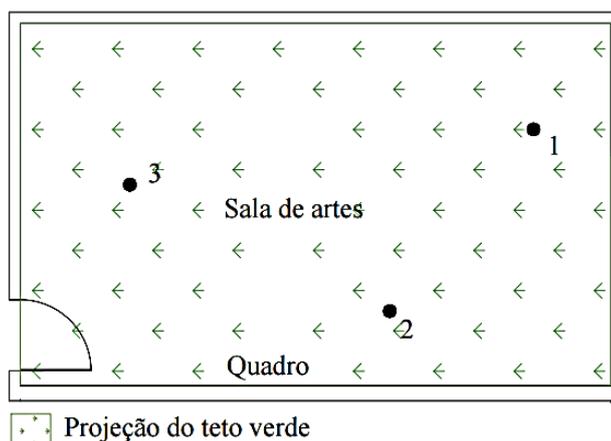
Neste caso, o ponto 3, que continha o equipamento mais próximo da vedação (com 16 cm de espessura) que possui as janelas, apresentou o mais elevado nível de pressão sonora equivalente, com um LAeq,20min,p3 de 81,9 dB. Os pontos 1 e 2 implicaram em reduções de apenas 4,3% e 4,1% em relação ao ponto 3, caracterizando ainda níveis elevados. Sem deixar de mencionar, o valor máximo equivalente exorbitante constatado no ponto 2 (LAeqmáx,20min,p2) com um nível sonoro de 101,5 dB registrado, que estava associado a um momento de grande dispersão dos alunos, com gritarias e cantos, além de pouca disciplina .

Todos os níveis de pressão equivalentes obtidos por ponto na sala 9 estavam acima do valor de referência (RLAeq) para finalidade de uso de salas de aula, estabelecido em 35 dB, pela NBR 10152 (ABNT, 2017).

e) *Sala de artes: atividades normais (fontes internas)*

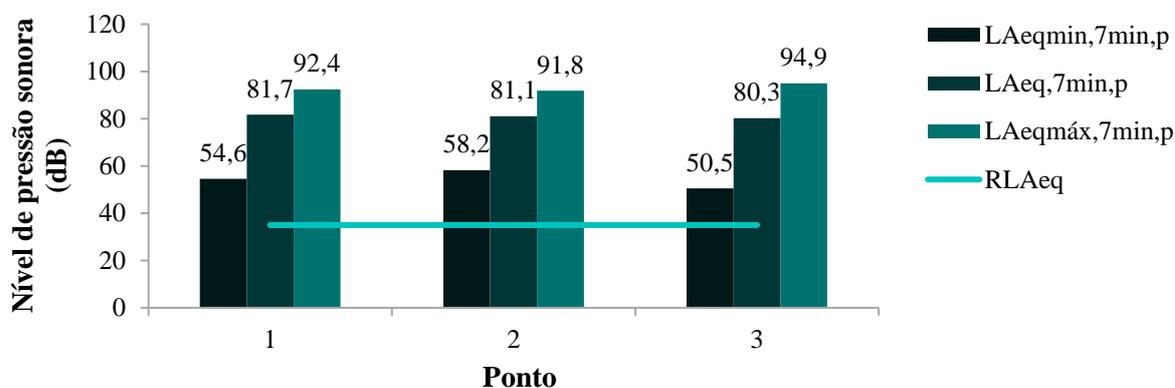
A sala de artes, localizada no terceiro pavimento da edificação, possuía o instrumento nas posições indicadas na Figura 57. Os níveis de pressão sonora equivalentes por ponto obtidos durante as atividades normais podem ser observados na Figura 58.

Figura 57 - Localização dos pontos de medição na sala de artes.



Fonte: Autora.

Figura 58 – Níveis de pressão sonora por ponto de medição da sala de artes durante as atividades normais de sala de aula.



Fonte: Autora.

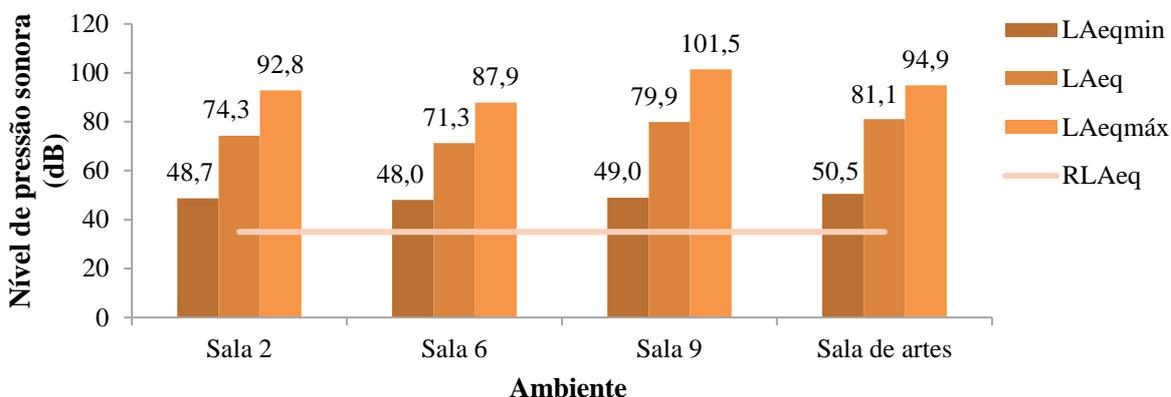
Constata-se que o ponto 1, local onde o equipamento estava mais próximo da vedação que contém a janela associada a drywall e isoeste (16 cm de espessura) bem como placas de ACM e *shaft* com 60 cm de espessura (Figuras 24 e 25), apresentou o maior nível de pressão sonora equivalente, com um LAeq,7min,p1 de 81,7dB. Já os pontos 2 e 3 representaram reduções de apenas 0,7% e 1,7% respectivamente em relação ao ponto 1 – diferenças não tão expressivas, podendo ser consideradas como erros do instrumento.

Além disso, todos os pontos de medição demonstraram níveis de pressão sonora equivalentes acima do valor permitido (RLAeq de 35 dB) para proporcionar conforto acústico aos usuários na sala de artes, de acordo com a NBR 10152 (ABNT, 2017).

f) Comparativo das salas de aulas com atividades normais (fontes internas)

De posse dos níveis de pressão sonora equivalentes coletados por ponto de medição (LAeq,T,X) em cada sala, foi possível obter os níveis de pressão sonora equivalentes globais representativos dos ambientes (LAeq) a partir da Equação 2 e assim estabelecer um comparativo entre as salas de aula avaliadas durante as atividades normais. Os níveis mínimos e máximos globais demonstrados na Figura 59 correspondem aos valores extremos (maior LAeqmáx e menor LAeqmín) coletados em cada ambiente, para possibilitar a observação da amplitude dos níveis sonoros registrados nos locais.

Figura 59 – Comparativo entre os níveis de pressão sonora globais das salas de aula avaliadas, durante as atividades normais.



Fonte: Autora.

Pode-se afirmar que os níveis equivalentes globais (LAeq) variaram de 71,3 dB a 81,1 dB (Figura 59), o que está condizente com a atividade monitorada, pois de acordo com Gemelli (2009), considerando-se a voz humana normal, sem esforço adicional, sabe-se que a mesma está associada a um nível sonoro de 65 dB, portanto, níveis próximos a este valor são característicos deste tipo de ambiente, onde a voz do professor deve ser compreendida e ouvida por todos os alunos. Sem deixar de mencionar que uma sala de aula em uma escola, não é um local de silêncio absoluto, e ruído de fundo é inevitável e até desejável para a realização de algumas atividades escolares. Assim o que deve ser analisado é o quanto este ruído de fundo pode estar interferindo na inteligibilidade da fala do professor.

Dentro deste contexto, ressalta-se que, em uma sala de aula, para que o aluno da última fileira compreenda bem a fala do professor, o nível de pressão sonora que chega até ele deve ser no mínimo 50 dB (SOUZA, ALMEIDA, BRAGANÇA, 2016). Logo, é possível perceber que tanto na análise por ponto (em relação às posições mais próximas das últimas fileiras) quanto na análise global, todas as salas de aula avaliadas atenderam a este critério.

Em contrapartida, o Jornal da Unicamp (2014) destaca que valores em torno de 80 dB, nas salas de aula, ainda não se apresentam como risco de perda de audição, mas já caracterizam problema suficiente para a aprendizagem e que podem causar danos na audição a longo prazo.

Diante do comparativo estabelecido entre as salas de aula avaliadas (Figura 59), a sala de artes pode ser destacada como a que apresentou o mais elevado nível de pressão sonora equivalente global, com 81,1 dB. Lembrando que a mesma possui uma composição diferente em comparação as salas 2, 6 e 9, com espessuras diferentes e utilização de *shaft* e placas de ACM que podem ter contribuído, dentre outros fatores, para o resultado desfavorável. Como também o teto verde, não se demonstrou um elemento capaz de influenciar o conforto acústico quando as fontes sonoras eram geradas no ambiente interno da sala avaliada, apesar de existirem pesquisas relatando que a sua implementação promove tanto o conforto ambiental quanto o visual, levando a uma sensação de bem-estar para os usuários (ARAÚJO, 2007; MARY *et al.*, 2008; WILLES, 2014). Porém, este resultado não exclui, necessariamente, a possibilidade do elemento ser favorável ao conforto acústico, uma vez que as medições levaram em consideração apenas fontes de ruído geradas na sala de artes, sem a incidência de fontes de ruído ocorrendo no teto, por exemplo.

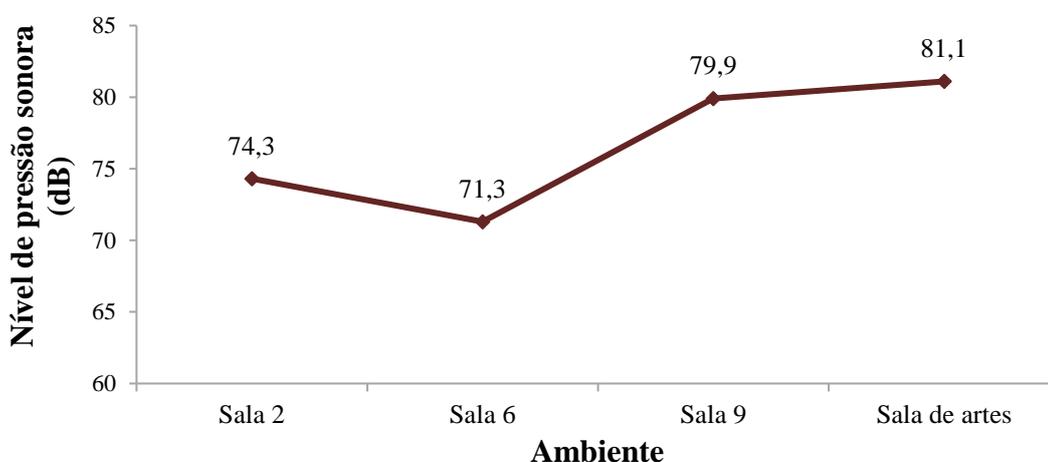
Por outro lado, destaca-se a sala 6 pelo menor nível de pressão sonora equivalente global representativo do ambiente (LAeq), no valor de 71,3 dB – bem próximo à sala 2, com 74,3 dB.

Na verificação da influência da localização da sala em relação aos pavimentos da edificação, observou-se um comportamento crescente (com exceção da sala 2 no térreo), indo do primeiro ao terceiro andar, como pode ser observado na Figura 60.

O crescimento constatado pode ser explicado, dentre outros fatores, em virtude da menor presença de barreiras acústicas que funcionam como anteparos à transmissão de ondas sonoras e atenuadores de ruídos (MAGALHÃES, BARBOSA, 2017), o que contribui para o aumento

do ruído de fundo a ser detectado nas salas de aula mais elevadas, em relação ao nível do solo. A situação divergente da sala 2 pode ser explicada pelo fato de se localizar no térreo, pavimento de maior circulação de pessoas diariamente e conseqüente geração de ruído que influencia o ambiente interno, além de possuir esquadrias maiores (portas de vidro) que as demais salas, conforme demonstrado na Tabela 15 do Capítulo 3, o que possibilita uma maior reflexão e menor dispersão do ruído (SOUZA, BRAGANÇA, ALMEIDA, 2016).

Figura 60 – Níveis de pressão sonora equivalentes globais (LAeq) de todas as salas de aula avaliadas, durante as atividades normais.

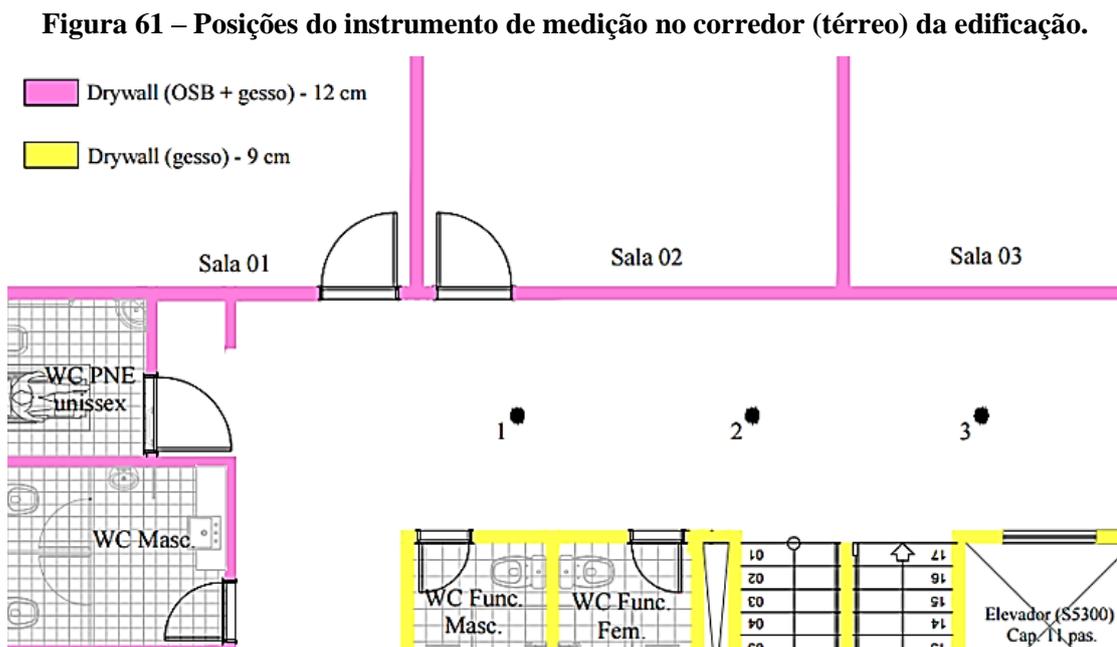


Fonte: Autora.

No que se refere ao atendimento à NBR 10152 (ABNT, 2017), observa-se que nenhuma das salas avaliadas apresentou nível sonoro equivalente global (LAeq) igual ou abaixo do limite preestabelecido (RLAeq) em 35 dB para salas de aula. Porém, conforme salientado por outros autores este tipo de ambiente não é um local de silêncio absoluto, e uma sala considerada silenciosa já equivale a 40 dB de ruído de fundo (ENIZ, GARAVELLI, 2006; GEMELLI, 2009). Tomando como base a finalidade de uso (aplicação recomendada pela referida norma), admite-se a fala do professor como fonte predominante em salas de aula e equivalente a 65 dB. Portanto, este limite não corresponde às condições de uso averiguadas nesta e em outras pesquisas que encontraram valores variando de 55 até 77 dB (DALVITE *et al.*, 2007); de 52 a 114 dB (SANTOS, SELIGMAN, TOCHETO, 2012); e em torno de 66 dB (GEMELLI, 2009) para salas de aula em edificações escolares. Caso a aplicação da normativa seja mais indicada para salas de aula onde ocorre apenas a leitura (sem falas) como finalidade de uso (salas de leitura), isto deveria vir especificado na NBR 10152 (ABNT, 2017).

5.2.1.3 Corredor

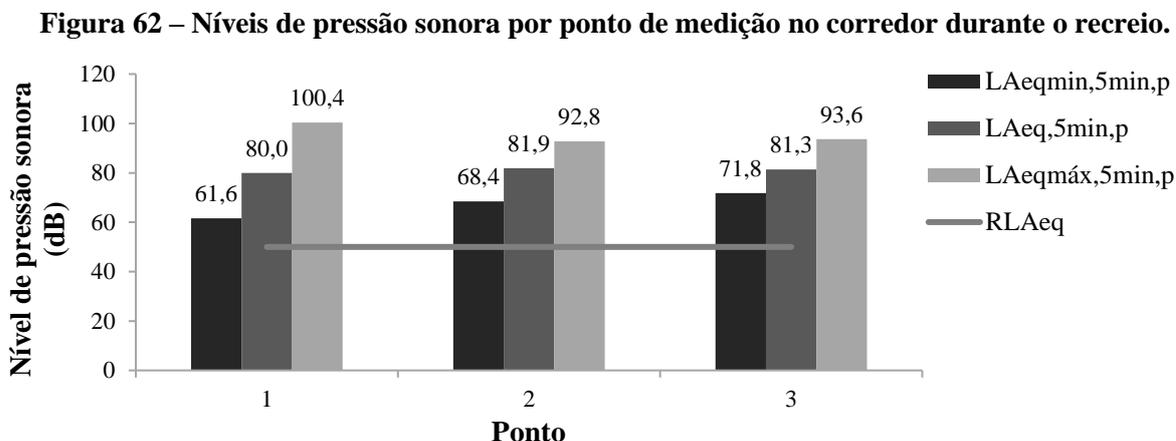
Os níveis sonoros obtidos no corredor do térreo da edificação em estudo foram agrupados de acordo com a origem das fontes de ruído (internas e externas), às quais a área de circulação avaliada estava exposta. Sendo assim, os pontos de localização do instrumento para melhor identificação dos resultados estão descritos na Figura 61.



Fonte: Autora.

a) Recreação (fontes internas)

Os níveis de pressão sonora equivalentes por ponto de medição, obtidos no corredor durante o recreio, estão apresentados na Figura 62.



Fonte: Autora.

Esta medição destacou o ponto 2 como maior valor detectado no corredor da edificação, com um $L_{Aeq,5min,p2}$ de 81,9 dB. E os demais pontos, 1 e 3 apresentaram 2,3% e 0,7% de redução sobre os níveis sonoros equivalentes em relação ao ponto 2 respectivamente – podendo ser considerados os resultados para cada um dos pontos como iguais (diferença inexpressiva).

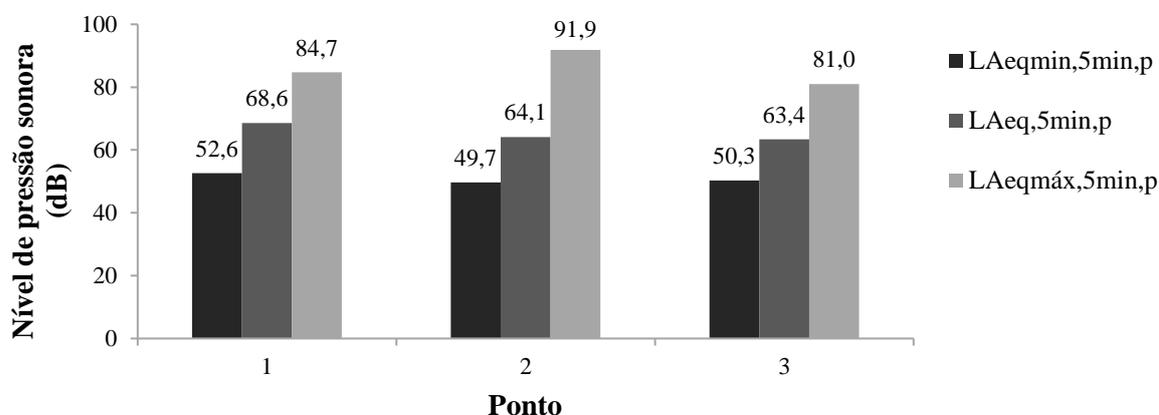
Esta medição detectou valores equivalentes de níveis de pressão sonora equivalentes para ambientes de circulação e pouca permanência, de acordo com pesquisas semelhantes, que encontraram valores como: 75 dB (GEMELLI, 2009), 86 dB (ADAMS *et al.*, 2017) e variando de 85 a 95 dB (DALVITE *et al.*, 2007) para áreas de circulação no térreo durante momentos de recreação ou lazer.

Vale destacar também que, apesar dos níveis equivalentes terem se apresentado acima do nível recomendado pela NBR 10152 (ABNT, 2017), fixado em 50 dB para ambientes de circulação em escolas, a atividade de recreação, com alunos gerando ruídos de diversas naturezas, é comum durante o período de atividades nas salas de aula do térreo, porém a situação não ocorre por mais de 20 minutos.

b) Alunos em sala (fontes externas)

Os níveis de pressão sonora equivalentes, por ponto de medição, obtidos no corredor, com alunos em sala executando as atividades normais, estão apresentados na Figura 63.

Figura 63 – Níveis de pressão sonora por ponto de medição na área de circulação, sem alunos, durante as atividades normais de sala de aula.



Fonte: Autora.

Esta medição caracterizou o ponto 1 como o maior valor detectado na área de circulação da edificação (LAeq,5min,p1 igual a 68,6 dB). Já os pontos 2 e 3 implicaram em reduções de 6,6% e 7,6%, respectivamente, sobre os níveis sonoros equivalentes em relação ao ponto 1.

Mesmo neste caso, em que as fontes de ruído eram externas ao ambiente avaliado, foram observados valores elevados para o ambiente sem alunos no corredor que podem ser justificados, dentre outras possibilidades, devido à ausência de madeira componente do *drywall* na vedação que divide a área de circulação de banheiros, escada e elevador, acarretando uma espessura de apenas 9 cm (Figura 33). Fato semelhante ocorreu na pesquisa de Adams *et al.* (2017), onde foram monitorados 10 ambientes internos (contemplando áreas de circulação), quanto ao conforto acústico, e observaram que 100% dos ambientes estavam acima de 50 dB. Os autores atribuíram o ocorrido à falta de tratamento acústico das portas e janelas, além do uso de divisórias com espessura muito fina, que permitem que o ruído penetre no ambiente.

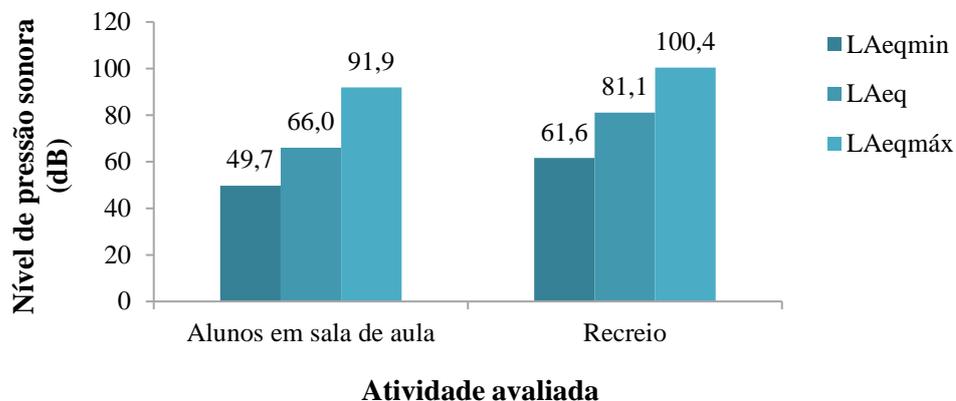
A partir de entrevista informal com os engenheiros construtores da edificação em estudo, foi possível constatar que esta madeira (OSB) foi pensada pelos calculistas apenas como elemento capaz de suportar cargas e possibilitar a fixação de quadros e armários nos *drywalls*, em contrapartida à opinião dos projetistas que especificaram o elemento corretamente por questões acústicas e culturais. Sendo assim, por meio dos ensaios de conforto acústico, observou-se a necessidade do elemento também para viabilizar melhores níveis de pressão sonora para o ambiente.

c) Comparativo das atividades monitoradas na área de circulação (fontes internas e externas)

Os níveis sonoros globais registrados na área de circulação, para ambas as atividades monitoradas (alunos em sala e recreio), podem ser visualizados na Figura 64.

Quando o monitoramento das fontes de ruído foi revertido para o ambiente externo à área de circulação, ou seja, nas salas de aula, os níveis sonoros registrados se demonstraram consideravelmente mais baixos (Figura 64). A diferença constatada (15,1 dB) implicou em uma redução de 18,6% em relação às atividades habituais de recreação. Tal observação está coerente com as pesquisas de Dalvite *et al.* (2007) e Gemelli (2009), que encontraram reduções expressivas de até 25 e 20 dB respectivamente em relação às mesmas atividades monitoradas na área de circulação.

Figura 64 – Comparativo entre os níveis de pressão sonora globais da área de circulação durante as atividades normais de sala de aula e o recreio.



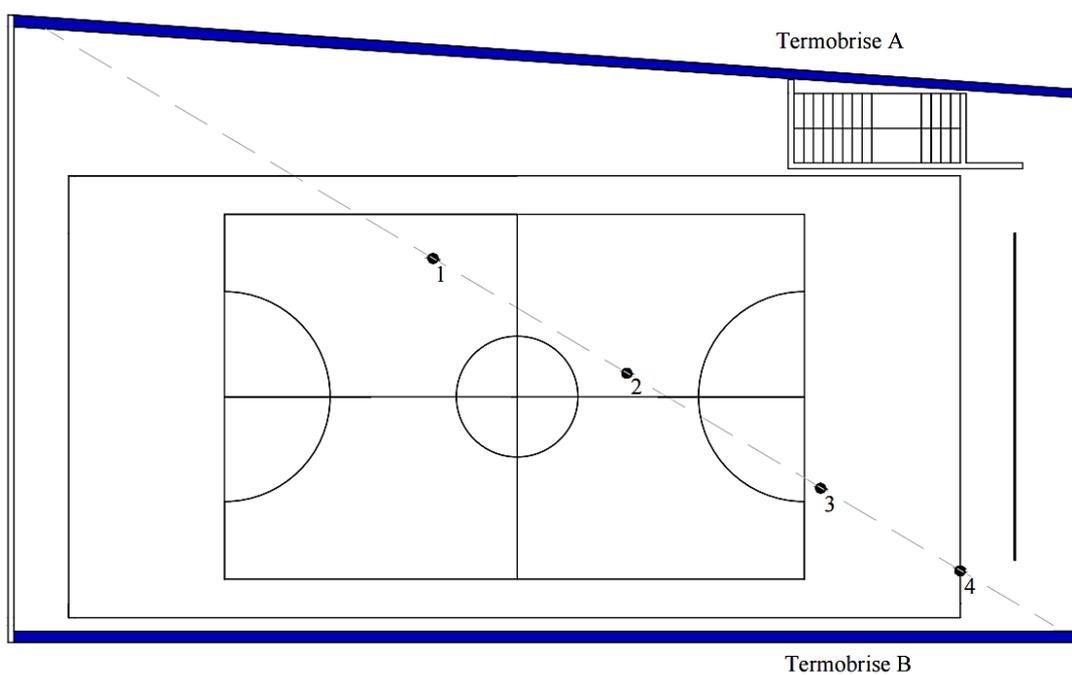
Fonte: Autora.

