

Carolina de Oliveira Buonocore

**ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO NO
CLIMA QUENTE E ÚMIDO DE SÃO LUÍS (MA):
ESTUDOS DE CAMPO EM SALAS DE AULA
NATURALMENTE VENTILADAS E CLIMATIZADAS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Roberto Lamberts, PhD.

Coorientadora: Prof. Dr^a. Veridiana Atanasio Scalco

Florianópolis
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Buonocore, Carolina de Oliveira

Análise das condições de conforto térmico no
clima quente e úmido de São Luís (MA) : estudos de
campo em salas de aula naturalmente ventiladas e
climatizadas / Carolina de Oliveira Buonocore ;
orientador, Roberto Lamberts, coorientadora,
Veridiana Atanasio Scalco, 2018.
200 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós
Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis,
2018.

Inclui referências.

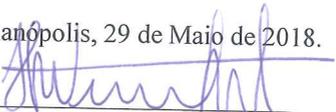
1. Arquitetura e Urbanismo. 2. Conforto térmico.
3. Clima quente e úmido. 4. Ventilação natural. 5.
Salas de aula. I. Lamberts, Roberto . II. Scalco,
Veridiana Atanasio. III. Universidade Federal de
Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo. IV. Título.

Carolina de Oliveira Buonocore

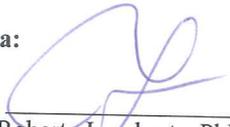
**ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO NO
CLIMA QUENTE E ÚMIDO DE SÃO LUÍS (MA): ESTUDOS DE
CAMPO EM SALAS DE AULA NATURALMENTE
VENTILADAS E CLIMATIZADAS**

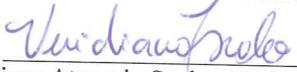
Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo.

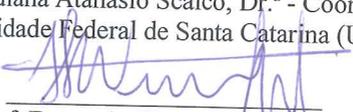
Florianópolis, 29 de Maio de 2018.

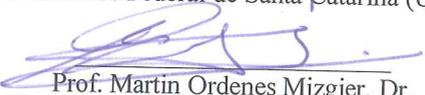

Prof. Fernando Simon Westphal, Dr.
Coordenador do Curso

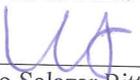
Banca Examinadora:


Prof. Roberto Lamberts, PhD. - Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)


Prof.ª Veridiana Atanasio Scalco, Dr.ª - Coorientadora
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)


Prof. Fernando Simon Westphal, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)


Prof. Martin Ordenes Mizgier, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)


Prof. Leonardo Salazar Bittencourt, Dr.
Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

AGRADECIMENTOS

Sou grata à Deus, em primeiro lugar, por me dar a vida, meu bem mais precioso; por me proporcionar essa experiência a qual abracei com todo o meu entusiasmo; e por me capacitar constantemente, com base em todos os aprendizados adquiridos ao longo destes dois maravilhosos anos que se passaram.

Aos meus sempre queridos e estimados pais, Luciano e Deuzenita, que são os meus maiores exemplos de hombridade, dedicação, generosidade e amor. À minha segunda mãe e madrinha de crisma, Carmita, pelo incondicional apoio prestado, das mais diversas maneiras. As páginas que vos escrevo seriam insuficientes para descrever o tamanho da importância de vocês, minha família, na minha vida. Meu sincero muito obrigada por todo o cuidado e apoio dispensados a mim e à minha pesquisa, mesmo à distância. Vocês são minha eterna fortaleza.

Dedico um agradecimento especial aos meus padrinhos de batismo, Giorgio e Síria, que me acolheram com tanto carinho em Florianópolis, tratando-me como uma filha. Para mim, é uma grande honra conviver