5.2.1.4 Quadra esportiva

Os níveis sonoros obtidos na quadra esportiva foram agrupados e demonstrados de acordo com a origem das fontes de ruído as quais o ambiente estava exposto.

Os pontos de locação para melhor identificação dos resultados estão descritos na Figura 65.

Figura 65 – Posições do instrumento de medição na quadra esportiva.

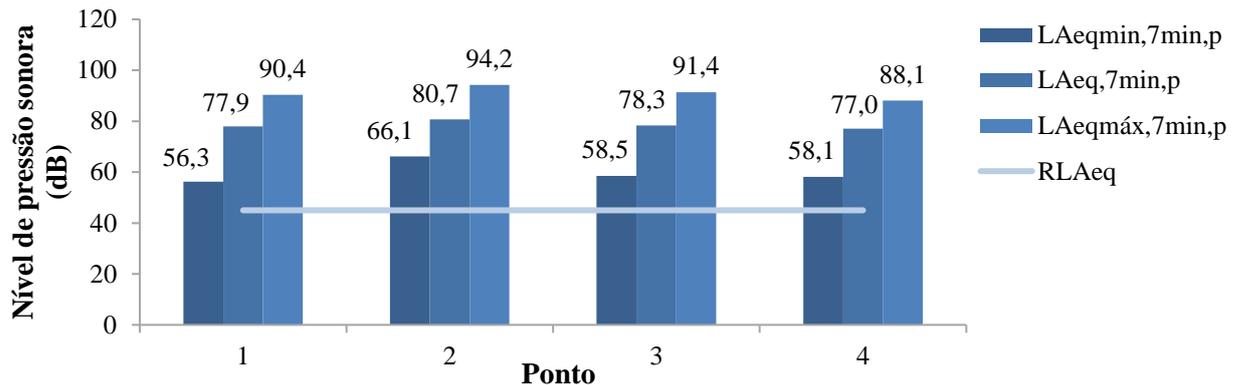


Fonte: Autora.

a) *Educação física (fonte interna)*

Os níveis de pressão sonora equivalente, mínimo e máximo fornecidos pelo sonômetro para cada ponto de medição, assim como o limite fixado pela NBR 10152 (ABNT, 2017) para pavilhões de esportes, estão representados na Figura 66.

Figura 66 – Níveis de pressão sonora por ponto na quadra esportiva durante as atividades normais de educação física, na condição termobrisas abertos.



Fonte: Autora.

O ponto 2, que correspondia ao local mais central de medição, alcançou o maior nível de pressão sonora equivalente ($L_{Aeq,7min,p2}$), com 80,7 dB. As reduções obtidas, em relação ao ponto 2, no valor de 3,4%, 3,0% e 4,6% estão associadas aos pontos 1, 3 e 4 respectivamente.

Individualmente, todos os pontos registraram níveis sonoros equivalentes acima do RL_{Aeq} indicado pela NBR 10152 (ABNT, 2017), correspondente a 45 dB para locais de esporte.

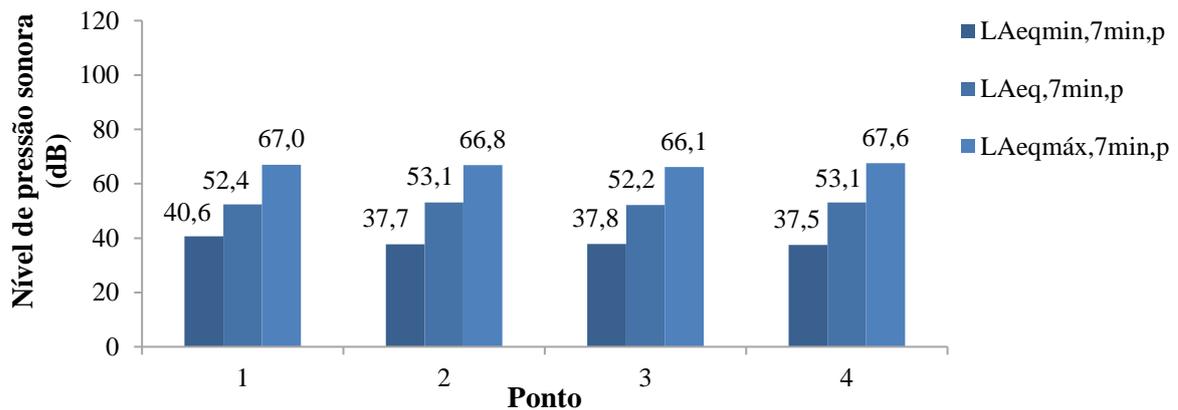
b) *Tráfego (fonte externa)*

Os níveis de pressão sonora obtidos após as medições por ponto durante o monitoramento do ruído de tráfego na quadra esportiva, sem alunos, sob as condições de termobrisas abertos e fechados, estão apresentados na Figura 67.

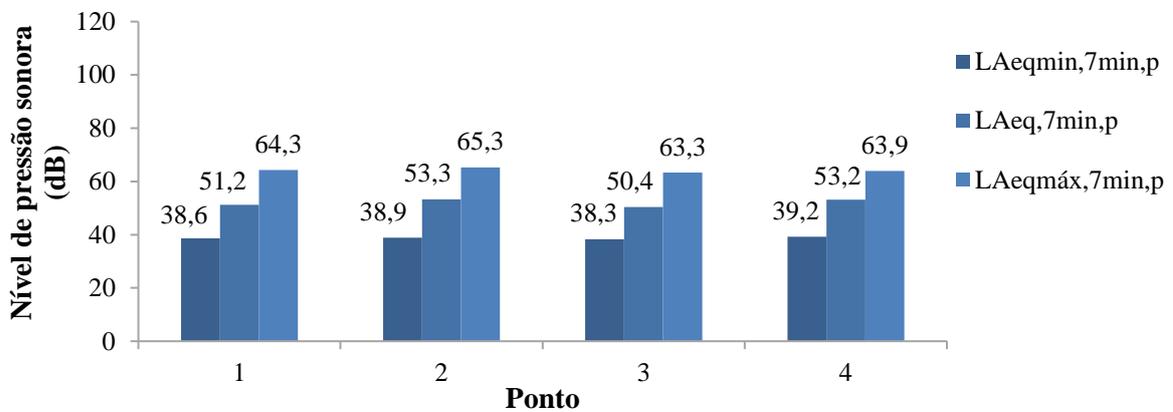
Na condição de termobrisas abertos, as medições nos pontos 2 e 4 registraram igualmente os maiores níveis de pressão sonora equivalente ($L_{Aeq,7min,p2}$ e $L_{Aeq,7min,p4}$), no valor de 53,1 dB. Os pontos 1 e 3 restantes acarretaram nas reduções de apenas 1,3% e 1,7% respectivamente em relação ao valor mais elevado – demonstrando pequena variação dos valores entre si.

Já para a condição de termobrisas fechados, o maior valor observado de nível de pressão sonora equivalente estava associado ao ponto 2, com 53,3 dB. Os pontos 1, 3 e 4 levaram às reduções de 3,9%, 5,4% e 0,2% respectivamente em relação ao ponto 2.

Figura 67 –Níveis de pressão sonora coletados por ponto na quadra esportiva, sem aula, durante o monitoramento do ruído de tráfego sob diferentes condições. a – termobrisas abertos; b – termobrisas fechados.



a)



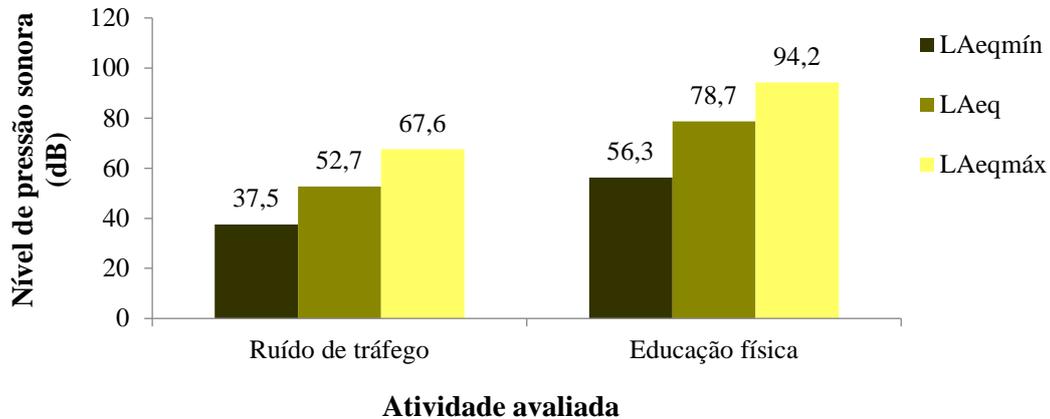
b)

Fonte: Autora.

c) Comparativo das atividades monitoradas na quadra esportiva sob a mesma condição de termobrisas abertas (fontes internas e externas)

Os níveis de pressão sonora globais da quadra esportiva para as atividades de educação física e circulação do tráfego nas redondezas da edificação, com os termobrisas abertos, estão demonstrados na Figura 68.

Figura 68 – Níveis de pressão sonora globais da quadra esportiva, com e sem educação física, na condição de termobrisas abertos.



Fonte: Autora.

Diante dos resultados demonstrados, destaca-se que a quadra esportiva apresentou um nível de pressão sonora equivalente global representativo do ambiente (LAeq) igual a 78,7 dB, referente à atividade de educação física. Tal valor está demasiadamente elevado se comparado à pesquisa de Gemelli (2009), que obteve 64 dB para a quadra esportiva, durante a atividade de educação física. Já com relação ao estudo de Dalvite *et al.* (2007), os valores estão consideravelmente menores, uma vez que os autores constataram níveis sonoros variando até 90 dB, para a mesma atividade em questão.

Sabe-se que o ruído observado em um ambiente pode ser gerado pela contribuição de duas ou mais fontes sonoras. Para identificar então o nível de pressão sonora total, existem operações capazes de “somar” ou “subtrair” decibéis. No caso da adição, o nível total é dado pela soma energética dos níveis de pressão sonora individuais, em escala logarítmica (BISTAFA, 2016).

Sendo assim, a comparação entre ambas as atividades na quadra esportiva sob a mesma condição (Figura 68), faz-se necessária pois os níveis de pressão sonora observados no ambiente durante a educação física são resultantes da adição de duas fontes sonoras predominantes: a atividade de educação física em si e o ruído de fundo gerado pelo tráfego do entorno da edificação. Ou seja, o nível de pressão sonora aferido corresponde à mesma situação em que se quer medir o ruído de uma máquina com a presença de ruído de fundo. Utilizando-se da operação de “subtração” de decibéis, para identificar apenas o ruído gerado pela máquina, que corresponde ao ruído gerado somente pela atividade de educação física neste cenário avaliado, chega-se a uma variação de aproximadamente 26 dB entre o ruído da educação física (78,7 dB)

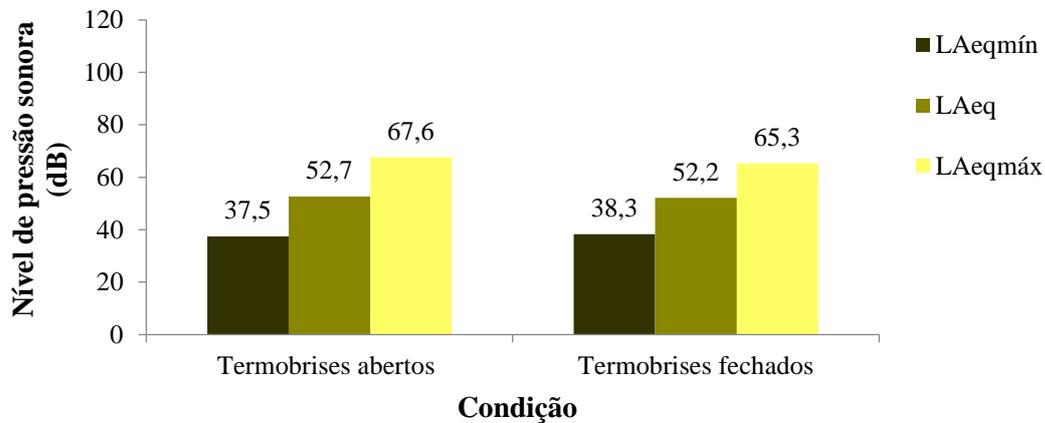
e o ruído de tráfego (52,7 dB). Sendo assim, Bistafa (2016) afirma que o ruído de fundo (tráfego, neste caso) pode ser ignorado, pois há uma variação superior a 10 dB entre ambas as fontes sonoras. Não sendo capaz de interferir ou incomodar durante a realização da atividade de educação física, pois não é percebido pelo ouvido humano.

Em seu estudo de caso, Dalvite *et al.* (2007) encontrou uma variação ainda maior, no valor de 30 dB para a quadra esportiva com e sem a presença dos alunos.

d) Comparativo das condições avaliadas na quadra esportiva durante o monitoramento do ruído de tráfego (fontes externas)

Os níveis de pressão sonora globais obtidos devido à exposição de fontes externas de ruído, providas do tráfego nas vias das proximidades sob diferentes condições dos termobrisers, abertos e fechados, podem ser observados na Figura 69.

Figura 69 – níveis de pressão sonora globais, com fonte externa (ruído de tráfego) à quadra esportiva, sob diferentes condições.



Fonte: Autora.

Quando realizada a comparação entre os resultados provenientes dos ruídos externos de tráfego sob as diferentes condições dos termobrisers, a quadra apresentou, com termobrisers fechados, um LAeq de 52,2 dB, que pode ser considerado igual ao do elemento aberto, com 52,7 dB (diferença inexpressiva).

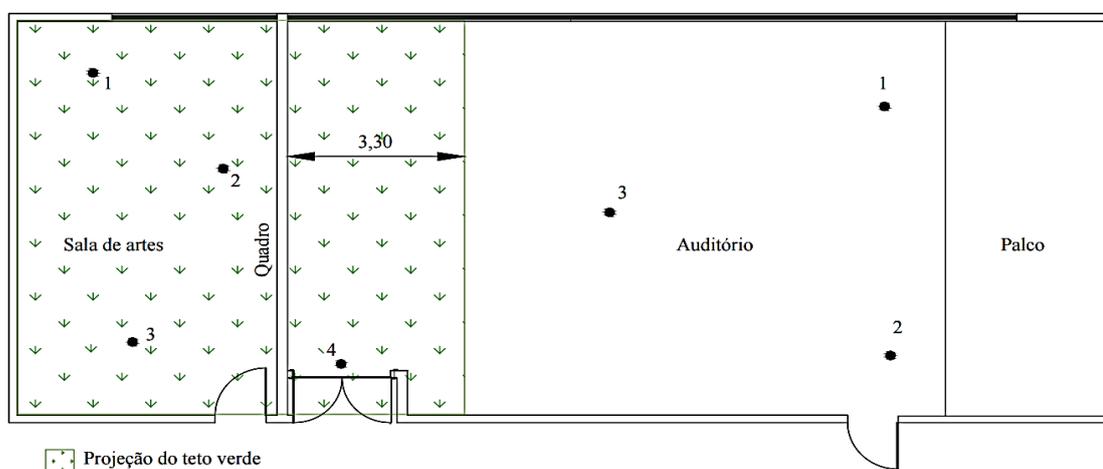
Portanto, os termobrisers não apresentaram contribuição acústica, afinal eles são projetados para melhorar o comportamento térmico das edificações.

5.2.1.5 Auditório e sala de artes

Os resultados das medições realizadas nos ambientes com finalidade de uso de salas de aula do terceiro pavimento (auditório e salas de artes) estão apresentados a seguir para estabelecer os respectivos comparativos.

Os pontos de locação do instrumento estão demonstrados na Figura 70 para melhor associação dos resultados obtidos com as regiões e componentes do ambiente interno.

Figura 70 – Locação do instrumento na sala de artes e no auditório.

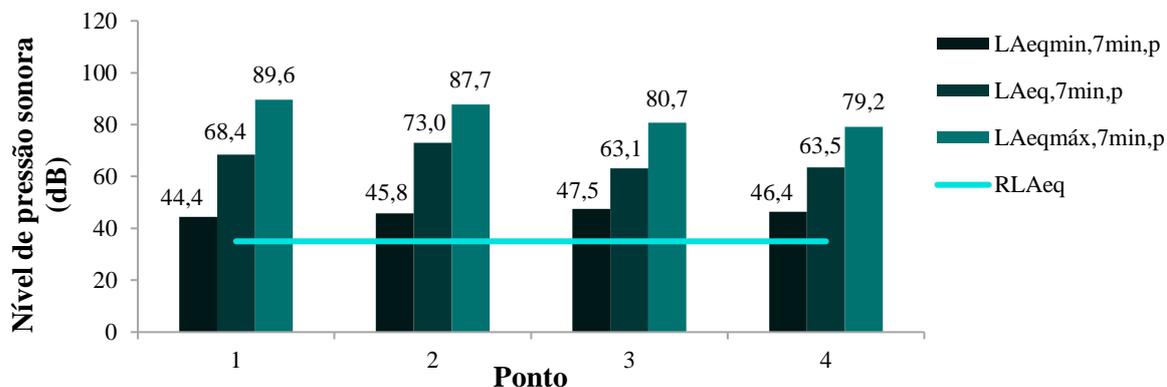


Fonte: Autora.

a) Auditório: atividades normais (fontes internas)

Os níveis de pressão sonora equivalentes por ponto de medição no auditório durante as atividades normais, podem ser observados na Figura 71.

Figura 71 – Níveis de pressão sonora por ponto durante as atividades normais no auditório.



Fonte: Autora.

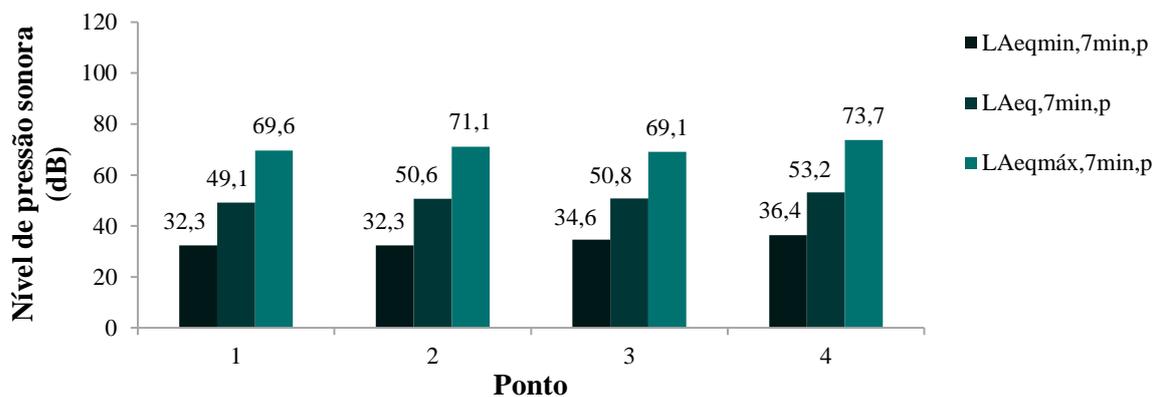
Percebe-se que o ponto 2, o qual continha o aparelho próximo ao palco, ficou destacado como a posição de maior nível de pressão sonora equivalente registrado no auditório, com um $LA_{eq,7min,p2}$ de 73 dB, durante as atividades normais de sala de aula. Tal comportamento ocorreu, provavelmente, porque o professor se encontrava no palco devido à predominância da sua voz, em que a medição mais próxima a ele correspondeu, portanto, ao som mais elevado registrado no ambiente. As demais posições acarretaram reduções de 6,3%, 13,6% e 13,0% para os pontos 1, 3 e 4 respectivamente.

Todos os níveis sonoros equivalentes obtidos por ponto, no auditório, encontraram-se acima do limite para a finalidade de uso de sala de aula (RLA_{eq} de 35 dB), de acordo com a NBR 10152 (ABNT, 2017), classificando o ambiente como inadequado para o conforto dos usuários segundo esta premissa.

b) Auditório: influência da educação física (fontes externas)

Os níveis de pressão sonora equivalentes por ponto de medição no auditório sob a influência da educação física, ocorrendo no mesmo pavimento na quadra esportiva, podem ser observados na Figura 72.

Figura 72 – Níveis de pressão sonora por ponto no auditório, sob a influência da educação física.



Fonte: Autora.

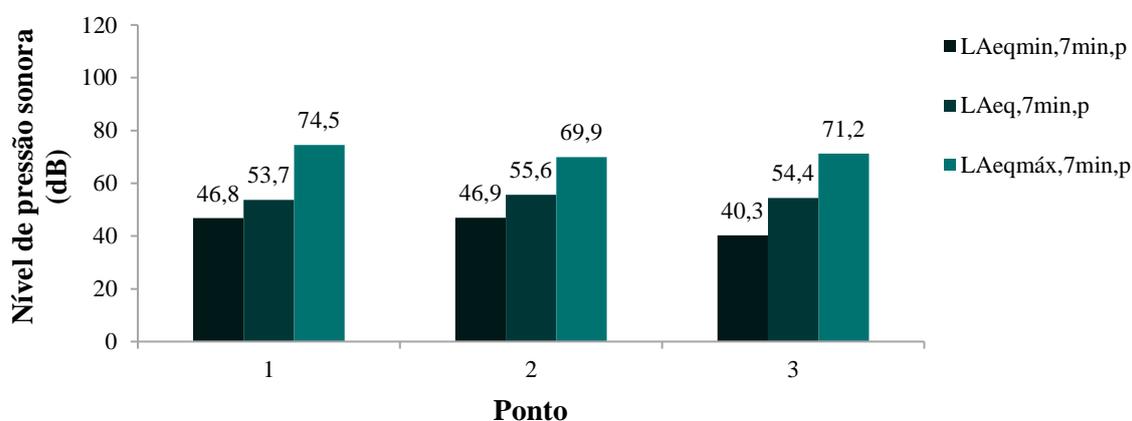
Diante dos valores obtidos, percebe-se que a posição 4 registou o maior nível de pressão sonora equivalente por ponto, com um $LA_{eq,7min,p4}$ de 53,2 dB, sob a influência da educação física. Correspondendo ao local onde o microfone estava próximo a vedação oposta ao palco (12 cm de espessura), das portas e mais próximo também do ambiente destinado à realização das

atividades esportivas. As posições 1, 2 e 3 restantes estão associadas às reduções de 7,7%, 4,9% e 4,5% respectivamente.

c) Sala de artes: influência da educação física (fontes externas)

Os níveis de pressão sonora equivalentes por ponto de medição na sala de artes, sob a influência da educação física, podem ser observados na Figura 73.

Figura 73 – Níveis de pressão sonora por ponto na sala de artes, sob a influência da educação física.



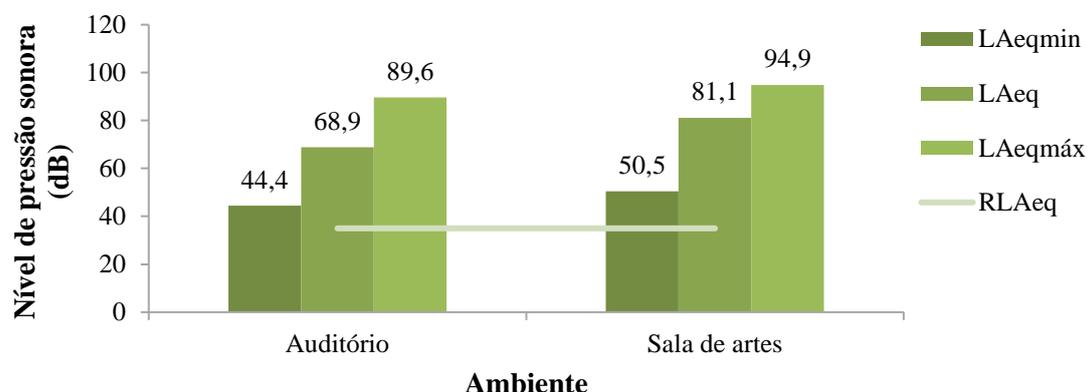
Fonte: Autora.

Ao se observarem os resultados sob a influência da educação física, constatou-se que a posição 2, na sala de artes, ficou caracterizada como aquela com o mais elevado nível de pressão sonora equivalente por ponto (LAeq,20min,p2), com 76,0 dB e pode ser identificada como o ponto em que o instrumento estava mais próximo da vedação do quadro (espessura de 12 cm), da porta e do local onde ocorria a atividade cuja influência estava sendo avaliada. As posições 1 e 3 restantes estão associadas às reduções de 3,4% e 2,2% respectivamente.

d) Comparativo entre o auditório e a sala de artes com atividades normais (fontes internas)

Estabelecendo-se um comparativo entre a sala de artes e o auditório, pode-se observar os níveis de pressão sonora globais dos ambientes na Figura 74, durante as atividades normais de sala de aula, bem como o limite estabelecido na NBR 10152 (ABNT, 2017).

Figura 74 – Comparativo entre os níveis de pressão sonora globais do auditório e da sala de artes, durante atividades normais.



Fonte: Autora.

De acordo com os resultados obtidos, observa-se que o auditório apresentou nível equivalente global (LAeq de 68,9 dB) próximo ao esperado para a fala humana, que é de 65 dB (GEMELLI, 2009; JORNAL DA UNICAMP, 2014). Este fato condiz com a atividade avaliada, em que se percebe uma maior predominância da fala do professor e não deve ser interpretado como som de conotação negativa (BISTAFA, 2016).

Ao se comparar o auditório com a sala de artes, durante as atividades normais, percebe-se uma redução expressiva no valor de 15,0% entre os níveis sonoros equivalentes globais. Isto se deve, provavelmente, ao tamanho da sua envoltória (121,4 m²) cerca de três vezes maior que a da sala de artes, com apenas 40 m². Do ponto de vista da sensação acústica, em ambos os ambientes, foi notório o aumento do volume do som no ambiente menor (sala de artes) pelos operadores no momento de medição.

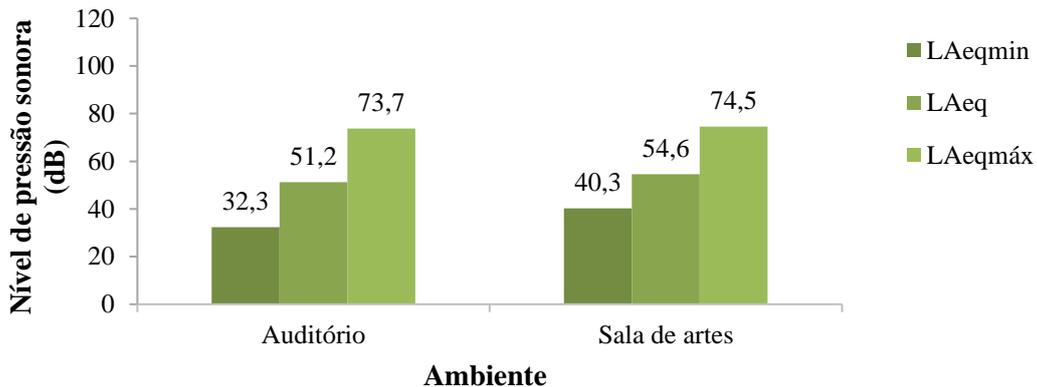
Conforme Bistafa (2016), o som se propaga, geralmente, em ondas sonoras esféricas e em todas as direções, com uma área menor e superfícies mais reflexivas, a tendência é manter energia acústica por mais tempo no local.

Todos os níveis equivalentes globais obtidos na sala de artes e no auditório, durante as atividades normais, encontravam-se acima do limite estabelecido pela NBR 10152 (ABNT, 2017) para salas de aula, de 35 dB – novamente cabe a ressalva de este ser um valor muito baixo para o observado na prática segunda a finalidade de uso (aplicação recomendada pela referida normativa).

e) *Comparativo entre o auditório e a sala de artes com influência da educação física (fontes externas)*

Os níveis de pressão sonora globais observados, ao se alterarem a atividade monitorada e as fontes sonoras de internas para externas aos ambientes avaliados, podem ser observados na Figura 75.

Figura 75 – Comparativo entre os valores globais de níveis de pressão sonora do auditório e da sala de artes, sob a influência da educação física, sem alunos nos ambientes avaliados.



Fonte: Autora.

Neste caso com a fonte sonora externa, a variação entre os níveis sonoros globais dos ambientes não é tão expressiva, acarretando em uma redução de apenas 6,2% do auditório em relação a sala de artes. Além disso, o ambiente de maiores dimensões se caracteriza, mais uma vez, como o de menor nível de pressão sonora equivalente global coletado diante do comparativo estabelecido, representando uma melhoria no conforto acústico associada a ambientes de maior envoltória.

5.2.1.6 Panorama geral dos ambientes sob a análise da Organização Mundial de Saúde (OMS)

Os níveis de pressão sonora equivalentes globais obtidos por ambiente durante as atividades normais foram avaliados perante os limites de ruídos de exposição dos seres humanos recomendados pela OMS (Quadro 1) para ambientes internos, como pode ser observado na Tabela 34.

Tabela 34 – Níveis de pressão sonora globais dos ambientes avaliados durante as atividades normais sob a análise da OMS.

Ambiente	Atividade	Níveis de pressão sonora (dB)		
		LAeqmín	LAeq	LAeqmáx
Sala 2	Atividades normais	48,7	74,3	92,8
Sala 6	Atividades normais	48,0	71,3	87,9
Sala 9	Atividades normais	49,0	79,9	101,5
Sala de artes	Atividades normais	50,5	81,1	94,9
Auditório	Atividades normais	44,4	68,9	89,6
Quadra esportiva	Educação física	56,3	78,7	94,2
Corredor	Recreio	61,6	81,1	100,4
Não aceitável pela OMS				
Aceitável pela OMS				

Fonte: Autora.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) estabelece em 50 dB o limite de nível de ruído confortável para o ouvido humano. Como consequência, ao se expor a ruídos exacerbados, acima de 70 dB, por maior quantidade de tempo, a pessoa pode adquirir enfermidades associadas à audição e ao bem-estar e à qualidade de vida, como alterações transitórias de audição, estresse, distúrbios do sono ou enxaqueca (FREITAS *et al.*, 2017). Evidencia-se ainda que tanto professores como operadores dos ensaios relataram sentirem dores de cabeça durante algumas medições.

Os limites de exposição como prevenção para danos à saúde indicados pela OMS foram comparados não só ao nível equivalente global representativo dos ambientes (LAeq), mas também aos equivalentes mínimo e máximo globais pelo fato destes estarem vinculados às vozes de professores e alunos ao longo da realização das atividades comuns a estes ambientes. Assim como, pelo fato de que estes valores foram coletados nos ambientes avaliados, fazendo parte da composição e amplitude dos níveis sonoros aos quais os usuários estão expostos diariamente.

5.2.2 Isolamento acústico do sistema de vedações verticais internas e externa

Os resultados obtidos nas medições de desempenho acústico para os sistemas de vedação vertical interna da edificação em estudo podem ser visualizados na Tabela 35.

Tabela 35 – Capacidade de isolamento acústico observados para os SVVIs da edificação.

Tipo de sistema de vedação	Elemento				D _{nT,w}				Tr 500 Hz (s)
	Emissão	Recepção	Espessura (cm)	Tipo	Valor 1 (dB)	Valor 2 (dB)	Valor 3 (dB)	Mínimo (dB)	
SVVI	Sala 1	Sala 2	12	1	40	41	41	40	0,54
	Sala 2	Sala 1	12	1	42	44	43	42	0,84
	Sala 5	Sala 4	24	2	41	42	40	40	0,70
	Sala 6	Sala 5	12	1	44	44	45	44	0,60
	Sala 7	Sala 6	12	1	39	39	40	39	0,52
	Sala 9	Sala 8	12	1	38	38	38	38	0,77
	Auditório	Sala de artes	12	1	40	41	40	40	0,84
	Sala 2	Corredor	12	1	32	30	29	29	0,65
	Corredor	Sala 2	12	1	27	30	28	27	1,13

D_{nT,w} – Diferença Padronizada de Nível Ponderada de acordo com a ISO 717 (ISO, 2013);

SVVI – Sistema de vedação vertical interna; Tr – tempo de reverberação.

Fonte: Autora.

Levando-se em consideração apenas os valores mínimos obtidos e tendo-se em vista os critérios estabelecidos em 45 dB pelo decreto-lei 96/2008 de Portugal e pelo BB93 (2003), e de 48 dB para as normativas ANSI S12.60 (2009) e AS/NZ 2107 (2000), nenhuma das vedações verticais internas, Tabela 35, está em conformidade com o desempenho acústico mínimo exigido.

Vale salientar que a única vedação tipo 2 da amostra (tipologia atribuída nesta pesquisa, conforme demonstrado no Capítulo 3) com 24 cm de espessura (Tabela 35) que se encontra entre as salas 5 e 6 obteve um índice de atenuação correspondente a 44dB, estando apenas 2,2% abaixo do limite mínimo estabelecido em 45dB por normativas internacionais (decreto-lei 96/2008; BB93, 2003). Isto pode ter ocorrido pois o acréscimo de massa implica no aumento da capacidade de isolamento da vedação (Lei das Massas), de acordo com Souza, Almeida e Bragança (2016). Este acréscimo correspondeu, no caso estudado, a um aumento de 10,5% sobre a capacidade de isolamento média das demais vedações avaliadas entre salas de aulas.

Neto e Bertoli (2010) afirmam que a Lei das Massas é usualmente a primeira justificativa para os resultados de desempenho. Porém, discordam do seu uso indiscriminado na Construção Civil, uma vez que a espessura não é o único parâmetro que justifique o desempenho, mas o sistema construtivo como um todo. Fatores como montagem das vedações, esquadrias, falhas construtivas, rigidez e amortecimento interno influenciam além da massa.

Andrade, Cordeiro e Lordsleem Jr (2016) realizaram um estudo de avaliação da capacidade de isolamento de vedações verticais internas externas em edificações escolares, porém com

método de construção convencional. Com resultados variando entre 41 dB e 49 dB para os SVVI, encontraram 59% das vedações internas em desconformidade com o desempenho acústico mínimo exigido, segundo o decreto-lei 96/2008 de Portugal e o BB93 (2003) de 45 dB, e um valor ainda maior, 94%, quando a exigência aumenta para 48 dB.

Com relação a SVVI entre sala 2 e corredor, que foi acrescentada à amostra de ensaios após queixas de professores quanto a ruídos externos às salas de aula, conforme explicitado no Capítulo 4, observou-se valores demasiadamente menores em relação às vedações entre salas de aula (com média global igual a 40 dB). Apresentando uma redução de 28,2% no sentido sala 2/corredor e de 33,2% no sentido corredor/sala 2 sobre a capacidade de isolamento global – comprovando assim a ineficiência e o incômodo constatados pelos professores.

Uma hipótese para a diferença tão acentuada na capacidade de isolamento da vedação interna entre a sala 2 e o corredor está no fato de que superfícies heterogêneas, ou seja, compostas de diferentes componentes (paredes com janelas, por exemplo) apresentam menor isolamento do que as homogêneas de mesmo material (SOUZA, ALMEIDA, BRAGANÇA, 2016) – caso da situação avaliada, em que as demais vedações não continham portas, como é o caso da SVVI em questão. Ainda de acordo com Souza, Almeida e Bragança (2016) o preenchimento das bordas e orifícios é primordial, espaços deixados entre portas e soleiras são caracterizados como pontos de transmissão do som.

É importante mencionar que o intuito principal dos ensaios de desempenho acústico nesta pesquisa foi aferir a capacidade de isolamento das vedações, tanto num mesmo pavimento quanto ao longo dos pavimentos, para verificar possíveis erros de execução, conforme indicado na Figura 36, uma vez que a implantação de *drywalls* não é uma prática comum na cidade do Recife e requer mão de obra especializada.

Dito isto, podem ter ocorrido falhas na etapa de execução, pois ao se analisar os resultados entre a sala 1/sala 2 e a sala 2/sala 1 (Tabela 35), que se trata da mesma vedação, entre duas salas com características construtivas muito semelhantes e dimensões iguais (40m² cada) foram observados valores diferentes de isolamento para cada lado do mesmo *drywall* (4,8% de redução no sentido sala 1/sala 2). Também são observadas diferenças pontuais que podem indicar problemas de execução: ao longo dos pavimentos se verifica 5% de redução para a vedação sala 9/sala 8, com 38 dB, em relação à média da capacidade de isolamento de todas as

SVVIs avaliadas, que é de aproximadamente 40 dB; e para as vedações ao longo do primeiro pavimento há uma diminuição de apenas 2,5% em relação à média, com 39 dB, para a vedação sala 7/sala 6. No entanto, há de convir a influência das esquadrias que possuem áreas diferentes dentre as salas de aula (Tabela 15) ou até mesmo devido a diferenças ocasionadas na vedação destas janelas, fatores que influenciam no resultado final da capacidade de isolamento conforme mencionado anteriormente.

Com relação aos tempos de reverberação obtidos para todos os ambientes analisados da edificação em estudo, de acordo com os intervalos fixados por Tadeu (2000), entre 0,8s e 1,5s, apenas os intervalos associados às salas 1, 2 e de artes atingiram o tempo de reverberação recomendado para finalidade de uso de salas de aula ou leitura – correspondendo a 33,3% dos tempos avaliados. Já, segundo Gemelli (2009), que limita valores em torno de 0,6s de acordo com o volume do local (até 200m³), 55,5% dos tempos avaliados (Tabela 35) se encontraram próximos ao valor estipulado, com exceção dos intervalos relacionados às salas 1, 2, 8 e de artes, nos valores de 0,84s, 1,13s, 0,77s e 1,13s respectivamente. Destaca-se que o único ambiente que não atendeu a nenhuma dos critérios correspondeu à sala 8, com 0,77s.

É interessante observar que as coletas do tempo de reverberação na sala 2 apresentaram dois intervalos muito distantes entre si, 0,54s e 1,13s, para as seguintes situações: corredor/sala 2 e sala 1/sala 2, respectivamente. Possivelmente, isto ocorreu devido à metodologia de ensaio empregada diferente do padrão na situação entre corredor e sala 2, visto que a área de circulação é vazada e os ensaios de desempenho acústico se dão, geralmente, sobre recintos fechados, desde o primeiro procedimento (emissão), Figura 35. Além disso, pode-se constatar também uma diferença considerável entre os tempos de reverberação encontrados nos sentidos do ensaio de Sala 2/Corredor (0,65s) e Corredor/Sala 2 (1,13s). Isto pode ser explicado devido ao fato de que ambientes vazados permitem uma maior e mais rápida dissipação do ruído existente e, portanto, o som permanece menos tempo no mesmo ambiente (DALVITE *et al.*, 2007; SOUZA, ALMEIDA, BRAGANÇA, 2016).

Destaca-se que os tempos de reverberação, de modo geral, foram baixos, fato que pode estar associado ao uso do forro mineral nos ambientes avaliados. Pois de acordo com pesquisa baseada no isolamento acústico alcançado pela implementação de elementos sustentáveis, realizada por Formolo *et al.* (2017), pode-se afirmar que o tipo de forro mineral utilizado nas

salas de aula converte parte do som que incide sobre ele em calor. Quanto maior a parcela absorvida, portanto, maior o seu isolamento acústico.

Em sua pesquisa, Gemelli (2009) encontrou 1,13s e 1,53s para as vedações internas entre salas de aula analisadas e justificou o comportamento observado devido à existência de um efeito de “sombreamento” na fala, no interior dos ambientes, o que implicou em uma baixa absorvidade das superfícies.

Dalvite *et al.* (2007) verificaram, quanto ao tempo de reverberação, a ausência de preocupação com o tratamento acústico de ambientes nas escolas da rede pública de Santa Maria que avaliaram, em seus estudos de caso. Os autores afirmaram que a maioria dos materiais de revestimento eram rígidos e, portanto, muito reflexíveis, o que garante uma permanência prolongada e inadequada do som nas salas, prejudicando a inteligibilidade das palavras.

5.3 Medições térmicas

Nos tópicos seguintes estão dispostos os resultados das medições térmicas realizadas sobre as superfícies e os ambientes avaliados, tanto com relação ao conforto quanto ao desempenho térmico proporcionados.

5.3.1 *Temperatura e umidade relativa do ar*

Os resultados das medições térmicas nos ambientes, assim como verificado nas medições acústicas, foram dispostos de acordo com o tipo de ambiente monitorado (externo ou interno). E a análise dos dados térmicos se deu a partir de um comparativo entre as condições avaliadas do ambiente interno (aberto, fechado, com e sem a presença de alunos) e o ambiente externo durante o mesmo período de monitoramento.

Em seguida, os valores obtidos foram comparados com: as condições climáticas ideais de conforto mais indicadas para Recife de acordo com a literatura; os critérios estabelecidos para satisfação dos usuários e adequado desempenho das edificações presentes na NBR 15575 (ABNT, 2013); e os valores obtidos pela estação meteorológica convencional de referência, demonstrando os reflexos das ações antrópicas.

5.3.1.1 Sensor externo

Considerando as especificações descritas no Quadro 4 do Capítulo 2 que trata dos critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de verão, as temperaturas e umidades máximas, mínimas e médias do sensor instalado no ambiente externo à edificação escolar estudada e à sombra, são mostrados na Tabela 36, assim como os dados fornecidos pela estação de referência. Entre outros fatores, estas medições objetivaram estabelecer comparativos com as temperaturas internas das salas de aula avaliadas, seguindo-se a NBR 15575 (ABNT, 2013).

Tabela 36 – Temperaturas e umidades relativas do ar registradas pelo sensor externo ao longo dos dias de monitoramento e pela estação de referência.

Data	Temperatura			Umidade relativa (UR)			Estação de referência (INMET)	
	Máx (°C)	Mín (°C)	Média (°C)	Máx (%)	Mín (%)	Média (%)	TCM (°C)	UR (%)
22/01/2018	32,4	29,6	30,6	62,8	52,5	57,5	27,0	70,5
23/01/2018	32,0	28,5	30,5	69,2	58,1	62,9	26,8	71,3
24/01/2018	32,6	29,4	31,1	65,0	53,0	58,3	27,1	74,8
25/01/2018	32,7	29,7	31,5	63,7	53,3	56,9	26,6	74,0
26/01/2018	33,1	30,2	31,8	58,9	50,9	54,8	27,0	73,3
27/01/2018	31,5	29,3	30,8	60,4	52,5	55,8	27,6	69,3
28/01/2018	31,3	30,1	30,6	65,4	56,0	59,8	27,0	74,8
29/01/2018	32,7	29,7	31,5	64,1	53,3	57,8	27,5	69,0
30/01/2018	33,3	30,1	31,9	59,3	50,0	54,9	28,1	72,0
31/01/2018	32,9	30,4	31,9	60,4	51,6	56,2	28,3	72,3
26/02/2018	38,1	29,2	31,7	65,3	43,2	57,2	26,9	74,8
27/02/2018	37,5	30,2	32,1	65,7	46,0	59,4	27,2	75,0
28/02/2018	36,6	30,1	31,6	70,0	52,3	62,2	27,1	77,0
01/03/2018	35,7	29,6	31,6	74,9	52,5	63,5	27,2	76,8
02/03/2018	38,6	29,8	32,2	70,7	43,0	60,2	27,2	74,8
Média	34,1	29,7	31,4	65,1	51,2	58,5	27,2	73,3
Desvio padrão (σ)	2,4	0,5	0,5	4,4	4,1	2,7	0,4	2,4

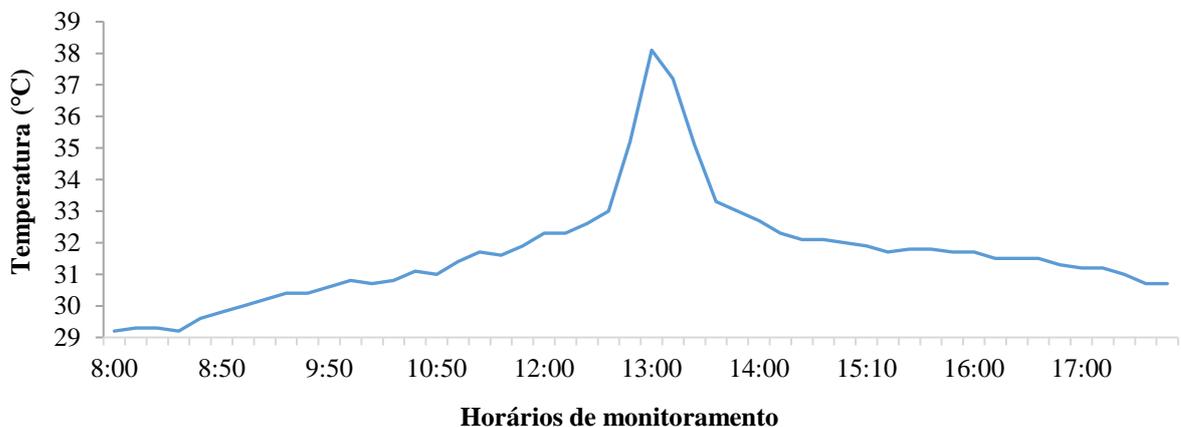
Fonte: Autora.

Na semana de monitoramento com a presença dos alunos (de 26 de fevereiro a 2 de março de 2018), o sensor externo registrou as temperaturas mais elevadas entre 12h50min e 13h10min da tarde, durante todos os dias. De modo geral, percebe-se um comportamento constante no ambiente externo neste período de aulas, marcado por uma amplitude diária expressiva (entre 6°C e 9°C), com um pico evidenciado no início das tardes. Ao se observar a Figura 76, nota-se um aumento significativo de temperatura às 13h no dia 26 de fevereiro, chegando a um valor externo máximo de 38,1 °C. A amplitude das temperaturas para o ambiente externo, no período

de férias (de 22 a 31 de janeiro de 2018), não foi tão expressiva (até 3,5°C), Tabela 36. Porém, o horário de pico se manteve o mesmo, ou seja, no início da tarde.

Ressalta-se, inclusive, que no dia 26 de fevereiro as condições atmosféricas eram normais (sem precipitações observadas), com umidade relativa do ar detectada pelo sensor externo neste horário (13h) igual a 43,2% e condições ambientais, de acordo com a estação de referência, localizada no bairro do Curado, conforme dados disponibilizados pelo INMET (2019) no Anexo D, de temperatura compensada, umidade relativa e velocidade do ar médias diárias registradas em 26,9°C, 74,8% e 2,1m/s respectivamente.

Figura 76 – Temperaturas registradas pelo sensor externo no dia 26 de fevereiro de 2018.



Fonte: Autora.

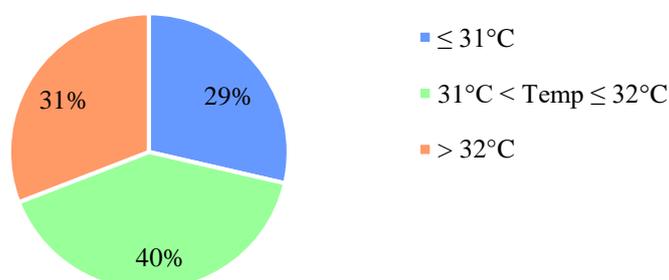
Acredita-se que tal comportamento durante o período de aulas ocorre, portanto, devido à saída contínua de carros neste horário, em que os pais chegam para buscar os filhos, mas permanecem com os veículos ligados na saída para pedestres e com isto dificultam a entrada e saída de ar naquele local, que antes correspondia a um abertura responsável pela renovação do ar. Além de se tornar uma nova fonte de calor gerada pelos motores dos carros e aquecer o ambiente por advecção (calor transportado por movimentos horizontais do ar), de acordo com Viana (2013).

A partir da análise da Figura 76, percebe-se a necessidade de se verificar a incidência das temperaturas, principalmente, no caso do sensor externo, pois um valor médio não representa as variações de temperatura constatadas. Estudos semelhantes, como os de Gemelli (2009) e Hamzah *et al.* (2016), também realizaram este tipo de verificação. Além disso, deve-se levar em consideração ainda as peculiaridades de cada local, tornando-se inadequado aplicar as mesmas condições observadas para este estudo, com características climáticas diferentes.

Sabe-se que os valores de temperatura associados ao Nordeste são demasiadamente altos. Por este motivo, não poderiam ser utilizadas as mesmas faixas de temperatura de estudos como o de Gemelli (2009), que ocorreu na região Sul, assim como a SNI 6390 (SNI, 2011), norma da Indonésia, que apesar de estar focada em locais de clima quente e úmido, recomenda temperaturas que também não segregariam os valores obtidos adequadamente, gerando apenas uma grande faixa de desconforto por calor (temperaturas acima de 27,1°C). Sem possibilitar estabelecer diferenciação alguma entre as incidências registradas em ambientes diferentes, porém com temperaturas bastante elevadas, como é o caso deste estudo. Logo, houve a necessidade de se criarem faixas de temperatura variando em: menor ou igual a 31°C, de 31°C até 32°C, e maior que 32°C, que melhor caracterizam os valores obtidos, dentro da realidade observada.

A análise da incidência das temperaturas, a cada 10 minutos das 8hrs às 18hrs, durante o período de monitoramento, com a presença dos alunos, pode ser observada na Figura 77.

Figura 77 – Incidência das temperaturas registradas no sensor externo durante o período de monitoramento, com a presença dos alunos.

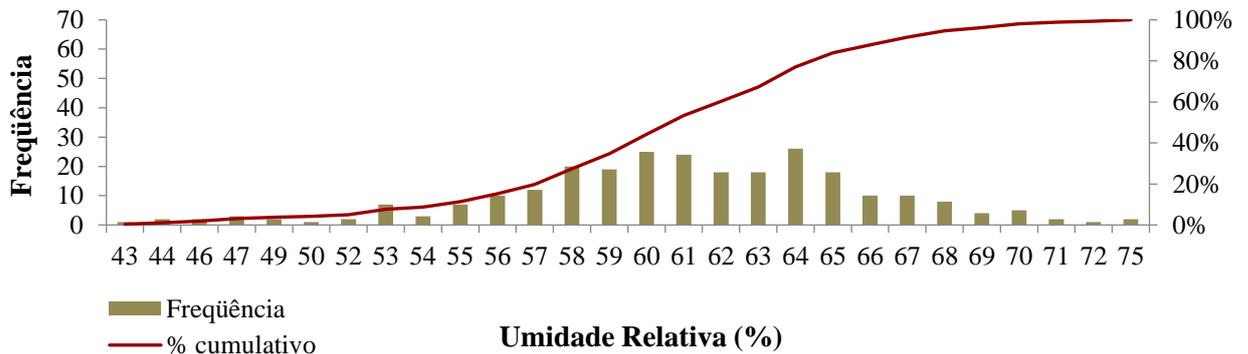


Fonte: Autora.

Observa-se, portanto, que o maior percentual dos dados ao longo do tempo de verificação (40%) se apresentou para as temperaturas de 31°C até 32°C, na chamada faixa intermediária, durante este período de monitoramento. Seguido de 31% deste tempo com temperaturas maiores que 32°C, e 29% do tempo de verificação com temperaturas menores ou iguais a 31°C. Tais resultados estão coerentes, pois o verão recifense é caracterizado por apresentar valores altos de temperatura (acima de 26°C) e valores mais baixos de umidade relativa do ar e de velocidade dos ventos, principalmente quando comparado ao inverno (FREITAS, AZERÊDO, 2014; MOREIRA *et al.*, 2017).

Na análise dos valores de umidade, verifica-se uma distribuição com grande variabilidade (Figura 78), com valores entre 43% e 74,9%, constata-se uma amplitude para a semana de monitoramento com os alunos igual a 31,9%. Dentre os resultados, a faixa de umidade relativa do ar de maior frequência (26 das 262 leituras efetuadas) se identifica como aquela entre 63,1% e 64%, alcançando um valor médio igual a 60,5%.

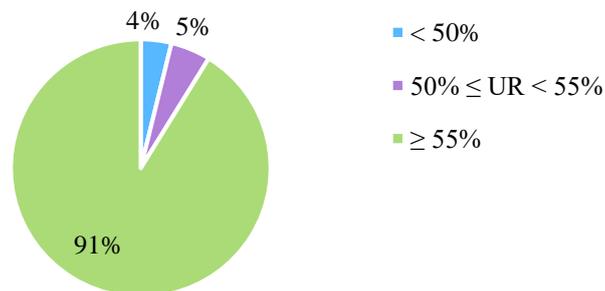
Figura 78 – Histograma dos registros de umidade relativa do ar coletados pelo sensor externo durante o período de monitoramento com a presença dos alunos.



Fonte: Autora.

De forma análoga à temperatura, os resultados de umidade relativa também foram filtrados em três faixas, conforme indicado na Figura 79.

Figura 79 – Incidência das umidades relativas (UR) do ar registradas no sensor externo durante o período de monitoramento com a presença dos alunos.



Fonte: Autora.

Percebe-se que o maior percentual do tempo de verificação (91%) se apresentou para as umidades maiores ou iguais a 55%, corroborando com o fato de que valores em torno de 70% são característicos do clima tropical litorâneo quente e úmido (FROTA, SCHIFFER, 2001).

Seguido do percentual de apenas 5% referente à faixa intermediária entre 50% e 55% e por fim o percentual com 4% correspondente aos valores inferiores a 50%.

5.3.1.2 Salas de aula

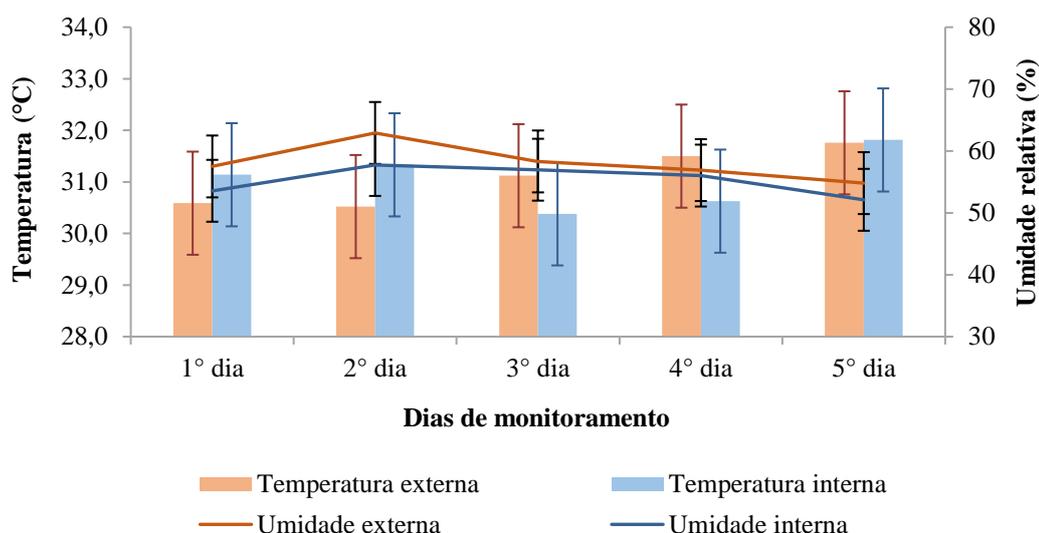
Neste tópico são apresentados os valores de temperatura e umidade relativa do ar obtidos para a sala 4 e a sala de artes da edificação escolar sustentável estudada, segundo três condições: I) portas e janelas abertas sem alunos; II) portas e janelas fechadas sem alunos; e III) portas e janelas abertas com a presença de alunos.

a) Sala 4

I) Condição: janelas e portas abertas sem alunos

No que diz respeito às medições térmicas realizadas no ambiente interno, os quantitativos médios diários de temperatura e umidade relativa do ar da sala 4 estão demonstrados na Figura 80. Os valores referentes ao sensor externo também são indicados para análise, enquanto a Tabela 37 apresenta a verificação do nível de desempenho térmico alcançado pelo envelope da sala 4, segundo os critérios indicados na NBR 15575 (ABNT, 2013).

Figura 80 – Dados climáticos médios diários do sensor externo e da sala 4 na condição janelas e portas abertas, sem alunos.



Fonte: Autora.

Tabela 37 - Verificação do nível de desempenho térmico na sala 4 na condição janelas e portas abertas, sem alunos.

Data	Tmáx Interna(°C)	Tmín Interna (°C)	Tmáx Externa (°C)	Tmín Externa(°C)	Nível de desempenho
22/01/2018	32,1	30,0	32,4	29,6	M
23/01/2018	32,6	29,0	32,0	28,5	In
24/01/2018	31,1	29,5	32,6	29,4	I
25/01/2018	31,7	29,4	32,7	29,7	I
26/01/2018	32,5	30,1	33,1	30,2	M
Média	32,0	29,6	32,6	29,5	M

M – Mínimo; I – Intermediário; In – Ineficiente.

Fonte: Autora.

A partir dos valores médios dispostos na Figura 80, após observação da sobreposição das barras de erros correspondentes à acurácia dos sensores utilizados nesta pesquisa ($\pm 1^\circ\text{C}$ e $\pm 5\%$), constata-se que não há diferenciação significativa entre os valores de temperatura e umidade, seja para o mesmo ambiente ou ao se comparar os ambientes interno e externo, ao longo dos dias de monitoramento.

Percebe-se que no primeiro e no último dia de verificação, o nível de desempenho alcançado foi correspondente ao mínimo necessário para o adequado funcionamento da edificação, conforme descreve a NBR 15575 (ABNT, 2013). Em dois dias esse nível se mostrou intermediário, enquanto no segundo dia de verificação, o nível se mostrou ineficiente tornando o ambiente inadequado termicamente naquele dia em específico (Tabela 37).

Neste caso, por se encontrar a sala aberta sem a presença de alunos, era esperado que se demonstrassem, em todos os dias, níveis de desempenho superiores ou pelo menos intermediários devido à inserção de elementos construtivos (brises e isoestes, por exemplo), que potencializam o adequado funcionamento térmico da edificação.

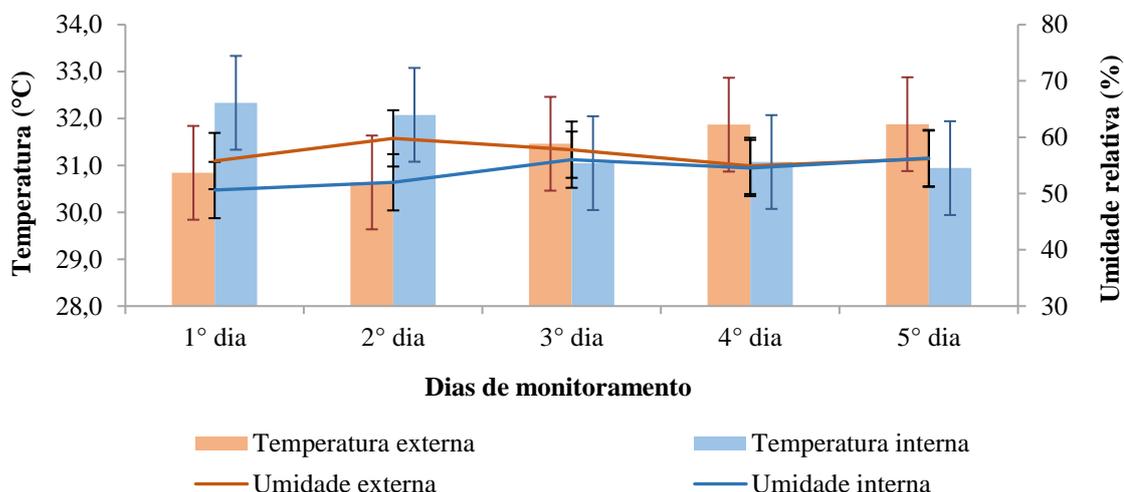
Tomando-se por base as temperaturas médias máxima e mínima interna e média máxima externa, a fim de estabelecer um critério médio que representasse o ambiente, observou-se que a sala 4 atinge o desempenho térmico mínimo em média, disposto na NBR 15575 (ABNT, 2013), conforme demonstrado na Tabela 37.

II) *Condição: janelas e portas fechadas sem alunos*

Já para a condição de janelas e porta fechadas, a Figura 81 apresenta as temperaturas e umidades médias externas e internas medidas diariamente na sala 4.

A verificação do nível de desempenho térmico obtido a partir dos critérios estabelecidos na NBR 15575 (ABNT, 2013) está apresentada na Tabela 38. É importante destacar que a referida norma associa estes critérios a ambientes internos e externos com ventilação natural e sem ocupação, no entanto, para verificar o atendimento ou não segundo todas as condições possíveis, foi estabelecida esta avaliação também na condição janelas e portas fechadas.

Figura 81 – Dados climáticos médios diários do sensor externo e da sala 4 na condição janelas e portas fechadas, sem alunos.



Fonte: Autora.

Tabela 38 - Verificação do nível de desempenho térmico na sala 4 na condição janelas e portas fechadas, sem alunos.

Data	Tmáx Interna(°C)	Tmín Interna (°C)	Tmáx Externa(°C)	Tmín Externa(°C)	Nível de desempenho
27/01/2018	32,7	31,1	33,1	29,3	In
28/01/2018	32,3	30,8	31,5	30,1	In
29/01/2018	32,1	29,5	31,3	29,7	M
30/01/2018	32,3	29,9	32,7	30,1	I
31/01/2018	32,5	29,9	33,3	30,4	M
Média	32,4	30,2	32,4	29,9	M

M – Mínimo; I – Intermediário; In – Ineficiente;

Fonte: Autora.

Levando-se em consideração apenas os valores médios na Figura 81, constatou-se que não há diferenciação entre os valores de temperatura e umidade, tanto ao longo dos dias para o mesmo ambiente, quanto entre os ambientes externo e interno.

Conforme pode ser visualizado na Tabela 38, os dois primeiros dias de verificação apresentaram nível de desempenho ineficiente, e por consequência, o ambiente se torna termicamente inadequado. Isso acontece, provavelmente, pela verificação ter sido feita no verão, onde as chuvas são mais frequentes e as temperaturas mais elevadas. Para os demais dias, o nível se mantém entre o mínimo aceitável e o intermediário.

Como forma de analisar o desempenho geral na condição de portas e janelas fechadas, foi adquirida a média das temperaturas em todos os dias nesta condição, o que determinou um nível de desempenho mínimo aceitável, em termos de desempenho térmico. Este nível é aceitável, porém não é recomendável pela NBR 15575 (ABNT, 2013), mesmo que essa condição seja apenas hipotética, pois a sala não foi projetada para ser utilizada completamente fechada.

Comparando-se as Tabelas 37 e 38, percebem-se valores numéricos máximos e mínimos menores de temperatura interna para a sala 4 na condição completamente aberta, o que acarretou melhores níveis de desempenho térmico para esta condição. Isto ocorre pois há uma menor concentração de massas de ar quente, ou seja, há uma maior dispersão do calor no ambiente aberto. As sensações térmicas, por sua vez, correspondem aos critérios de mínimo, intermediário e superior que são estabelecidos pela NBR 15575 (ABNT, 2013) para satisfazer o usuário (conforto térmico).

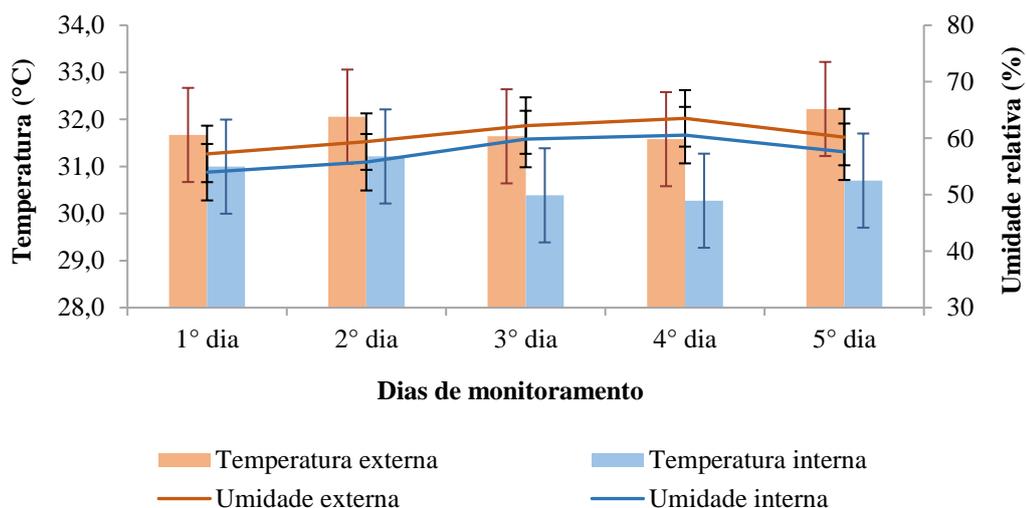
Pacheco *et al.* (2013), corrobora o que foi observado quando relata que a desumidificação dos ambientes visa melhorar as sensações térmicas e que esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes.

III) Condição: janelas e porta abertas com alunos

Os valores médios de temperatura e umidade relativa do ar coletados na sala 4, na condição de janelas e portas abertas com a presença dos alunos, assim como do ambiente externo são apresentados na Figura 82.

O desempenho térmico da sala 4, na condição janelas e portas abertas com a presença dos alunos, é analisado a partir dos valores máximos e mínimos externos e internos diários, conforme evidenciado na Tabela 39. Os critérios utilizados na avaliação são os recomendados pela NBR 15575 (ABNT, 2013).

Figura 82 – Dados climáticos médios diários do sensor externo e da sala 4 na condição janelas e portas abertas, com a presença dos alunos.



Fonte: Autora.

Tabela 39 - Verificação do nível de desempenho térmico na sala 4 na condição janelas e portas abertas, com a presença dos alunos.

Data	Tmáx Interna(°C)	Tmín Interna (°C)	Tmáx Externa(°C)	Tmín Externa(°C)	Nível de desempenho
26/02/2018	32,9	29,5	38,1	30,2	S
27/02/2018	32,7	29,9	37,5	29,3	S
28/02/2018	32,1	28,1	36,6	30,1	S
01/03/2018	31,6	29,4	35,7	29,6	S
02/03/2018	32,3	29,8	38,6	29,8	S
Média	32,3	29,3	37,3	29,8	S

S - Superior

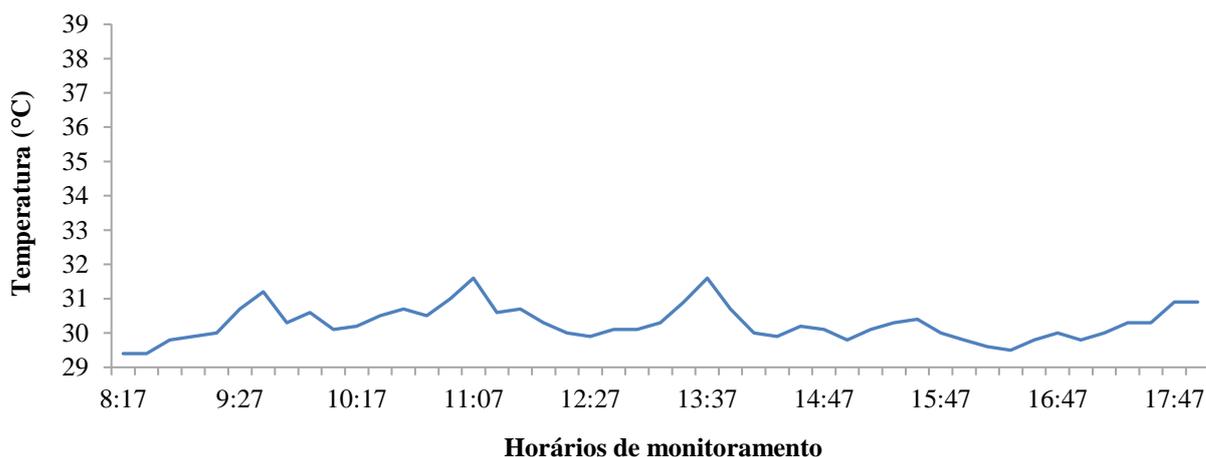
Fonte: Autora.

Diante dos valores médios demonstrados na Figura 82, observa-se que não há diferenciação entre os valores temperatura e umidade. Tanto ao longo dos dias para o mesmo ambiente, quanto entre os ambientes externo e interno – fato que pode estar associado a uma falha na capacidade de efetuar o isolamento térmico por parte da edificação, uma vez que o calor externo está se inserindo no ambiente interno.

Os valores expostos na Tabela 39, mostram uma funcionalidade superior ao sistema e isto se deve, principalmente, à época de monitoramento destacada, levando a resultados favoráveis. As temperaturas máximas e mínimas externas foram superiores às máximas e mínimas internas no período próximo de medição ao final do verão, onde existe uma diminuição das temperaturas e principalmente uma maior incidência dos ventos. A área de estudo da pesquisa se localiza em uma região tropical litorânea quente e úmida, que não possui estações bem definidas. O mês de março acaba sendo marcado por uma transição sutil de estações, finalizando assim o verão (SILVA, 2018).

Além dos valores médios de temperatura, pode-se demonstrar ainda o comportamento interno da sala a partir da distribuição das temperaturas registradas, conforme a Figura 83, a qual apresenta os valores de temperatura na sala 4 para um dia em específico do programa de medição. Evidencia-se que não existe um horário específico de pico de temperatura, como observado no caso do sensor externo (Figura 76), porém as temperaturas são bem próximas, ou seja, a amplitude diária é pequena (média de 3°C) para o período de monitoramento em época de aula. Desta forma, percebe-se uma distribuição marcada por pequenos saltos ao longo do mesmo dia de observação.

Figura 83 – Temperaturas registradas na sala 4 no dia 1 de março de 2018, na condição janelas e portas abertas, com alunos.



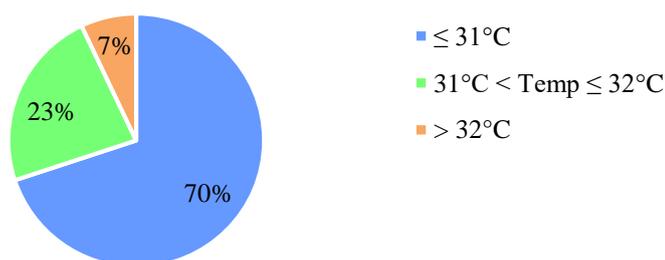
Fonte: Aurora.

Com relação aos fatores ambientais da edificação que influenciam as temperaturas mínimas e máximas observadas no ambiente interno, destaca-se que as temperaturas internas mínimas e médias são amenizadas pela inércia térmica da edificação, enquanto que as temperaturas

internas máximas são influenciadas pelos ganhos térmicos solares e pela ventilação do ambiente, e por isso têm relação forte com a média da temperatura externa do mesmo dia (ABREU, 2004).

A partir dos altos percentuais de satisfação (59%) demonstrados no item 5.1.1 para sala 4 aberta com a presença de alunos e sem ar condicionado, optou-se por segregar os resultados de temperatura obtidos a fim de detectar a faixa predominante que poderia corresponder às condições ideais de conforto para os usuários nos ambientes avaliados. Sendo assim, avaliou-se a incidência das temperaturas registradas pelo sensor da sala 4, mantendo-se as faixas de temperatura utilizadas no sensor externo (menor ou igual a 31°C, a partir de 31°C até 32°C, e maior que 32°C) para efeitos de comparação, como pode ser constatado na Figura 84.

Figura 84 - Incidência das temperaturas registradas na sala 4 aberta durante o período de monitoramento, com a presença dos alunos.



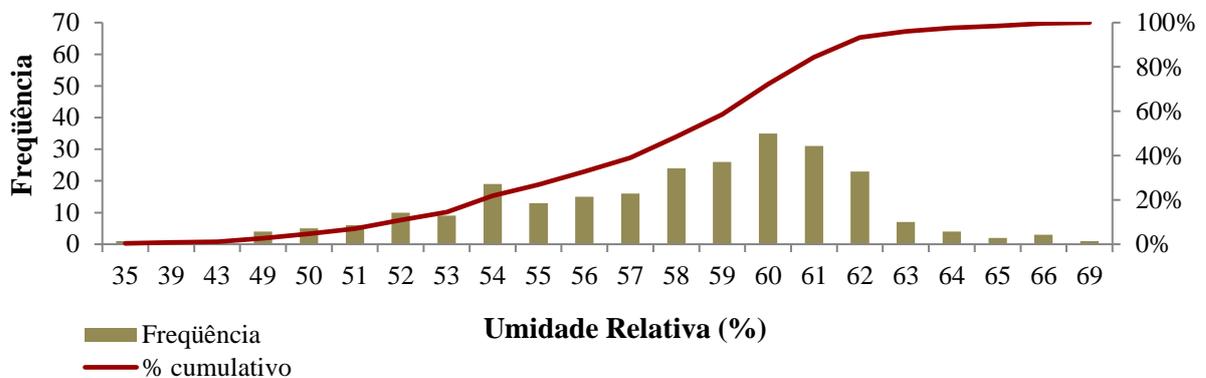
Fonte: Autora.

Nota-se na referida figura, um percentual maior para as temperaturas mais amenas (70%), correspondendo aos valores abaixo de 31°C – este conjunto de temperaturas predominantes representa a condição pela qual 59% dos usuários respondentes estavam satisfeitos com a condição térmica do local. Quando estabelecida a respectiva comparação com os resultados do sensor externo, constatou-se uma incidência de apenas 29% para o mesmo conjunto de temperaturas (Figura 77). Para a faixa intermediária (variando de 31°C até 32°C) e de temperaturas mais elevadas (acima de 32°C), os percentuais foram mais expressivos no ambiente externo com 40% e 31%, em contrapartida ao sensor da sala 4 que registrou apenas 23% e 7% para as mesmas faixas de temperatura respectivamente. O que representa uma eficiência do envelope da edificação em não permitir a transmissão de calor tão facilmente para os ambientes internos, demonstrada a partir da maior incidência de temperaturas mais amenas e constatada também pela avaliação de desempenho efetuada na Tabela 39.

Da mesma forma como efetuado para o sensor externo, os valores de umidade relativa do ar registrados na sala 4 durante o período de monitoramento com alunos no local foram apresentados na forma de histogramas (Figura 85).

Com uma amplitude expressiva de 33,9%, os valores coletados para a sala 4 variaram entre 34,8% e 68,7%, apresentando como valores de maior frequência (35 das 256 leituras registradas), aqueles que se encaixam no intervalo de 59,1% até 60%, e possuindo o valor médio global representativo de 57,4%.

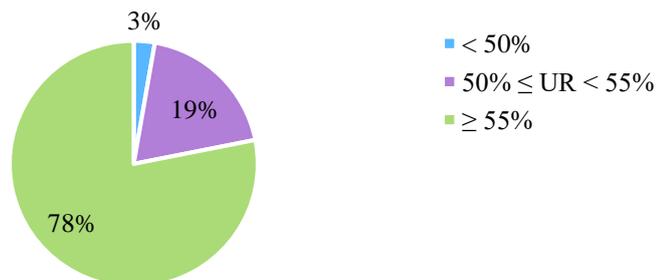
Figura 85 – Distribuição dos registros de umidade relativa do ar coletados na sala 4 aberta durante o período de monitoramento com a presença dos alunos.



Fonte: Autora.

De modo semelhante ao estabelecido para as temperaturas registradas na sala 4, que foram segregadas de acordo com faixas de incidência, os resultados de umidade relativa do ar também foram avaliados em conjuntos, como pode ser verificado na Figura 86, com o intuito de determinar as condições ideais de conforto dos usuários satisfeitos.

Figura 86 – Incidência das umidades relativas registradas na sala 4 aberta durante o período de monitoramento, com a presença dos alunos.



Fonte: Autora.

O comportamento observado para este local foi semelhante ao do sensor externo quanto às umidades e percentuais de incidência das mesmas (Figura 79). Demonstrou-se uma predominância na faixa de valores acima ou igual a 55% de umidade, o que correspondeu a 78% dos valores registrados no monitoramento da sala 4 e a 91% no ambiente externo. A faixa intermediária (a partir de 50% até 55%) foi equivalente a 19% dos dados no ambiente interno (sala 4) e a 5% no ambiente externo, enquanto que o conjunto de menor incidência correspondeu às umidades abaixo de 50%, registrando 3% e 4% dos valores obtidos pelos sensores da sala 4 e externo respectivamente.

Portanto, pode-se observar que a maioria (59% dos usuários) estava satisfeita na sala 4 com valores de umidade acima de 55%, no entanto, alguns autores associam altas umidades a grande insatisfação de usuários (HAMZAH *et al.*, 2016; PACHECO *et al.*, 2013). Fato que pode não ter sido observado tão expressivamente na sala 4 (31% dos usuários insatisfeitos), pois o valor máximo de umidade relativa do ar foi de 68,7%, uma vez que valores acima de 80% demonstram altos índices de insatisfação em ambientes de clima quente e úmido, como Recife, de acordo com a literatura (FREITAS, 2005; GIVONI, 1992; LAMBERTS *et al.*, 2016).

b) Sala de artes

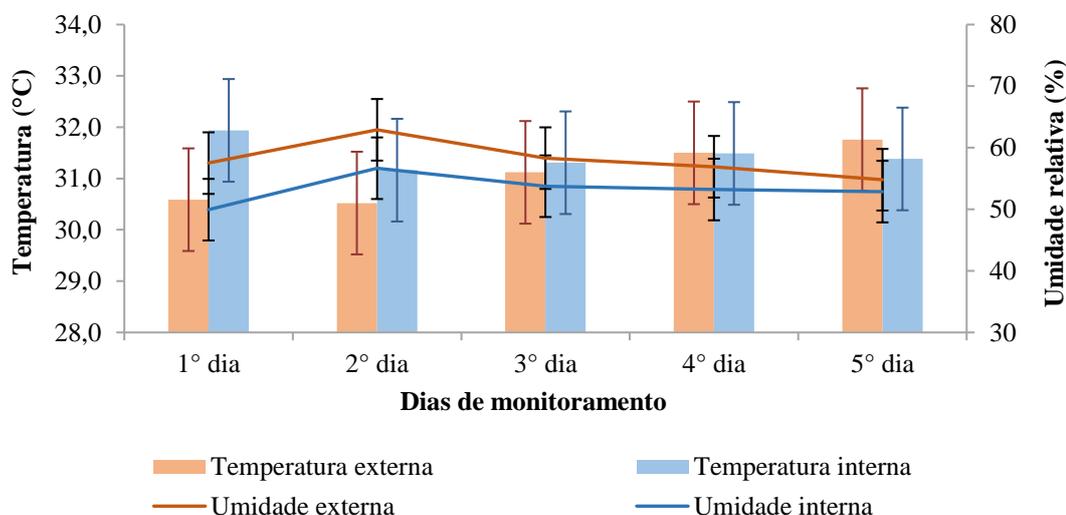
1) Condição: janelas e portas abertas sem alunos

Os valores médios de temperatura e umidade relativa do ar medidos na sala de artes, considerando-se janelas e portas abertas, sem alunos, são apresentados na Figura 87. A análise do desempenho térmico alcançado por dia de medição a partir das temperaturas máximas e mínimas registradas internamente e externamente, pode ser visualizada na Tabela 40.

Não há diferenciação significativa entre os registros de temperatura e umidade obtidos, tanto entre os ambientes externo e interno, quanto para o mesmo ambiente ao longo dos dias de monitoramento (Figura 87).

Diante dos valores observados, na Tabela 40, a análise do nível de desempenho térmico se mostrou ineficiente em dois dias consecutivos. Em seguida, apresentaram-se dois dias de desempenho mínimo e apenas um dia de nível intermediário, a partir dos valores médios, tem-se um nível de desempenho térmico mínimo satisfatório para aquela semana de monitoramento na condição de janelas e portas abertas sem a presença dos alunos.

Figura 87 – Dados climáticos médios diários do sensor externo e da sala de artes na condição de janelas e portas abertas, sem a presença dos alunos.



Fonte: Autora.

Tabela 40 - Verificação do nível de desempenho térmico na sala de artes na condição janelas e portas abertas, sem alunos.

Data	Tmáx Interna(°C)	Tmín Interna (°C)	Tmáx Externa(°C)	Tmín Externa(°C)	Nível de desempenho
22/01/2018	32,7	30,7	32,4	29,6	In
23/01/2018	32,7	30,3	32,0	28,5	In
24/01/2018	32,3	30,7	32,6	29,4	M
25/01/2018	32,2	30,9	32,7	29,7	M
26/01/2018	32,1	30,3	33,1	30,2	I
Média	32,4	30,6	32,6	29,5	M

M – Mínimo; I – Intermediário; In – Ineficiente.

Fonte: Autora.

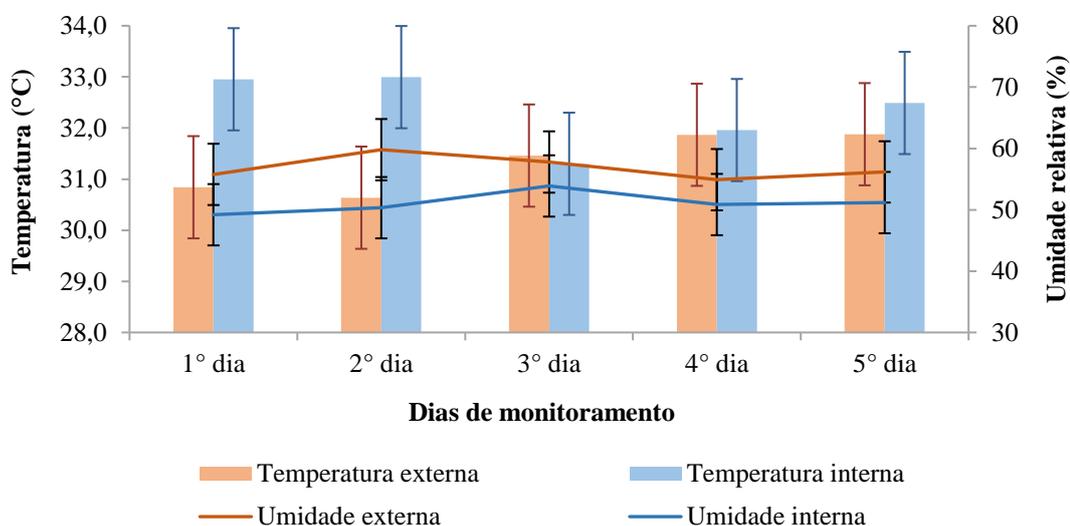
Apesar de completamente aberta, na semana de monitoramento para a sala nesta condição, observou-se uma maior precipitação de chuvas, levando à sensação térmica de dias mais quentes, se comparada à semana de monitoramento com as salas completamente fechadas – este fato é ainda mais evidenciado quando observada a Tabela 40, em que o dia 24 de janeiro de 2018 apresentou uma precipitação significativa de 6,2 mm e umidade relativa do ar de 74,8%, de acordo com a estação convencional de referência (INMET, 2019). Deste modo, a literatura sobre o tema explica que espaços de ar não ventilados entre duas lâminas paralelas, apresentam resistência térmica em função do fluxo térmico e da emissividade das superfícies. Considerando que uma parede separando o ambiente exterior do interior, com a temperatura interna menor que a temperatura externa, o sentido do fluxo será do exterior para o interior (SALES, 2016).

II) Condição: janelas e portas fechadas sem alunos

Os dados climáticos médios diários obtidos para a sala de artes, sob a condição de janelas e portas fechadas, sem a presença dos alunos, bem como os respectivos valores registrados pelo sensor externo para os mesmos dias de medição, podem ser observados na Figura 88.

A análise do desempenho térmico alcançado de acordo com os critérios estabelecidos na NBR 15575 (ABNT, 2013) está apresentada na Tabela 41.

Figura 88 – Dados climáticos médios diários do sensor externo e da sala de artes na condição janelas e portas fechadas, sem a presença dos alunos.



Fonte: Autora.

Tabela 41 - Verificação do nível de desempenho térmico na sala de artes na condição janelas e portas fechadas, sem alunos.

Data	Tmáx Interna(°C)	Tmín Interna (°C)	Tmáx Externa(°C)	Tmín Externa(°C)	Nível de desempenho
27/01/2018	33,3	31,9	31,5	29,3	In
28/01/2018	33,3	32,1	31,3	30,1	In
29/01/2018	32,3	29,4	32,7	29,7	M
30/01/2018	33,0	30,4	33,3	30,1	M
31/01/2018	33,6	31,5	32,9	30,4	In
Média	33,1	31,1	32,3	29,9	In

M – Mínimo; In – Ineficiente.

Fonte: Autora

De mesmo modo como nas análises anteriores, quando se toma como referência a acurácia do equipamento utilizado na pesquisa, não se demonstram variações expressivas de temperatura e

umidade (Figura 88). No entanto, para esta situação mesmo incluindo a faixa de possibilidade de erro de leitura por parte do aparelho ($\pm 1^\circ\text{C}$ e $\pm 5\%$), ainda assim foram detectadas variações além da faixa, para a temperatura, no primeiro e segundo dia de $0,1^\circ\text{C}$ e $0,4^\circ\text{C}$, respectivamente.

O nível de desempenho do ambiente se mostrou ineficiente em 3 dias de verificação e atingiu o mínimo em apenas 2 dias, como evidenciado na Tabela 41. E, portanto, correspondeu a um desempenho ineficiente termicamente para o valor médio representativo da sala de artes na condição de portas e janelas fechadas. É importante citar que o sistema foi projetado para otimizar a ventilação natural do ambiente, o que é impedido devido à condição proposta.

Por se tratar de uma sala localizada no último pavimento da edificação, é possível perceber que o envelope do ambiente está mais vulnerável à radiação solar direta. Uma parcela da radiação é absorvida pelos elementos de fechamento (fachadas e cobertas), levando a um acréscimo da temperatura superficial e outra parte é transmitida para o ambiente interno através dos vidros, aquecendo as superfícies internas e depois por convecção aumentando a temperatura do ar interno; isto somado a impossibilidade de renovação do ar por causa da condição de janelas e portas fechadas, propiciam a retenção do calor, justificando o desempenho ineficiente observado.

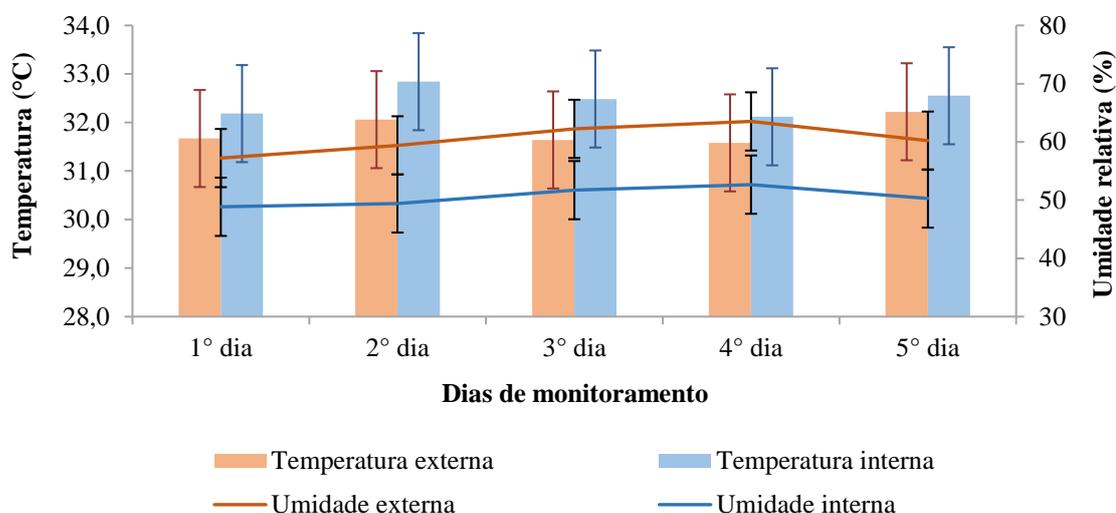
Segundo Roriz (2008), o ar confinado em espaços pequenos permanece praticamente imóvel, sendo sua condutividade muito baixa, e as trocas térmicas por convecção e por condução podem ser mínimas se o fluxo térmico ocorre apenas por radiação entre as superfícies, formando assim uma câmara de ar quente, sem dissipação do calor.

III) Condição: janelas e porta abertas com alunos

Os dados médios de temperatura e umidade relativa do ar coletados para a sala de artes com janelas e portas abertas estão representados na Figura 89.

As classificações dos níveis de desempenho térmico alcançados segundo os critérios da NBR 15575, (ABNT, 2013) para a sala de artes, entre os dias 26 de fevereiro e 2 de março, na condição de janelas e portas abertas, com alunos, estão apresentadas na Tabela 42.

Figura 89 – Dados climáticos médios diários do sensor externo e da sala de artes na condição janelas e portas abertas, com a presença dos alunos.



Fonte: Autora.

Tabela 42 - Verificação do nível de desempenho térmico na sala de artes na condição janelas e portas abertas, com alunos.

Data	Tmáx Interna(°C)	Tmín Interna(°C)	Tmáx Externa(°C)	Tmín Externa(°C)	Nível de Desempenho
26/02/2018	32,9	31,5	38,1	30,2	I
27/02/2018	33,3	32,0	37,5	29,3	I
28/02/2018	33,5	30,1	36,6	30,1	S
01/03/2018	33,5	31,0	35,7	29,6	I
02/03/2018	33,4	31,5	38,6	29,8	I
Média	33,3	31,2	37,3	29,8	I

I – Intermediário; S – Superior.

Fonte: Autora.

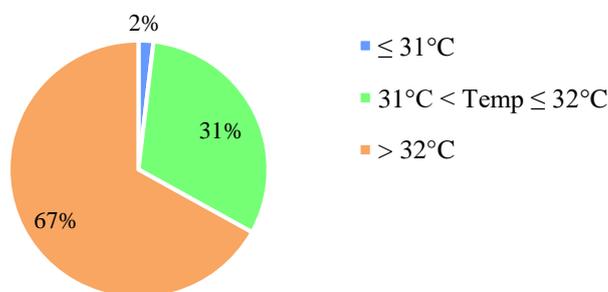
De acordo com a acurácia do sensor ($\pm 1^\circ\text{C}$), admite-se que não há variação significativa propriamente dita entre os ambientes externo e interno, ou até mesmo entre si, ao longo dos dias de monitoramento com relação à temperatura na sala de artes com a presença dos alunos (Figura 89). No entanto, com relação à umidade, levando-se em consideração também a acurácia representada no gráfico por meio das barras de erro, percebe-se uma variação pequena além das barras, no terceiro e quarto dias, com valores de 0,5% e 0,8%, respectivamente, de umidade externa a mais que a umidade interna.

Nesta condição, os níveis de desempenho se mostraram intermediários, contando com apenas um nível superior, como consta na Tabela 42.

Os níveis intermediários apresentados (Tabela 42), não podem ser desprezados, já que nessa sala as atividades propostas são diferentes, e a mesma conta com o auxílio do teto verde, como importante ferramenta que deveria proporcionar tanto o conforto quanto o desempenho térmico. No entanto, diante de todas as estratégias bioclimáticas empregadas nesta sala, o esperado era que a mesma, nessa condição de portas e janelas abertas com alunos e, no final do verão, se mostrasse superior em relação ao nível de desempenho, porém a análise das temperaturas médias classificou-a no nível intermediário. Lembrando que esta escala (mínimo, intermediário ou superior) simboliza ainda que muito simplificada o nível de satisfação dos usuários.

As altas temperaturas internas também são evidenciadas, na sala de artes, ao se observar o gráfico de incidência representado pela Figura 90, com um percentual elevado de 67% para as temperaturas acima de 32°C. Percebe-se, no entanto, que as temperaturas mais amenas, ou seja, abaixo de 31°C são quase inexistentes (2%). Além disso, as temperaturas da faixa intermediária, de 31°C a 32°C, representam quase um terço (31%) dos dados observados na semana completamente aberta e com a presença dos alunos.

Figura 90 - Incidência das temperaturas registradas na sala de artes aberta durante o período de monitoramento, com a presença dos alunos.



Fonte: Autora.

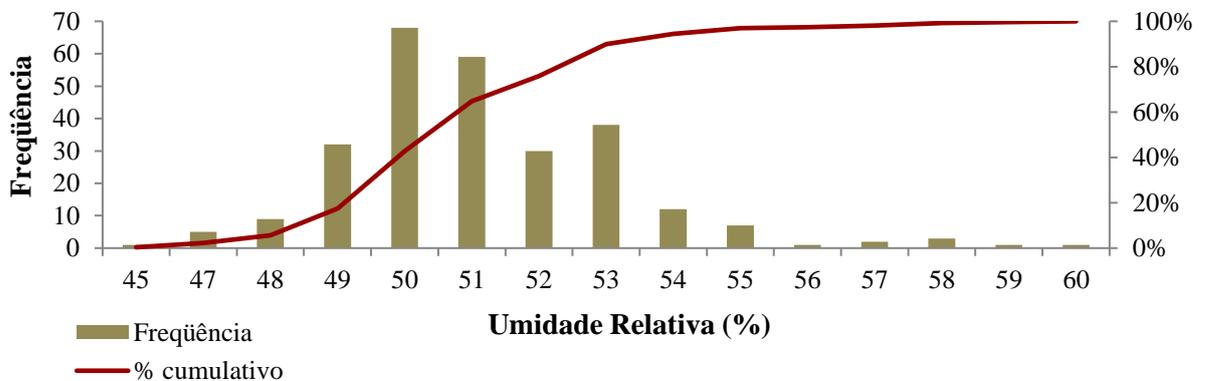
Em seu estudo, Gemelli (2009) também constatou um sensor associado às maiores temperaturas registradas (acima de 27°C) e explicou tal fato devido a uma possível ausência de renovação do ar, no período da tarde.

Coelho (2006) complementa que a estratégia de massa térmica para resfriamento a partir da ventilação diurna pode ser usada para amenizar o desconforto por calor, porém deve ser evitada quando as temperaturas externas estiverem superiores a 32°C, pois pode trazer o ar quente do exterior para o interior e aumentar o desconforto térmico. Em contrapartida, à noite é

recomendado que se utilize a ventilação noturna para retirar o calor acumulado durante o período diurno atenuando assim as temperaturas internas no dia seguinte. Destaca-se que a ventilação noturna não pôde ser utilizada no experimento, o que levaria a resultados melhores.

De maneira análoga ao efetuado para o sensor da sala 4, os valores de umidade relativa do ar registrados na sala de artes durante o período de monitoramento com alunos no local foram demonstrados através de histogramas (Figura 91).

Figura 91 – Distribuição dos registros de umidade relativa do ar coletados na sala de artes aberta durante o período de monitoramento com a presença dos alunos.



Fonte: Autora.

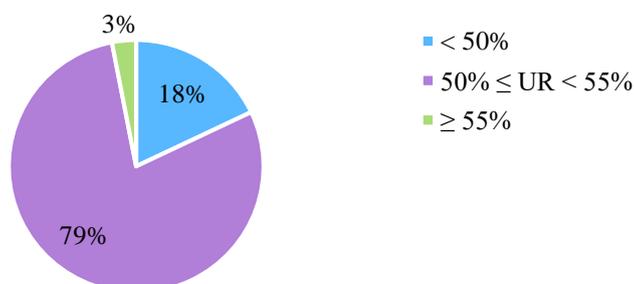
Com uma amplitude mais reduzida em comparação ao sensor externo, com apenas 15,6%, os valores coletados para a sala de artes aberta com a presença dos alunos variaram entre 44,4% e 60%. Apresentando como valores de maior frequência, também aqueles que se encaixam no intervalo de 59,1% até 60% (68 das 269 leituras obtidas), e possuindo um valor médio global representativo de 50,7%.

A fim de estabelecer o respectivo comparativo com os valores registrados no ambiente externo e na sala 4, os valores de umidade da sala de artes aberta com a presença dos alunos foram segregados para as mesmas faixas de incidência aplicadas anteriormente e para o mesmo período de monitoramento, como exposto na Figura 92.

O comportamento observado para este local foi bem diferenciado em relação aos demais ambientes quanto à umidade, demonstrando uma predominância na faixa intermediária (entre 50% e 55%), equivalente a 79% da incidência das umidades na sala de artes. Seguida de uma parcela menos expressiva dos dados no conjunto de valores menores que 50%, correspondendo

a 18% da coleta de dados. Já a faixa de valores mais elevados de umidade, acima de 55%, correspondeu a apenas 3% dos dados observados na sala de artes.

Figura 92 - Incidência das umidades relativas registradas na sala de artes aberta durante o período de monitoramento, com a presença dos alunos.



Fonte: Autora.

A maior incidência de valores numéricos menores de umidade pode ser explicada, dentre outros fatores, pela capacidade da cobertura verde de bloquear parte da radiação incidente e favorecer a retenção da umidade no substrato (PERUSSI, VECCHIA, 2017; MADHUMATHI; RADHAKRISHNAN; SHANTHIPRIYA, 2016).

c) Comparativo entre as salas 4 e de artes (temperatura e umidade)

Ressalta-se que ambas as salas 4 e de artes se encontram na região nordeste da edificação que, conforme Figura 18 do Capítulo 3, possui considerada incidência e velocidade dos ventos na estação do verão. Porém, a sala de artes está em contato direto com a cobertura e, por conseguinte, a radiação solar incide diretamente sobre uma área maior do envelope que compõe o ambiente, podendo ser este um dos motivos que levou esta sala a ter um desempenho térmico médio igual ou inferior ao da sala 4 nas semanas de monitoramento, mesmo com o implemento do teto verde, como pode ser observado na Tabela 43.

Tabela 43 – Níveis de desempenho térmico médios alcançados na sala 4 e na sala de artes durante as semanas de monitoramento, sob as diferentes condições predeterminadas.

Datas	Condição	Nível de desempenho médio na sala de artes	Nível de desempenho médio na sala 4
De 22/01/2018 a 26/01/2018	Salas abertas, sem alunos	M	M
De 27/01/2018 a 31/01/2018	Salas fechadas, sem alunos	In	M
De 26/02/2018 a 02/03/2018	Salas abertas, com alunos	I	S

M – Mínimo; I – Intermediário; S – Superior; In – Ineficiente.

Fonte: Autora.

É relevante salientar que para a condição de janelas e portas abertas sem a presença de alunos, os valores médios de temperatura alcançaram apenas o nível mínimo requerido na NBR 15575 (ABNT, 2013), tanto para a sala de artes quanto para a sala 4. Atendendo assim à concepção prevista em projeto, que mesmo para a pior condição climática (verão), espera atingir um desempenho térmico mínimo devido aos sistemas construtivos empregados e projetados para funcionar com portas e janelas abertas.

Destaca-se que embora a análise média da sala de artes, não tenha atingido nível Superior de desempenho térmico, os alunos avaliariam o ambiente de forma positiva, em sua maioria, conforme observado no item 5.1.1. Em comparação, os valores obtidos demonstraram um desempenho térmico médio melhor na sala sem a cobertura naturalizada, o que traduz simplificarmente o nível de satisfação esperado por parte dos usuários também como superior ao da sala de artes, de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013). Porém, isto não foi o observado, comprovando a importância de se efetuarem as aplicações dos questionários, uma vez que podem ser encontradas discordâncias entre os critérios de desempenho atingidos, a partir dos dados de temperatura e umidade relativa do ar coletados e os níveis de satisfação alcançados, como observado no estudo de caso.

Apesar da alta incidência de temperaturas elevadas, os usuários se demonstraram mais satisfeitos às condições térmicas da sala de artes (70% de usuários satisfeitos) em relação à sala 4 (59% satisfeitos). Fato que pode estar associado à maior incidência de umidades na faixa intermediária na sala de artes, com 79% dos dados, em contraposição a apenas 19% das umidades na faixa intermediária na sala 4. Portanto, para este tipo de usuário adaptado ao clima local, pode-se estimar as condições de conforto como efetuado nos estudos de Hamzah *et al.* (2016) e Gemelli (2009) a partir da predominância dos dados climáticos associados aos maiores índices de satisfação, levando-se a estabelecer as condições em temperaturas acima de 32°C e umidades de 50% a 55%.

Do ponto de vista dos patamares de conforto térmico indicados para Recife, pode-se afirmar que nenhum dos ambientes avaliados apresentou significativa incidência dos dados coletados nas faixas recomendadas simultaneamente (aproximadamente 1,2% na sala 4 e 0% na sala de artes e no ambiente externo). Estas faixas compreendem temperaturas entre 22°C e 29°C, e umidades entre 20% e 80%, valores esses que ainda podem ser analisados segundo a ventilação

da área e a adaptação dos habitantes de cada região (FREITAS, 2005; LAMBERTS *et al.*, 2016). Além disso, de acordo com as estratégias bioclimáticas adotadas de ventilação natural, sombreamento (brises) e resfriamento evaporativo indireto (teto verde), recomenda-se a adoção de ar condicionados para atingir as condições ideais de conforto sugeridas na literatura (LAMBERTS *et al.*, 2016).

Para melhor entender o comportamento dos ambientes transformados pela ação antrópica nos dias de monitoramento especificados, é necessário observar os dados climáticos da estação convencional de referência (ambiente com características microclimáticas específicas, em virtude de se inserirem em meio próximo ao natural), localizada no bairro do Curado, disponibilizados pelo INMET (2019). Portanto, tem-se a Tabela 44 que demonstra os valores médios obtidos ao longo dos dias de monitoramento para cada sensor instalado, a fim de estabelecer o comparativo com a estação meteorológica de referência.

Tabela 44 – Valores médios de temperatura e umidade registrados pelos sensores no ambiente externo, na sala 4 e na sala de artes durante todos os dias de monitoramento.

Ambiente	Temperatura (°C)	Umidade relativa do ar (%)
Externo	31,4	58,5
Sala 4	31,1	55,6
Sala de artes	32,1	51,7

Fonte: Autora.

Em se tratando de microclimas, através das medições das variáveis climáticas, registraram-se temperaturas superiores às da estação de meteorológica convencional de referência, que coletou valores médios ao longo de todos os dias de observação iguais a 27,1°C e 73,3% - comprovando a existência de acúmulo de calor (FREITAS, AZERÊDO, FREITAS, 2017).

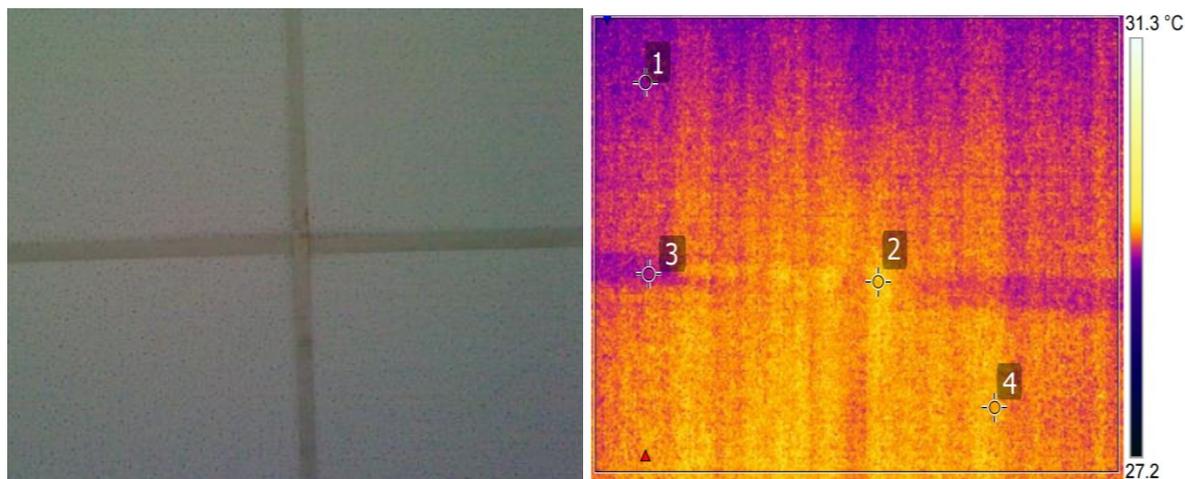
5.3.2 Temperatura das superfícies

São apresentados e analisados os resultados obtidos a partir da medição passiva de radiação infravermelha refletida pela superfície do forro no interior dos ambientes em contato com o teto verde, ou seja, para o auditório e a sala de artes. Ressalta-se que no caso do auditório, o mesmo se encontra parcialmente abaixo do teto verde e laje convencional, enquanto a sala de artes totalmente sob teto verde.

a) *Auditório*

A imagem termográfica obtida de região do forro abaixo do teto verde no auditório, com os pontos de medição selecionados na superfície, assim como a imagem digital da mesma região estão mostradas na Figura 93. As temperaturas máxima, mínima, média e por ponto de medição, bem como a emissividade do correspondente forro, além da temperatura e umidade relativa do ar, aferidas pelo termo-higrômetro, no auditório estão apresentadas na Tabela 45.

Figura 93 – Imagens digital e termográfica do forro da região abaixo do teto verde no auditório.



Fonte: Autora.

Tabela 45 – Registros de temperatura e emissividade no forro da região abaixo do teto verde no auditório.

Ambiente	Auditório	
Temperatura do ar (°C)	30,3	
Umidade relativa do ar (%)	51	
Emissividade	0,95	
Temperaturas da superfície		
Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura média (°C)
29,7	28,9	29,3
Ponto	(°C)	
1	29,2	
2	29,3	
3	29,2	
4	29,4	

Fonte: Autora.

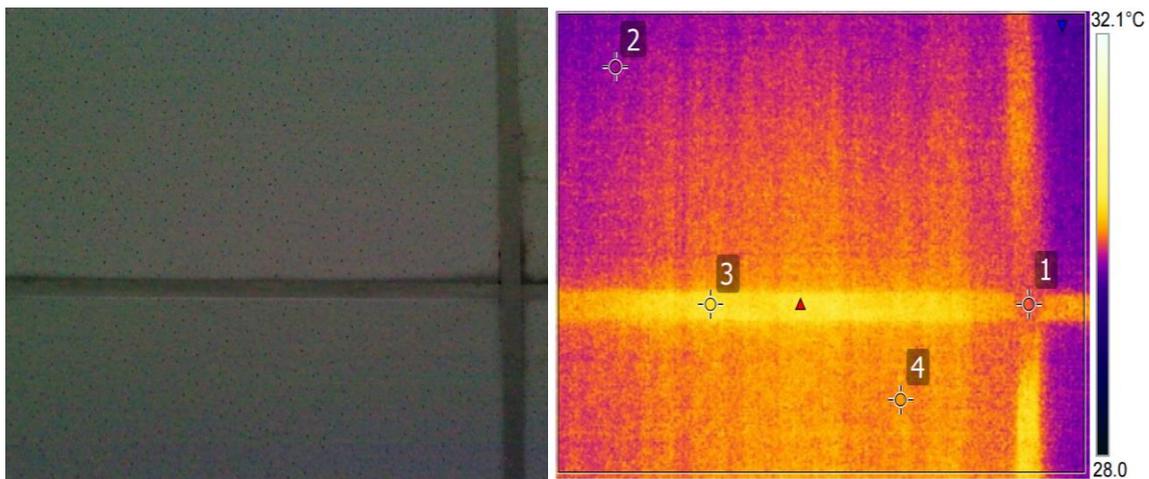
Tomando-se uma abordagem apenas qualitativa, ou seja, feita apenas uma medição, pode-se observar que, para o período da tarde avaliado neste dia de medição, o forro do auditório abaixo do teto verde demarcou uma temperatura máxima de 29,7°C, mínima de 28,9°C e média de 29,3°C. E temperaturas nos pontos escolhidos que variaram entre 29,2°C e 29,4°C. Já a

temperatura e umidade relativa do ar atingiram os valores de 30,3°C e 51%, respectivamente (Tabela 45).

A emissividade aferida para o forro mineral (0,95) se comportou conforme esperado para a maioria dos materiais de construção, que apresentam valores entre 0,90 e 0,95. Importante destacar ainda que superfícies com baixa emissividade (próximo a 0) são altamente refletoras, enquanto valores próximos a 1 são perfeitos emissores (MONTEIRO, LEDER, 2011).

Voltando-se para a outra região do forro do auditório, que não se encontra abaixo do teto verde, Figura 94, os resultados obtidos são os descritos na Tabela 46.

Figura 94 – Imagens termográfica e digital do forro da região que não está abaixo do teto verde no auditório.



Fonte: Autora.

Tabela 46 – Registros de temperatura e emissividade no forro da região que não está abaixo do teto verde no auditório.

Ambiente		Auditório		
Temperatura do ar (°C)		30,3		
Umidade relativa do ar (%)		51		
Emissividade		0,95		
Temperaturas da superfície				
Temperatura máxima (°C)		Temperatura mínima (°C)		Temperatura média (°C)
30,6		29,4		30,1
Ponto			(°C)	
1			30,1	
2			29,9	
3			30,4	
4			30,2	

Fonte: Autora.

Constata-se, valores de 29,9°C a 30,4°C para os diferentes pontos medidos na região do forro, cuja laje não faz contato com o teto verde, além de valores máximo, mínimo e médio iguais a 30,6°C, 29,4°C e 30,1°C, respectivamente (Tabela 46). Para a mesma emissividade demonstrada anteriormente (0,95).

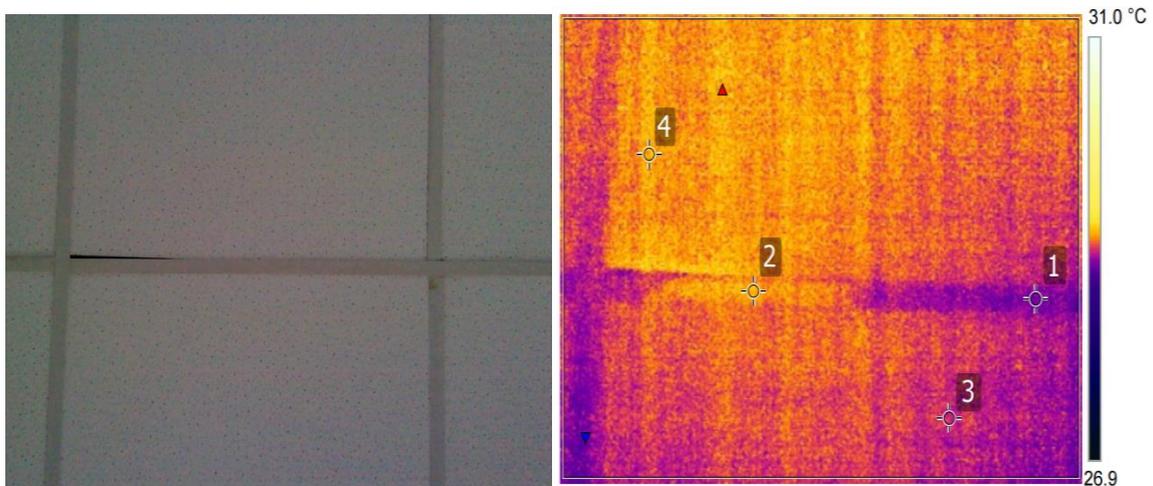
Nota-se também uma variação média entre as temperaturas das superfícies de 0,8°C para a superfície abaixo do teto verde em relação a que não está abaixo, que não é significativa devido à acurácia da câmera termográfica ($\pm 2^\circ\text{C}$) este valor não é significativo.

b) Sala de artes

No caso da sala de artes, a Figura 95 e a Tabela 47 apresentam as imagens termográfica e digital do forro totalmente abaixo do teto verde, bem como as temperaturas máxima, mínima, média e por ponto de medição, além da emissividade do forro, temperatura e umidade relativa do ar aferidas.

Apresentando uma temperatura máxima de 29,4°C, mínima de 28,6°C e média de 29,0°C, a uma temperatura e umidade relativa do ar iguais a 30,6°C e 54%. Com uma variação para os pontos escolhidos na câmera termográfica entre 28,7°C e 29,1°C, para a mesma emissividade, de 0,95, por se tratar do mesmo material (forro mineral).

Figura 95 – Imagens termográfica e digital do forro abaixo da laje totalmente coberta pelo teto verde na sala de artes



Fonte: Autora.

Tabela 47 – Registros de temperatura e emissividade no forro abaixo da laje totalmente coberta pelo teto verde na sala de artes.

Ambiente	Sala de artes	
Temperatura do ar (°C)	30,6	
Umidade relativa do ar (%)	54	
Emissividade	0,95	
Temperaturas da superfície		
Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura média (°C)
29,4	28,6	29,0
Ponto		(°C)
1		28,7
2		29,1
3		29,0
4		29,0

Fonte: Autora.

Ainda com relação às temperaturas das superfícies obtidas, observa-se uma diferença média de 1,1°C entre a superfície abaixo do teto verde na sala de artes e a superfície que não está abaixo no auditório, porém devido à acurácia da câmera termográfica ($\pm 2^\circ\text{C}$) este valor não é significativo.

A ausência de diferenciação significativa - levando em consideração a acurácia do aparelho - entre as faces internas das superfícies pode ser explicada pelo bolsão de ar, uma vez que pesquisas desta natureza demonstraram a temperatura da face interna propriamente dita e em contato direto com as coberturas analisadas, como foi efetuado por Carneiro *et al.* (2015) e Perussi e Vecchia (2017). A existência do bolsão de ar provoca a transmissão de calor por meio da convecção ar-ar, em que apesar das diferenças de energia que entram na edificação devido às diferentes coberturas, gera trocas de calor entre massas de ar e é transmitido sem grandes diferenciações para o forro.

Deste modo, no caso da cobertura do auditório, onde se adotou a solução mista (teto verde + laje de concreto), a junção ao bolsão de ar se tornou eficaz por ser capaz de resfriar a temperatura do forro e obter valores semelhantes ao forro com apenas teto verde (caso da sala de artes).

A pesquisa de Carneiro *et al.* (2015) chegou a encontrar 4,4°C de diferença para a temperatura da face interna entre coberturas de teto verde (grama) e telha fibrocimento. Já o estudo de Perussi e Vecchia (2017) comparou a face interna de duas plataformas com tetos verdes (um com vegetação gramínea e outro sem, apenas com substrato), comparadas às temperaturas

máximas, o sensor da plataforma apenas com substrato registrou valor de 1,9°C acima do sensor da plataforma com grama, que por sua vez apresentou uma amplitude térmica 2,4°C menor do que o sensor da plataforma com substrato.

Internamente, a temperatura do ar também deveria aumentar pois a energia que entra é maior no caso dos materiais de construção convencionais (concreto ou telhas), uma vez que estes apresentam maior condutividade se comparados aos tetos verdes, que possuem maior resistência térmica e são isolantes (WILLES, 2014). Porém, as variações registradas nos ambientes internos com e sem teto verde não foram tão acentuadas, com apenas 3% de diferença entre as umidades relativas do ar e 0,3°C para as temperaturas do ar, fato que pode estar relacionado às alterações de elementos meteorológicos conforme o tempo do ensaio se passava ou à própria acurácia do termo-higrômetro ($\pm 1^\circ\text{C}$ e $\pm 5\%$).

Este fato também foi observado em pesquisa semelhante, realizada em Recife em dia sem precipitações, como no caso deste estudo. A pesquisa, em questão, explicou o ocorrido a partir da condição climática de Recife: localidades com pouca precipitação e/ou alta incidência de radiação solar propiciam uma situação favorável para que a evapotranspiração seja elevada, conseqüentemente, a troca do calor sensível pelo latente é mais eficiente (CARNEIRO *et al.*, 2015).

6 CONCLUSÕES

São apresentadas as conclusões da pesquisa, a partir da análise dos resultados obtidos nos ambientes e nos elementos avaliados assim como sobre os níveis de satisfação dos usuários coletados.

6.1 Principais conclusões

a) Aspectos acústicos

Os resultados de nível de pressão sonora equivalente dos ambientes da edificação escolar estudada demonstraram valores condizentes com a realização das atividades habituais para as quais foram projetados, garantindo, inclusive, a inteligibilidade da fala dos professores.

Os níveis sonoros registrados, de modo geral, não demonstram riscos para a saúde a curto prazo, mas podem acarretar problemas de concentração e riscos a longo prazo.

O conforto acústico proporcionado pela edificação, devido à utilização dos elementos sustentáveis caracterizados nesta pesquisa, foi semelhante ou até mesmo melhor ao de outros estudos em edificações de ensino com método de construção convencional.

Os resultados de conforto acústico dos ambientes em contato direto com o teto verde não se demonstraram influenciados pela existência da cobertura naturalizada, durante as atividades ocorrendo internamente à edificação.

A envoltória maior de um ambiente foi capaz de influenciar nos resultados de conforto acústico, reduzindo os níveis sonoros registrados para as mesmas atividades monitoradas, em comparação a outros ambientes de menor área.

Alguns elementos sustentáveis empregados, como o OSB associado a espessuras maiores de vedações internas e os termobrises, demonstraram boa capacidade de absorção do som e redução dos níveis sonoros registrados.

Com a realização dos ensaios de conforto acústico ao longo dos pavimentos, observou-se um comportamento crescente dos níveis de pressão sonora coletados nas salas de aula, devido à menor existência de barreiras acústicas ou obstáculos físicos externamente.

Todos os ambientes monitorados durante as atividades para as quais foram projetados: aula, recreação e educação física, apresentaram níveis de pressão sonora equivalente acima do recomendado pelas normas técnicas vigentes e pela OMS.

Os tempos de reverberação medidos nos ambientes avaliados não atenderam, em sua maioria (66,7%), ao intervalo indicado na literatura sobre o tema, segundo o critério de finalidade de uso como leitura ou sala de aula em edificações escolares. Mas uma parcela significativa da amostra (55,5%) atendeu quando o intervalo de tempo era imposto, de acordo com o critério de volume do ambiente (até 200 m³).

Além disso, a vedação vertical interna com o dobro da espessura (24 cm) das demais vedações internas demonstrou uma melhora significativa (10,5%) sobre a capacidade média de isolamento das vedações de menor espessura (12 cm). Porém, a capacidade de isolamento acústico fornecida pelo sistema de vedações verticais internas e externa avaliadas na edificação estudada foi considerada ineficiente, perante os limites estabelecidos em todas as normas internacionais verificadas para edificações escolares.

b) Aspectos térmicos

No que diz respeito às temperaturas registradas nas superfícies, a solução mista (teto verde + laje de concreto) associada ao bolsão de ar se demonstrou eficaz para o forro parcialmente abaixo do teto verde, pois foi possível obter valores iguais à temperatura do forro totalmente sob o teto verde.

As salas de aula avaliadas, com ventilação natural e sem a presença de alunos, alcançaram um nível de desempenho térmico médio mínimo, demonstrando assim um adequado funcionamento dos ambientes até mesmo no verão e atendendo à concepção de projeto, devido às estratégias bioclimáticas e aos elementos construtivos sustentáveis empregados.

Com relação ao conforto térmico, ambas as salas de aula observadas se encontraram fora da zona estabelecida na literatura para ambientes de clima tropical quente e úmido ou dos

patamares indicados para Recife, classificando-se a edificação na zona 5 de estratégia bioclimática, na qual se recomenda o uso de ar condicionados para atingir as condições ideais de conforto. Porém, os níveis de satisfação, com ventilação natural, demonstraram altos índices de aprovação, evidenciando-se a importância da capacidade de adaptação dos usuários e as especificidades locais, que devem ser levadas em consideração, para além das zonas de conforto impostas na literatura.

De acordo com os critérios estabelecidos na norma de desempenho, a sala sem contato com o teto verde apresentou, segundo as temperaturas médias do ar em cada semana de monitoramento, ao menos um desempenho térmico mínimo para o seu adequado funcionamento sob todas as condições avaliadas. Já a sala de aula em contato direto com o teto verde, em comparação, demonstrou um desempenho igual ou inferior ao longo dos mesmos dias de monitoramento - traduzindo, simplificadamente, o nível esperado de satisfação dos usuários como menor ao da sala sem contato com o teto verde. Porém, a sala com teto verde demonstrou melhores níveis de satisfação dos usuários (professores e alunos). Fato que está associado à umidade menor na sala com teto verde, evidenciando-se a contradição presente na norma de desempenho, que deveria mensurar a satisfação dos usuários e levar em consideração a umidade, não apenas os dados de temperatura.

Apesar de a maioria dos estudantes terem classificado positivamente os ambientes com ventilação natural, com exceção apenas do pátio de recreação, isto não foi o suficiente para atender ao critério LEED, em que pelo menos 80% da amostra de usuários respondentes devem estar satisfeitos com a edificação.

Importante destacar também que o pátio de recreação teve os piores níveis de satisfação por parte dos alunos tanto com relação à acústica quanto à térmica.

Portanto, diante das discussões abordadas, pode-se afirmar que a edificação escolar em estudo demanda reformas de modo a melhorar o conforto térmico e acústico dos ambientes. Indicando-se buscar mais materiais refletores ao invés de emissores como foram utilizados, para promover o isolamento térmico e evitar que o calor se insira no interior da construção, como foi observado. Além de promover maior absorção do som nos ambientes internos para evitar os níveis de pressão sonora altos registrados durante as atividades normais da edificação escolar.

E com relação à verificação (parecer final) quanto a classificação em uma edificação sustentável do ponto de vista do conforto ambiental proporcionado aos usuários, a edificação estudada não é considerada sustentável segundo as análises efetuadas.

Deve-se ressaltar, no entanto, o esforço efetuado pelos projetistas responsáveis pela concepção e criação do projeto, uma vez que a seleção de materiais mais sustentáveis permitiu pontos positivos aos aspectos arquitetônicos da edificação em estudo. O uso de materiais como o forro mineral, a madeira OSB, os painéis isoestes e o teto verde promoveram ainda bons resultados tanto do ponto de vista térmico quanto acústico. Logo, caso não houvesse o uso destes elementos, os resultados teriam sido menos satisfatórios, com base nos critérios nacionais e internacionais consultados.

6.2 *Sugestões para pesquisas futuras*

Com base nos resultados obtidos e nos questionamentos levantados a partir da realização desta pesquisa, são sugeridas as seguintes elaborações e execuções para as pesquisas futuras:

- Elaborar protótipos idênticos em dimensões e espessuras de vedações com métodos de construção convencional e sustentável, além de efetuar repetidas medições acústicas e térmicas, a fim de obter, estatisticamente, o melhor comportamento dos ambientes de acordo com os diferentes materiais empregados;
- Elaborar protótipos com envoltórias de diferentes tamanhos com método de construção sustentável, para averiguar a influência da área dos ambientes sobre o conforto acústico e térmico;
- Efetuar medições termográficas sobre superfícies imediatamente abaixo de lajes com e sem teto verde, sem a presença de forros associados a bolsões de ar, além de estabelecer estas medições também em dias de precipitação, para verificar as influências destas variações sobre as temperaturas registradas;
- Executar simulações computacionais segundo a norma de desempenho. Além de efetuar projeções para os próximos anos, a partir dos dados de temperatura e umidade relativa do ar

coletados dos ambientes, para identificar - com maior precisão - a zona de estratégia bioclimática que se encontra a edificação estudada, além de possibilitar verificações de adequabilidade deste método com a realidade, efetuando medições de campo posteriores.

- Como sugestão para a própria edificação se tornar sustentável do ponto de vista do conforto ambiental, pode-se indicar o uso de materiais absorventes acústicos (lã de vidro), no interior das vedações verticais internas, assim como priorizar e aumentar as aberturas para promover maior renovação do ar no ambiente interno.

REFERÊNCIAS

- ABREU, A. P. **Método estimativo da temperatura interna de edificações residenciais em uso**. 2004. 179f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- ADAMS, B. Estudo de avaliação pós-ocupação do conforto acústico do prédio 15 da URI campus Santo Ângelo. **Revista de Arquitetura IMED**, Passo Fundo, v. 6, n. 2, p. 7-21, 2017.
- AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA - APAC. **Metereologia**: Estações do ano, Recife, [2018]. Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/metereologia/estacoes-do-ano.php>>. Acesso em: 30 de maio de 2018.
- ALMEIDA, E. L. G. **Integração da sustentabilidade ambiental e da mentalidade enxuta aplicadas em canteiros de obras**. 2018. 238f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C, GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014.
- ALVES, R. R.; **Métodos de avaliação do conforto térmico humano**. 2011. 130f. Trabalho de conclusão de curso – Departamento de geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ANSI S12.60**: Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools Acoustical Society of America, 2009.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIRCONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **ASHRAE Standard 55-2017**: thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2013.
- ANDRADE, F. K. G. **Análise do desempenho acústico das vedações verticais**. 2016. 170f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco, Recife, 2017.
- ANDRADE, F. K. G; CORDEIRO, M. S; LORDSLEEM JR, A. C. Acoustic performance and reverberation time of walls partitions in educational institution classrooms. **International Journal of Civil & Environmental Engineering**, Bosnia, v. 16, n. 6, p. 52-58, 2016.
- ANUNCIAÇÃO, S. Ruídos em aula afetam e incomodam estudantes. **Jornal da Unicamp**, Campinas, 2014. Disponível em: <http://www.unicamp.br/unicamp/sites/default/files/jornal/paginas/ju_593_paginacor_08_web.pdf>. Acesso em: 28 de jul de 2018.
- AOSONG. Digital relative humidity and temperature sensor. **AM2302**, Toronto, [2017]. Disponível em: <<https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/Digital+humidity+and+temperature+sensor+AM2302.pdf>>. Acesso: em 17 de jun de 2017.

ARAÚJO, S. R. **As funções dos Telhados Verdes no Meio Urbano, na Gestão e no Planejamento de Recursos Hídricos**. 2007. 28f. Trabalho de conclusão de curso - Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

ARENHARDT, N. L. **Análise das condições de conforto térmico e a influência da renovação de ar em salas de aula de estudantes universitários**. 2017. 93f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2017.

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

_____. **NBR 10152**: Acústica: Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 15575**: Desempenho de Edificações Habitacionais: Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013. 60p

_____. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações: Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005. 23p.

_____. **NBR 12179**: Tratamento acústico em recintos fechados: procedimento. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE SEGURANÇA. **O ruído no local de trabalho**. Lisboa, [2018]. Disponível em: <<https://www.apsei.org.pt/areas-de-atuacao/seguranca-no-trabalho/o-ruído-no-local-de-trabalho/>>. Acesso em: 12 de dez de 2018.

AUSTRALIAN STANDARD/NEW ZEALAND. **AS/NZ 2107**: Acoustics : Recommended Design Sound Levels and Reverberation Times for Building Interiors, 2000.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2016. 380p.

BITTENCOURT, L; CÂNDIDO, C. **Introdução à ventilação natural**. 3. ed. Maceió: EDUFAL, 2008.

BRÜEL, P. V; KJÆR, V. **Environmental noise**. 1. ed. Denmark: Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S, 2000. 69p.

BUONOCORE, C.; VECCHI, R.; SCALCO, V.; LAMBERTS, R. Influence of relative air humidity and movement on human thermal perception in classrooms in a hot and humid climate. **Building and environment**, West Lafayette, v.146, p.98-106, 2018.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Desempenho de edificações habitacionais**: guia orientativo para atendimento à norma NBR 15575/2013. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013. 308 p.

CÂMARA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Guia de Sustentabilidade na Construção**. Belo Horizonte: FIEMG, 2008.

CAMPOS, A. C. P. S. F. **Parâmetros de conforto e desempenho térmico em lares de idosos: um estudo na sede da Santa casa de misericórdia de Castelo Branco**. 2016. 111f. Dissertação (Mestrado) -Escola Superior de Tecnologia, Instituto Politécnico de Castelo Branco, Castelo Branco, 2016.

CAMPOS, I. M. **O que é retrofit?**. São Paulo: Retrofit, 2013. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=22&Cod=60>>. Acesso: em 02 de mar de 2018.

CASTANEDO, C. I.; TARPANI, J. R.; MALDAGUE, X. P. V. Nondestructive testing with thermography. **European journal of physics**, Brandenburg, v. 34, p.91-109, 2013.

CARLUCCI, S.; PAGLIANO, L. A review of indices for the long-term evaluation of the general thermal comfort conditions in buildings. **Energy and buildings**, Sydney, v. 53, p.194–205, 2012.

CARNEIRO, T. A.; GUISELINI, C.; PANDORFI, H.; NETO, J. P. L.; LOGES, V.; SOUZA, R. F. L. Condicionamento térmico primário de instalações rurais por meio de diferentes tipos de cobertura. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v.19, n.11, p.1086-1092, 2015.

CATAI, R. E.; PENTEADO, A. P.; DALBELLO, P. F. Materiais, técnicas e processos para isolamento acústico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 17., 2006, Paraná. **Anais...** Paraná, 2006. p.4205-4216.

CATALINA, T.; BANU, T. Impact of indoor environmental conditions on students intellectual performance. **Bul. Inst. Polit. Iasi**, Iasi, v.60 (64), n.3, p.23-35, 2014.

CHOI, S. M.; GUERIN, D. A.; KIM, H. Y.; BRIGHAM, J. K.; BAUER, T. Indoor environmental quality of classrooms and student outcomes: a path analysis approach. **Journal of learning spaces**, Greensboro, v.2, n.2, 2014. Não paginado.

CLEMENTE, F. F. T. **Estratégias de ventilação natural e sua influência na renovação do ar em uma edificação hospitalar anteprojeto de um novo ambulatório para o Hospital Universitário Onofre Lopes**. 2017. 162f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Projeto e Meio Ambiente, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017

COELHO, S. P. O. S. **Análise das diretrizes e soluções bioclimáticas adotadas em projetos arquitetônicos no Brasil - em foco a cidade do recife**. 2006. 208f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Universidade de Pernambuco, Recife, 2006.

CORRÊA, A. C. B. Contribuição à análise do Recife como um geossistema urbano. **Revista de Geografia**, Recife, v.23, n.3, p.86-101, 2006.

DAREEJU, B. S. S. S.; MEEGAHAGE, J. N.; HALWATURA, R. U. Performance of Green Roof against the Global Warming. **Engineer**, Sri Lanka, p.297-302, 2011.

DALVITE, B.; OLIVEIRA, D.; NUNES, G.; PERIUS, M.; SCHERER, M. J. Análise do conforto acústico, térmico e lumínico em escolas da rede pública de Santa Maria, RS. **Disc. Scientia. Serie: Artes, Letras e Comunicação**, Santa Maria, v.8, n.1, p.1-13, 2007.

DEZEN-KEMPTER, E.; AMARAL, E. S.; GOMES, A.; VILHENA, M.; OLIVEIRA, L. V. N.; ROSSI, B. C. A. O uso de BIM na avaliação da energia incorporada e emissões de CO² de materiais reciclados e convencionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: ENTAC, 2018. p.3752-3760.

ENZI, A.; GARAVELLI, S. L. Contaminação acústica de ambientes escolares devido aos ruídos urbanos no Distrito Federal, Brasil. **Holos Environment**. v.6, n.2, p.138-150, 2006.

FERNANDES, D.; ZARDO, C. R.; CAMARGO, A.; BELLEI, P. Eficiência acústica: lã de vidro e de lã de rocha como isolantes para o sistema drywall. **Anais da Engenharia Civil**, Chapecó, v.1, n.1, p.115-129, 2018.

FERNANDES, J. C. Padronização das condições acústicas para salas de aula. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 13., 2006, Bauru. **Anais...** Bauru: UNESP, 2006. Não paginado.

FERREIRA, F. C. **Procedimento de avaliação de conforto ambiental e eficiência energética aplicado a um caso típico da Rede Estadual de Escolas Públicas de Minas Gerais**. 2006. 258f. Dissertação (Mestrado) - Núcleo de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

FERREIRA, S. R. L. **O pensamento do ciclo de vida como suporte à gestão dos resíduos sólidos da construção e demolição**: exemplo no Distrito Federal e estudos de casos de sucessos no Brasil e no exterior. 2009. 172f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2009.

FLIR SYSTEMS. **Manual do equipamento ThermaCAM® E320**, 2014.

FORMOLO, B. F.; ISOTON, C. A.; SANTOS, M.; FESTUGATO, T.; SANTINI, G. Acústica escolar utilizando soluções sustentáveis. In: CONGRESSO DE PESQUISA E EXTENSÃO DA FSG, 5., 2017, Caxias do Sul. **Anais...** Caxias do Sul: FSG, 2017. p.789-802.

FREITAS, R. O que é conforto. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2005, Maceió. **Anais...** Maceió: ENCAC, 2005. p.726-735.

FREITAS, R. M.; AZERÊDO, J. F. A. A disciplina conforto ambiental: uma ferramenta prática na concepção de arquitetura, de urbanismo e de paisagismo. **Cadernos PROARQ 20**, Rio de Janeiro, v.1, p.94-113, 2014.

FREITAS, R.; AZERÊDO, J.; FREITAS, J.F. Conforto térmico em Recife/PE. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., 2017, Balneário Camboriu. **Anais...** Balneário Camboriu: ENCAC, 2017. p.395-404.

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

FUCALE, S.; PEREIRA, A.; PEIXOTO, C.; GOMES, M.; SELVA, P.; Escola Sustentável: Caso do Edifício Urbano Vitalino. **Construir NE**, n. 80, p. 28-30, 2016.

GARCIA, T.J.F. **Geoestatística aplicada às normais climatológicas de temperaturas médias compensadas no Brasil**. 2015. 67f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Estatística e Experimentação Agropecuária, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

GEMELLI, C. B. **Avaliação de Conforto Térmico, Acústico e Lumínico de Edificação Escolar com estratégias sustentáveis e bioclimáticas: O caso da Escola Municipal de Ensino Fundamental Frei Pacífico**. 2009. 175f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, Sydney, v.18, n.1, p.11-23, 1992.

GRIGOLETTI, G. C.; SATTTLER, M. A. Método de Avaliação Global de Desempenho Higrotérmico de Habitações de Interesse Social Para Porto Alegre, RS, Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p.101-114, 2010.

GUMERATO, H. F.; SCHMIDT, F. L.; GOLDONI, J. SANTO. Transferência de calor transiente na agitação linear intermitente de latas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 3, p.649-657, 2007.

HAMZAH, B.; ISHAK, M. T.; BEDDU, S.; OSMAN, M. Y. Thermal comfort analyses of naturally ventilated university classrooms. **Structural Survey**, Londres, 2016. Não paginado.

HWANG, R. L.; LIN, T.P; KUO, N.J. Field experiments on thermal comfort in campus classrooms in Taiwan. **Energy and Buildings**, Sydney, v. 38, n. 1, p.53-62, 2006.

IKEDA, C. Y. K.; AQUILINO, M. M. Desempenho acústico de vedações verticais. **Notícias da Construção**, São Paulo, v. 1, n. 1, p.48-49, 2012.

INDONESIAN NATIONAL STANDARDIZATION. **SNI 6390: Konservasi Energi Sistem Tata Udara Bangunan Gedung (Energy Conservation in Building Ventilation System)**, BSN (Badan Standarisasi Nasional), Jakarta, 2011.

INFRARED TRAINING CENTER. ITC: **Manual do usuário: Certificação Nível 1**. 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Banco de dados meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Brasília. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 28 de maio de 2018.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16283-1**: Acoustics: Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Switzerland: ISO, 2014. 125

_____. **ISO 717-1**: Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements Part 1: Airborne sound insulation. Switzerland: ISO, 2013.

JADIR, T.; LIMA, M. Propriedades acústicas de materiais de construção para uso em edificações no entorno de aeroportos. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DO ITA, 15., 2009; São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: ENCITA, 2009. Não paginado.

KATS, G. **Tornando nosso ambiente construído mais sustentável**: custos, benefícios e estratégias. 1. ed. São Paulo: Secovi-SP, 2014.

KLEIJNE, K.; SINGH, C. Strengthening and Implementing the Global Response. In: BABIKER, M.; BERTOLDI, P.; BUCKERIDGE, M.; CARTWRIGHT, A; DONG, W.; FORD, J.; FUSS, S.; HOURCADE, J.; LEY, D.; MECHLER, R.; NEWMAN, P.; REVOKATOVA, A.; SCHULTZ, S.; STEG, L.; SUGIYAMA, T. **Global warming of 1.5 °C Special Report**. Nijmegen: Intergovernmental Panel on Climate Change, p. 313-443, 2018.

KOWALTOWSKI, D. C. K. **Arquitetura escolar**: o projeto de ambiente de ensino. 1 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2011.

KRUMENAUER, M.; KINZEL, E.; GONZALEZ, M. S. Níveis de pressão sonora equivalente no entorno do campus da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). In: SEMINÁRIO NACIONAL DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS, 4., 2015, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: SNCS, 2015. Não paginado.

KWOK, A.G; CHUN, C. Thermal comfort in Japanese schools, **Solar Energy**, Florida, v. 74, n. 3, p. 245-252, 2003.

LAMBERTS, R; DUTRA, L; PEREIRA, F. **Eficiência energética na arquitetura**. 3 ed. São Paulo: Prós Livro, 2014.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; ABREU, A. L. P. das; CARLO, J. C.; BATISTA, J. O.; MARINOSKI, D. L.; NARANJO, A.; DUARTE, V. C. P. **Desempenho térmico de edificações**. Florianópolis, UFSC: LABEE, 2016.

LORDSLEEM JR., A. C. **Alvenaria de vedação com blocos de concreto**: melhores práticas. 1.ed. São Paulo: ABCP, 2012.

LOMARDO, L.; SILVA FILHO, V. Simulação computacional do projeto centro de informação CRESESB/Eletróbrás: avaliação do Desempenho termoenergético do elemento cobertura naturalizada. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2009, Natal. **Anais...** Natal, 2009. p.1104-113.

LOZANO, R. Envisioning sustainability three-dimensionally. **Journal of Cleaner Production**, Knoxville, v. 16, p.1838-1846, 2008.

MACHADO, M.; BRITTO, C.; NEILA, J. El cálculo de la conductividad térmica equivalente en la cubierta ecológica. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.3, n. 3, p.65-76, 2003.

MACPHERSON, R. K. The assessment of the thermal environment a review. **British Journal of Industrial Medicine**, Sydney, v.19, p.151-164, 1962.

MADHUMATHI, A.; RADHAKRISHNAN, S.; SHANTHIPRIYA, R. Thermal performance evaluation of green roofs in warm humid climates: a case of residential buildings in Madurai, India. **Key Engineering Materials**, Arlington, v. 692, p.82-93, 2016.

MAGALHÃES, J. K. S.; BARBOSA, U. R. Avaliação de barreiras acústicas na atenuação do ruído ambiental. In: COLÓQUIO ESTADUAL DE PESQUISA MULTIDISCIPLINAR, 2., 2017, Mineiros. **Anais...** Mineiros: Unifimes, 2017. Não paginado.

MARQUES, T. H. T.; CHVATAL, K. M. S. A Review of the Brazilian NBR15575 Norm: applying the simulation and simplified methods for evaluating a social house thermal performance. In: SYMPOSIUM ON SIMULATION FOR ARCHITECTURE AND URBAN DESIGN, 4., 2013, San Diego. **Proceedings...**San Diego: SimAUD, 2013.

MARY, W.; SILVA, L. P.; MORAES, M. F.; ARRUDA, J.; WATSON, E.; FERRARI, A. C.; ROSSAFA, B.; PINTO, G. B. Telhados verdes: ferramenta potencial para geração de renda em áreas de fragilidade social. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE PAISAGISMO EM ESCOLAS DE ARQUITETURA E URBANISMO NO BRASIL, 9., 2008, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ENEPEA, 2008. Não paginado.

MATEUS, D. **Acústica de edifícios e controlo de ruído**. 1. ed. Coimbra: FCTUC, 2008. 82p.

MEDISOM. **Ponderação A ou C**. Joinville, [2016]. Disponível em: <<http://medisom.com.br/blog/ponderacao-a-ou-c>>. Acesso em: 12 de dezembro de 2018.

MENDONÇA, P. **Habitar sob uma segunda pele: estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados**. 2005. 149f. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães, 2005.

MENEZES, M. I. A. **Caracterização acústica interior de edifícios escolares reabilitados: O caso da escola secundária Rodrigues de Freitas**, Porto. 2010. 126f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto, 2010.

MINISTÉRIO DO TRABALHO - MT. **NR 15:** atividades e operações insalubres. Publicada na Portaria MTb n.º 3.214, de 08 de junho de 1978. Atualizada pela Portaria SIT n.º 291, de 08 de dezembro de 2011. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SS T/NR/NR15/NR-15.pdf>>. Acesso em: 5 de set de 2017.

MIRANDA, P. P. **Estudo comparativo entre o sistema construtivo convencional mais utilizado na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul e o sistema construtivo Industrializado light steel framing.** 2018. 96f. Trabalho de conclusão de curso – Departamento de engenharia civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2018.

MOREIRA, E. B. M.; NÓBREGA, R. S.; SILVA, B. B.; RIBEIRO, E. P. O modelo SEBAL para estudos de clima instraurbano: aplicação em Recife, Pernambuco, Brasil. **Revista Ra' e ga**, Curitiba, v. 39, p.247-265, 2017.

MONTEIRO, V.; LEDER, S. M. A aplicação da termografia como ferramenta de investigação térmica no espaço urbano. In: ENCONTRO NACIONAL E IV ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 6., 2011, Vitória. **Anais...** Vitória: ELECS, 2011. Não paginado.

NAGEM, M. P. **Mapeamento e análise do ruído ambiental: diretrizes e metodologia.** 2004. 133f. Dissertação (Mestrado) - Comissão de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

NETO, M.de. F. F.; BERTOLI, S. R. Desempenho acústico de paredes de blocos e tijolos cerâmico: uma comparação entre Brasil e Portugal. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.10, n. 4, p.169-180, 2010.

NICO-RODRIGUES, E. A. **Influência da janela no desempenho térmico de ambientes ventilados naturalmente.** 2015. 202f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidad del Bío, Concepción, 2015.

NUNES, M.F.O.; ZINI, A.; PAGNUSSAT, D.T. Desempenho acústico de sistemas de piso: estudos de caso para isolamento ao ruído aéreo e de impacto. **Acústica e vibrações**, Santa Maria, n. 46, p.13-19, 2014.

OLIVEIRA, J. R.; OITICICA, M. L G. R. Qualidade acústica em igrejas: relação entre o tratamento acústico e a eletroacústica. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., 2013, Brasília. **Anais...** Brasília: ENCAC, 2013. Não paginado.

ORDENES, M.; GUTHS, S.; LAMBERTS, R. Estimativa de propriedades termofísicas em campo usando modelos de transferência de calor e umidade. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p.19-35, 2010.

PACHECO, G. H. S.; DIAS, A. R. D.; FERNANDES, R. O.; PEDRINI, A.; BRITO, H. M. B. C. de. Aplicação das recomendações bioclimáticas em projeto no clima quente e úmido: estudo de caso de hotel em Tibau do sul/RN. In: ENCONTRO NACIONAL E LATINOAMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2013, Brasília. **Anais...** Brasília, 2013. Não paginado.

PEIXOTO, C.; PEREIRA, A.; ARRUDA, M.; FUCALE, S.; PEREIRA, M.; SELVA, P. Avaliações de concepção, reaproveitamento de recursos naturais e eficiência Energética do projeto de edifício escolar verde no município de Recife-PE. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS, 2., 2016, Paraíba. **Anais...** Paraíba, 2016. Não paginado.

PEIXOTO, C.; PEREIRA, A.; FUCALE, S.; SELVA, P. Análise da geração de resíduos na construção de edifício escolar sustentável no município de Recife-PE. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO E EUROPEU SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 2., 2017, São Leopoldo. **Anais...** São Leopoldo: EURO ELECS, 2017. p. 1013-1023.

PEREIRA, I. M.; ASSIS, E. S. de; Avaliação de modelos de índices adaptativos para uso no projeto arquitetônico bioclimático. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p.31-51, 2010.

PEREIRA JUNIOR, R. A. **Método construtivo *passivhaus* (casa passiva)**. 2018. 63f. Trabalho de conclusão de curso – Departamento de engenharia civil, Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2018.

PERUSSI, R.; VECCHIA, F. A. S. Análise do comportamento térmico de um sistema de cobertura verde utilizando plataformas de teste. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 7, n. 4, p.225-236, 2016.

PIVETTA, J. **Influência de elementos paisagísticos no desempenho térmico de edificação térrea**. 2010. 69f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento, Universidade estadual de Londrina, Londrina, 2010.

PORTUGAL. **Decreto Lei nº 96**, de jun de 2008. Regulamento de Requisitos Acústicos em Edifícios (RRAE).

RABELO, A. T. V.; SANTOS, J. N.; OLIVEIRA, R. C.; MAGALHÃES, M. C. Efeito das características acústicas de salas de aula na inteligibilidade de fala dos estudantes. **CoDAS**, Belo Horizonte, v.26, n.6, p.360-366, 2014.

RECIFE. Lei nº 18.112, de 12 de janeiro de 2015. **Lex**: coletânea de legislação municipal, Recife, 2015. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=280138>> Acesso em 5 de fev de 2016.

REIS, P. M.; OLIVEIRA, M. G.; VILELA, F. O.; SIQUEIRA, E. J. A construção modular com utilização de painéis EPS. **Revista Episteme Transversalis**, Volta Redonda, v.6, n.1, 2015. Não paginado.

ROAF, S.; CRICHTON, D.; NICOL, F. **Adapting buildings and cities for climate change**. 2. ed. Oxford: Architectural Press, 2009. 400p.

ROCHA, E. **O conforto na arquitetura e no design**. 1. ed. São Paulo: Essential Idea, 2016.

ROMERO, M. A.; ORNSTEIN, S. W. **Avaliação Pós-Ocupação: Métodos e técnicas aplicados à habitação social**. Porto Alegre: ANTAC (coleção habitare), 2003.

SANTO, A. D.; ALVAREZ, C. E.; RODRIGUES, E. A. Conforto e desempenho térmico em contradição na NBR 15575. **Cadernos PROARQ 20**, Rio de Janeiro, n. 20, p. 116-136, 2013.

SANTOS, J. B. dos. **O uso do pmv para avaliação do conforto térmico em edifício de escritório tipo plano aberto e sua viabilidade de aplicação em clima quente e úmido**. 2018. 123f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018.

SANTOS, J. F.; SELIGMAN, L.; TOCHETTO, T. M. Conforto acústico na percepção de escolares alfabetizados. **Revista Sociedade Brasileira Fonoaudiologia**, Manaíra, v.17, n. 3, 2012.

SANTOS FILHO, V. M. S.; SPOSTO, R. M.; CALDAS, L. R. Análise do desempenho acústico de fachadas ventiladas de porcelanato à luz da norma de desempenho: estudo de caso em um edifício habitacional em Brasília-DF. **Revista eletrônica de engenharia civil**, Goiânia, v. 13, n. 2, p.116-130, 2017.

SILVA, A. O. **Estratégias para construir cidades resilientes**. 2018. 98f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Dinâmicas Sociais, Riscos Naturais e Tecnológicos, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2018.

SILVA, F. A. M. **Diagnóstico da envolvente de um edifício escolar com recurso a análise termográfica**. 2016. 154f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Viana do Castelo, 2016.

SILVA, M. S. R.; WESTPHAL, F. S.; BARTH, F. Metodologia para a verificação dos indicadores de desempenho térmico-insolação e ventilação. In. PROJETA, 6., 2013, Salvador. **Anais...** Salvador, 2013. Não paginado.

SILVA, P. R. R. **Análise do conforto térmico de edifício escolar verde do município do Recife – PE**. 2018. 43f. Trabalho de conclusão de curso – Departamento de engenharia civil, Universidade de Pernambuco, Recife, 2018.

SILVEIRA, G. W. P.; SPAGNUOLO, A. Y. N.; ZANELLA, H. F. Z.; FARIA, J. R. G.; FONTES, M. S. G. C. Conforto térmico em salas de aula: estado da arte das pesquisas nacionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: ENTAC, 2018. p.1038-1046.

SORGATO, M. J; MARINOSKI, D. L.; MELO, A. P; LAMBERTS, R. Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 Para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p.83–101, 2014.

SORGATO, M. J.; MARINOSKI, D. L.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **Nota Técnica referente à avaliação para a Norma de Desempenho NBR 15575 em Consulta Pública**. Florianópolis, UFSC: LABEE, 2012.

SOUZA, T. M. A. **Estudo de caso em um edifício verde do setor educacional no município de Recife: avaliação de desempenho e conforto acústico**. 2018. 37f. Trabalho de conclusão de curso – Departamento de engenharia civil, Universidade de Pernambuco, Recife, 2018.

SOUZA, L. C. L.; ALMEIDA, M. G.; BRAGANÇA, L. **Bê-a-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura**. 6 reimpressão. São Carlos: EdUFSCar, 2016. 149p.

TADEU, A. **Comportamento acústico de edifícios**. 1. ed. Coimbra: FCTUC, 2000.

TALIN, L. C. A.; TIBÚRCIO, T. M.; TIBIRIÇÁ, A. C. G. Estudo comparativo entre duas residências na cidade de Viçosa, MG: verificação de sustentabilidade na acústica arquitetônica. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: ENTAC, 2012. p.1901-1906.

TELI, D.; JENTSCH, M. F.; JAMES, P. A. B. Naturally ventilated classrooms: An assessment of existing comfort models for predicting the thermal sensation and preference of primary school children. **Energy and Buildings**, Sydney, v. 53, p. 166-182, 2012.

TORIJA, A. J.; FLINDELL, I. H. Differences in subjective loudness and annoyance depending on the road traffic noise spectrum. **The Journal of the Acoustical Society of America**, Falmouth, v. 135, n. 1, p. 1-4, 2014.

VALÉRIO, J. G. M. A. P.; **Avaliação do impacte das pontes térmicas no desempenho térmico e energético de edifícios residenciais correntes**. 2007. 97f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007.

VEIGA, J. E. **Para entender o desenvolvimento sustentável**. 1. ed. São Paulo: Editora 34, 2015.

VIANA, S. S. M. **Conforto térmico nas escolas estaduais de Presidente Prudente/SP**. 2013. 219f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia, Universidade estadual Paulista, Presidente Prudente, 2013.

VIEGAS, D.J.A. **Utilização de termografia infravermelha em fachadas para verificação de descolamento de revestimento**. 2015. 165f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco, Recife, 2015.

WASSOUF, M. **A arquitetura passiva em climas quentes**. 2.ed. Madrid: Gustavo Gili, 2014. 143p.

WEBSTER, M. F. Ruído. In: SEMINÁRIO DE PERÍCIAS TRABALHISTAS, 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ACEST/ANEST, 2006. Não paginado.

WILLES, J. A. **Tecnologias em telhados verdes extensivos: meios de cultura, caracterização hidrológica e sustentabilidade do sistema**. 2014. 70f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

WONG, N.H; KHOO, S.S. Thermal comfort in classrooms in the tropics, **Energy and Buildings**, Sydney, v. 35, n. 4, p. 337-351, 2002.

APÊNDICE A

Detalhamento do quantitativo de alunos por sala e turno da edificação escolar em estudo

Tabela 48 – Quantitativo da população de alunos da edificação escolar por ano, turma e turno.

Turno da Manhã		
Ano	Turma	Quantidade
1°	A	22
	B	23
	C	22
2°	A	23
	B	22
	C	23
3°	A	22
	B	22
	C	19
4°	A	22
	B	22
Total		175
Turno da Tarde		
Ano	Turma	Quantidade
1°	D	22
	E	20
2°	D	22
	E	16
3°	D	22
	E	22
4°	C	25
Total		149

Fonte: Dados fornecidos pela direção da escola.

APÊNDICE B
Fichas de ensaio para avaliação de conforto acústico

LEITURAS DE NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA (QUADRO DETALHADO)					
DATA: __/__/____		CONDIÇÃO DO AMBIENTE:			
AMBIENTE:		ATIVIDADE:		INTERNO <input type="checkbox"/>	EXTERNO <input type="checkbox"/>
EQUIPAMENTO UTILIZADO:			Nº DE ALUNOS:		
HORÁRIO (INÍCIO – FIM):			DURAÇÃO:		
PONTO	INSTANTE	NÍVEL DE PRESSÃO SONORA			OBS.:
		LAeqmáx	LAeq	LAeqmín	
	1'				
	2'				
	3'				
	4'				
	5'				
	6'				
	7'				
	8'				
	9'				
	10'				
	11'				
	12'				
	13'				
	14'				
	15'				
	16'				
	17'				
	18'				
	19'				
	20'				

LEITURAS DE NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA (QUADRO RESUMO)						
DATA: ___/___/___			CONDIÇÃO DO AMBIENTE:			
AMBIENTE:		ATIVIDADE:			INTERNO <input type="checkbox"/> EXTERNO <input type="checkbox"/>	
EQUIPAMENTO UTILIZADO:				Nº DE ALUNOS:		
DURAÇÃO:						
PONTO	HORÁRIO		NÍVEL DE PRESSÃO SONORA			LOCAÇÃO DOS PONTOS
	INÍCIO	FIM	LAeqmáx	LAeq	LAeqmín	

APÊNDICE C
Verificação da calibração do sensor Modelo AM2302

Verificação da calibração do sensor de temperatura e umidade relativa do ar utilizado na pesquisa

Horário: 14:39 às 15:10

Data: 20/12/2017

Acurácia do sensor Modelo AM2302: $\pm 1^{\circ}\text{C} \pm 5\%$

Acurácia do termo-higrômetro: $\pm 1^{\circ}\text{C} \pm 5\%$

Leitura	Sensor Modelo AM2302 Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Termo-higrômetro Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Sensor Modelo AM2302 UR (%)	Termo-higrômetro UR (%)
1	25,6	27,0	44	34
2	25,5	27,0	44	33
3	25,6	26,9	44	33
4	25,5	26,8	43	33
5	25,5	26,6	44	33
6	25,4	26,1	44	33
7	25,4	26,1	44	33
8	25,4	26,1	44	33
9	25,4	26,0	44	32
10	25,4	26,0	43	32
11	25,3	26,0	43	32
12	25,2	26,0	43	32
13	25,1	26,0	44	32
14	25,1	25,9	43	33
15	25,1	25,9	43	33
16	25,0	25,9	43	33
17	25,0	25,9	43	33
18	25,2	25,9	44	33
19	25,8	25,8	43	33
20	25,9	25,8	43	33
21	25,1	25,8	43	33
22	25,1	25,8	43	33
23	28,8	26,9	42	32
24	28,7	26,9	41	33
25	28,7	26,9	42	33
26	28,6	26,8	41	33
27	28,6	26,6	42	32
28	28,5	26,6	41	32
29	28,5	26,5	41	32
30	28,5	26,4	41	32
31	28,4	26,4	41	32

Obs: Sensor AM2303 estava programado para efetuar 1 leitura por minuto.

APÊNDICE D**Ficha de ensaio com uso de termografia infravermelha**

MEDIÇÕES DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE E DO AMBIENTE		
DATA: __/__/__		
AMBIENTE:	INTERNO <input type="checkbox"/> EXTERNO <input type="checkbox"/>	
EQUIPAMENTO UTILIZADO:		
HORÁRIO (INÍCIO – FIM):		
SUPERFÍCIE:		
TEMPERATURA DO AMBIENTE:		UMIDADE RELATIVA DO AR:
EMISSIVIDADE:		
TEMPERATURAS DA SUPERFÍCIE		
TEMPERATURA MÁX:	TEMPERATURA MIN:	TEMPERATURA MÉDIA:
PONTO	(°C)	

APÊNDICE E
Questionários

Avaliação referente ao nível de satisfação dos alunos da Edificação Escolar Sustentável

*Obrigatório

Opinião sobre o funcionamento

O que você acha sobre o tamanho: *

	Muito pequeno	Pequeno	Normal	Grande	Muito Grande
Da escola?	<input type="radio"/>				
Da quadra?	<input type="radio"/>				
Dos corredores?	<input type="radio"/>				
Do auditório?	<input type="radio"/>				
Da sala de artes?	<input type="radio"/>				
Do pátio de recreação?	<input type="radio"/>				

Você sente falta de espaço para alguma atividade na escola? *

- Não
- Sim

Se sim, qual?

Sua resposta

Você gosta de estar na escola? *

Sim

Não

Por quê?

Sua resposta

Conforto acústico

O que você acha do barulho: *

	Sem barulho	Pouco barulho	Muito barulho
Na sua sala de aula?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Na quadra?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nos corredores?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Do auditório?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Da sala de artes?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Do pátio de recreação?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Dentro da sala de aula, você consegue escutar barulhos vindos do lado de fora? *

Sim

Não

Se sim, de onde vêm esses barulhos?

Dos corredores

De outras salas de aula

Do trânsito

Conforto térmico

O que você acha sobre a temperatura: *

	Muito quente	Quente	Fresquinha	Normal	Fria
Na sua sala de aula com ar condicionado?	<input type="radio"/>				
Na quadra	<input type="radio"/>				
Nos corredores	<input type="radio"/>				
Do auditório com ar condicionado?	<input type="radio"/>				
Da sala de artes com ar condicionado?	<input type="radio"/>				
Do pátio de recreação	<input type="radio"/>				

Como estava a sala o4 nessa semana? *

- Muito quente
- Quente
- Fresquinha
- Normal
- Fria

Como estava a sala de artes nessa semana? *

- Muito quente
- Quente
- Fresquinha
- Normal
- Fria

Como você estava se sentindo, nessa semana, durante o experimento? *

- Com vontade de se abanar
- Com vontade de colocar um casaco
- Suando muito
- Suando pouco
- Normal

Avaliação referente ao nível de satisfação dos professores da Edificação Escolar Sustentável

O questionário é anônimo, rápido e prático. Asseguramos a integridade das respostas e gostaríamos de saber a sua opinião como um todo.

*Obrigatório

Opinião sobre o funcionamento

O que você acha sobre o tamanho: *

	Muito pequeno	Pequeno	Normal	Grande	Muito Grande
Da escola?	<input type="radio"/>				
Da quadra?	<input type="radio"/>				
Dos corredores?	<input type="radio"/>				
Do auditório?	<input type="radio"/>				
Da sala de artes?	<input type="radio"/>				
Do pátio de recreação?	<input type="radio"/>				

Você sente falta de espaço para alguma atividade na escola? *

Não

Sim

Se sim, qual?

Sua resposta

Você se sente confortável nos ambientes da escola? *

Sim

Não

Por quê?

Sua resposta

Conforto acústico

O que você acha do barulho: *

	Sem barulho	Pouco barulho	Muito barulho
Na sua sala de aula?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Na quadra?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nos corredores?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
No auditório?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Na sala de artes?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
No pátio de recreação?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Dentro da sala de aula, você consegue escutar barulhos vindos do lado de fora? *

Sim

Não

Se sim, de onde vêm esses barulhos?

Dos corredores

De outras salas de aula

Do trânsito

Você percebe diferença no comportamento/desempenho escolar dos alunos quando a sala de aula está muito barulhenta? *

Sim

Não

Você percebe diferença no seu desempenho como professor quando a sala de aula está muito barulhenta? *

Sim

Não

Conforto térmico

Qual a sua percepção térmica *

	Muito quente	Quente	Fresquinha	Normal	Fria
Na sala de aula com ar condicionado?	<input type="radio"/>				
Na quadra?	<input type="radio"/>				
Nos corredores?	<input type="radio"/>				
No auditório com ar condicionado?	<input type="radio"/>				
Na sala de artes com ar condicionado?	<input type="radio"/>				
No pátio de recreação?	<input type="radio"/>				

Você percebe diferença no comportamento/desempenho escolar dos alunos quando a sala de aula está muito quente/muito fria? *

- Sim, quando fria
- Sim, quando quente
- Não

Você percebe diferença no seu desempenho como professor quando a sala de aula está muito quente/muito fria? *

- Sim, quando fria
- Sim, quando quente
- Não

Como estava a sala 4 nessa semana? *

- Muito quente
- Quente
- Fresquinha
- Normal
- Fria
- Não dei aula nessa sala

Como estava a sala de artes nesta semana? *

- Muito quente
- Quente
- Fresquinha
- Normal
- Fria
- Não dei aula nessa sala

Como você estava se sentindo, nesta semana, durante o experimento? *

- Com vontade de se abanar
- Com vontade de colocar o casaco
- Suando muito
- Suando pouco
- Normal

ANEXO A
Planta de forro dos ambientes nos módulos 1 e 2



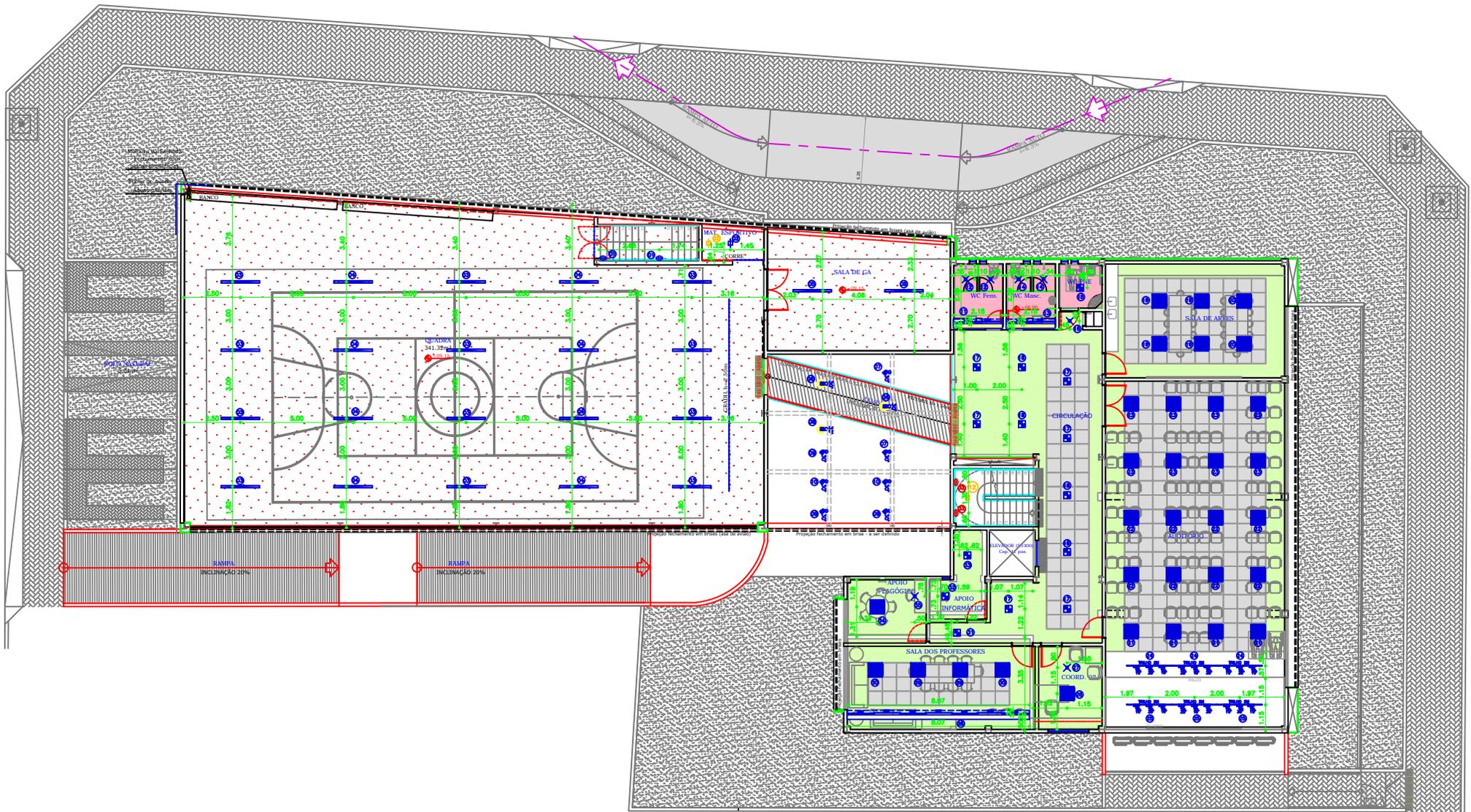
LEGENDA:

- | | | | |
|---|----------------------------------|---|----------------------------|
|  | h=2,15m - FORRO GESSO ACARTONADO |  | h=2,55m - FORRO MINERAL |
|  | h=2,25m - FORRO GESSO ACARTONADO |  | h=2,63m - FORRO MINERAL |
|  | h=2,40m - FORRO GESSO ACARTONADO |  | - SEM FORRO |
|  | h=2,55m - FORRO GESSO ACARTONADO |  | - JUNTA DE DILATAÇÃO 3X3cm |

1 PLANTA BAIXA DO TÉRREO

816,99 m²





LEGENDA:

- | | | | |
|---|----------------------------------|---|----------------------------|
|  | h=2,40m - FORRO GESSO ACARTONADO |  | - SEM FORRO |
|  | h=2,55m - FORRO GESSO ACARTONADO |  | - TELHA FORRO (DÂNICA) |
|  | h=2,55m - FORRO MINERAL |  | - JUNTA DE DILATAÇÃO 3X3cm |
|  | h=2,63m - FORRO MINERAL | | |

2 PLANTA BAIXA DO 3º PAVIMENTO

732,36 m²



ANEXO B
Elementos sustentáveis empregados nos módulos 1 e 2

Térreo



Legenda:

1 – Obra de arte “A árvore da vida”.

2 – Obra de arte feita com a campanha “lixo que vira arte” (protótipo da escultura).

3 - Bebedouro com copos de papel;

4 – Compostagem pela campanha “lixo que vira adubo”;

5 – Estação de tratamento e reaproveitamento de água da chuva e cinza.

Primeiro pavimento



Legenda:

6 e 7 – Acessibilidade garantida por meio de elevador e rampas;
8 – Parede verde e marquise jardim;

9 - Sala 4 possui brises fixos metálicos, *Drywall*, luminárias LED, ar condicionados mais eficientes e automação.

Terceiro pavimento



Legenda:

10 – Sala de artes, laje imediatamente abaixo do teto verde

11 – Auditório, iluminação LED e ar condicionados mais eficientes

12 – Telhado de vidro, otimização da iluminação natural

13 – Quadra esportiva possui termobrises, calhas de coleta da água da chuva e telha termoacústica

Cobertura



Legenda:

14 – Inversores instalados, com 27,6 kW e 5,8 kW de potência.

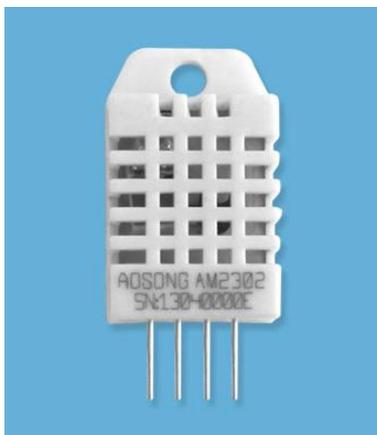
15 – Laboratório de visitação para os alunos: painéis fotovoltaicos, 126 módulos policristalinos no total.

16 – Telhado verde com aproximadamente 120m².

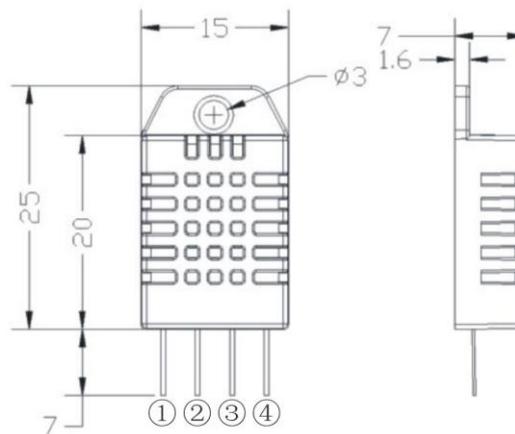
ANEXO C
Especificações Manual do fabricante do sensor de temperatura e umidade
Modelo AM2302

1、 Product Overview

AM2302 capacitive humidity sensing digital temperature and humidity module is one that contains the compound has been calibrated digital signal output of the temperature and humidity sensors. Application of a dedicated digital modules collection technology and the temperature and humidity sensing technology, to ensure that the product has high reliability and excellent long-term stability. The sensor includes a capacitive sensor wet components and a high-precision temperature measurement devices, and connected with a high-performance 8-bit microcontroller. The product has excellent quality, fast response, strong anti-jamming capability, and high cost. Each sensor is extremely accurate humidity calibration chamber calibration. The form of procedures, the calibration coefficients stored in the microcontroller, the sensor within the processing of the heartbeat to call these calibration coefficients. Standard single-bus interface, system integration quick and easy. Small size, low power consumption, signal transmission distance up to 20 meters, making it the best choice of all kinds of applications and even the most demanding applications. Products for the 3-lead (single-bus interface) connection convenience. Special packages according to user needs.



Physical map



Dimensions (unit: mm)

2、 Applications

HVAC, dehumidifier, testing and inspection equipment, consumer goods, automotive, automatic control, data loggers, home appliances, humidity regulator, medical, weather stations, and other humidity measurement and control and so on.

3、 Features

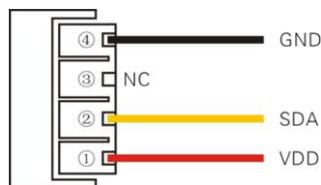
Ultra-low power, the transmission distance, fully automated calibration, the use of capacitive humidity sensor, completely interchangeable, standard digital single-bus output, excellent long-term stability, high accuracy temperature measurement devices.

4、 The definition of single-bus interface

4.1 AM2302 Pin assignments

Table 1: AM2302 Pin assignments

Pin	Name	Description
①	VDD	Power (3.3V–5.5V)
②	SDA	Serial data, bidirectional port
③	NC	Empty
④	GND	Ground



PIC1: AM2302 Pin Assignment

4.2 Power supply pins (VDD GND)

AM2302 supply voltage range 3.3V – 5.5V, recommended supply voltage is 5V.

4.3 Serial data (SDA)

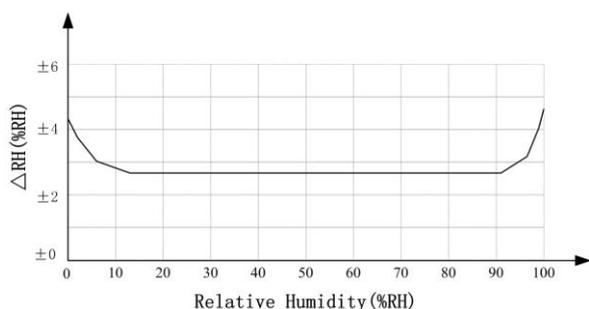
SDA pin is tri structure for reading, writing sensor data. Specific communication timing, see the detailed description of the communication protocol.

5、 Sensor performance

5.1 Relative humidity

Table 2: AM2302 Relative humidity performance table

Parameter	Condition	min	typ	max	Unit
Resolution			0.1		%RH
Range		0		99.9	%RH
Accuracy ^[1]	25°C		± 2		%RH
Repeatability			± 0.3		%RH
Exchange		Completely interchangeable			
Response ^[2]	1/e(63%)		<5		S
Sluggish			<0.3		%RH
Drift ^[3]	Typical		<0.5		%RH/yr

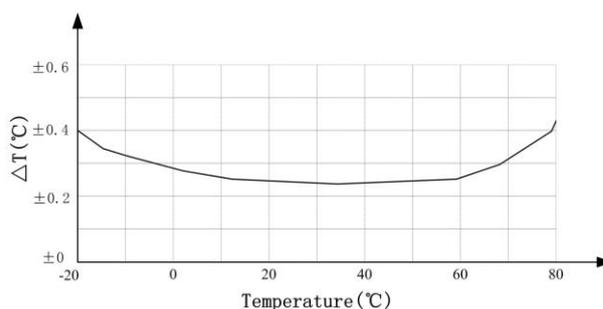


Pic2: At25°C The error of relative humidity

5.2 Temperature

Table 3: AM2302 Relative temperature performance

Parameter	Condition	min	typ	max	Unit
Resolution			0.1		°C
n			16		bit
Accuracy			± 0.5	± 1	°C
Range		-40		80	°C
Repeat			± 0.2		°C
Exchange		Completely interchangeable			
Response	1/e(63%)		<10		S
Drift			± 0.3		°C/yr



Pic3: The maximum temperature error

6、Electrical Characteristics

Electrical characteristics, such as energy consumption, high, low, input, output voltage, depending on the power supply. Table 4 details the electrical characteristics of the AM2302, if not identified, said supply voltage of 5V. To get the best results with the sensor, please design strictly in accordance with the conditions of design in Table 4.

Table 4: AM2302 DC Characteristics

Parameter	Condition	min	typ	max	Unit
Voltage		3.3	5	5.5	V
Power consumption ^[4]	Dormancy	10	15		μA
	Measuring		500		μA
	Average		300		μA
Low level output voltage	I _{OL} ^[5]	0		300	mV
High output voltage	R _p <25 kΩ	90%		100%	VDD
Low input voltage	Decline	0		30%	VDD
Input High Voltage	Rise	70%		100%	VDD
R _{pu} ^[6]	VDD = 5V VIN = VSS	30	45	60	kΩ
Output current	turn on		8		mA
	turn off	10	20		μA
Sampling period		2			S

[1] the accuracy of the factory inspection, the sensor 25°C and 5V, the accuracy specification of test conditions, it does not include hysteresis and nonlinearity, and is only suitable for non-condensing environment.

[2] to achieve an order of 63% of the time required under the conditions of 25°C and 1m / s airflow.

[3] in the volatile organic compounds, the values may be higher. See the manual application to store information.

[4] this value at VDD = 5.0V when the temperature is 25°C, 2S / time, under the conditions of the average.

[5] low output current.

[6] that the pull-up resistor.

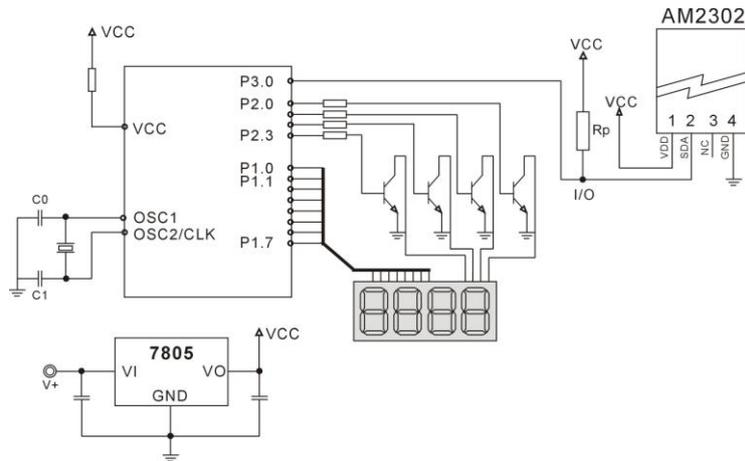
7、Single-bus communication (ONE-WIRE)

7.1 Typical circuits for single bus

Microprocessor and AM2302 connection typical application circuit is shown in Figure 4. Single bus communication mode, pull the SDA microprocessor I / O port is connected.

Special instructions of the single-bus communication :

1. Typical application circuit recommended in the short cable length of 30 meters on the 5.1K pull-up resistor pullup resistor according to the actual situation of lower than 30 m.
2. With 3.3V supply voltage, cable length shall not be greater than 100cm. Otherwise, the line voltage drop will lead to the sensor power supply, resulting in measurement error.
3. Read the sensor minimum time interval for the 2S; read interval is less than 2S, may cause the temperature and humidity are not allowed or communication is unsuccessful, etc..
4. Temperature and humidity values are each read out the results of the last measurement For real-time data that need continuous read twice, we recommend repeatedly to read sensors, and each read sensor interval is greater than 2 seconds to obtain accuratethe data.



Pic4: AM2302 Typical circuits for single bus

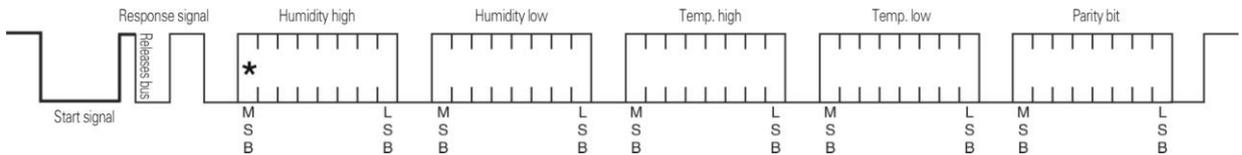
7.2、Single-bus communication protocol

◎ Single bus Description

AM2302 device uses a simplified single-bus communication. Single bus that only one data line, data exchange system, controlled by the data line to complete. Equipment (microprocessor) through an open-drain or tri-state port connected to the data line to allow the device does not send data to release the bus, while other devices use the bus; single bus usually require an external about 5.1kΩ pull-up resistor, so when the bus is idle, its status is high. Because they are the master-slave structure, only the host calls the sensor, the sensor will answer, so the hosts to access the sensor must strictly follow the sequence of single bus, if there is a sequence of confusion, the sensor will not respond to the host.

◎ Single bus to send data definition

SDA For communication and synchronization between the microprocessor and the AM2302, single-bus data format, a transmission of 40 data, the high first-out. Specific communication timing shown in Figure 5, the communication format is depicted in Table 5.



Pic5: AM2302 Single-bus communication protocol

Table 5: AM2302 Communication format specifier

Name	Single-bus format definition
Start signal	Microprocessor data bus (SDA) to bring down a period of time (at least 800μ s) [1] notify the sensor to prepare the data.
Response signal	Sensor data bus (SDA) is pulled down to 80μ s, followed by high-80μ s response to host the start signal.
Data format	Host the start signal is received, the sensor one-time string from the data bus (SDA) 40 data, the high first-out.
Humidity	Humidity resolution of 16Bit, the previous high; humidity sensor string value is 10 times the actual humidity values.
Temp.	Temperature resolution of 16Bit, the previous high; temperature sensor string value is 10 times the actual temperature value; The temperature is the highest bit (Bit15) is equal to 1 indicates a negative temperature, the temperature is the highest bit (Bit15) is equal to 0 indicates a positive temperature; Temperature in addition to the most significant bit (Bit14 ~ bit 0) temperature values.
Parity bit	Parity bit = humidity high + humidity low + temperature high + temperature low

◎ Single-bus data calculation example

Example 1: 40 Data received:

<u>0000 0010</u>	<u>1001 0010</u>	<u>0000 0001</u>	<u>0000 1101</u>	<u>1010 0010</u>
High humidity 8	Low humidity 8	High temp. 8	Low temp. 8	Parity bit

Calculate:

$0000\ 0010 + 1001\ 0010 + 0000\ 0001 + 0000\ 1101 = 1010\ 0010$ (Parity bit)

Received data is correct:

humidity: $0000\ 0010\ 1001\ 0010 = 0292\text{H}$ (Hexadecimal) = $2 \times 256 + 9 \times 16 + 2 = 658$
=> Humidity = 65.8%RH

Temp.: $0000\ 0001\ 0000\ 1101 = 10\text{DH}$ (Hexadecimal) = $1 \times 256 + 0 \times 16 + 13 = 269$
=> Temp. = 26.9°C

◎ Special Instructions:

When the temperature is below 0 °C, the highest position of the temperature data.

Example: -10.1 °C Expressed as 1 000 0000 0110 0101

Temp.: $0000\ 0000\ 0110\ 0101 = 0065\text{H}$ (Hexadecimal) = $6 \times 16 + 5 = 101$
=> Temp. = -10.1°C

Example 2: 40 received data:

<u>0000 0010</u>	<u>1001 0010</u>	<u>0000 0001</u>	<u>0000 1101</u>	<u>1011 0010</u>
High humidity 8	Low humidity 8	High temp. 8	Low temp. 8	Parity bit

Calculate:

$0000\ 0010 + 1001\ 0010 + 0000\ 0001 + 0000\ 1101 = 1010\ 0010 \neq \underline{1011\ 0010}$ (Validation error)

The received data is not correct, give up, to re-receive data.

ANEXO D

Dados da Estação Meteorológica Convencional do INMET de Recife-PE para os dias de monitoramento

Tabela 49 – Dados climáticos da Estação Meteorológica Convencional de Recife-PE.

Data	TCM (°C)	UR (%)	Precipitação total diária (mm)	Velocidade média do ar diária (m/s)
22/01/2018	27,0	70,5	0,8	2,7
23/01/2018	26,8	71,3	3,8	1,8
24/01/2018	27,1	74,8	6,2	2,5
25/01/2018	26,6	74,0	2,4	1,7
26/01/2018	27,0	73,3	0,0	2,4
27/01/2018	27,6	69,3	0,6	1,6
28/01/2018	27,0	74,8	0,0	2,0
29/01/2018	27,5	69,0	1,2	2,0
30/01/2018	28,1	72,0	0,2	1,7
31/01/2018	28,3	72,3	0,0	2,0
26/02/2018	26,9	74,8	0,2	2,1
27/02/2018	27,2	75,0	0,0	2,6
28/02/2018	27,1	77,0	0,2	1,9
01/03/2018	27,2	76,8	1,0	1,8
02/03/2018	27,2	74,8	0,0	1,9

Fonte: INMET (2019)⁵.

⁵ Dados obtidos pela Estação Meteorológica Convencional do INMET no Curado, Recife-PE, para análise deste estudo, em fevereiro de 2019.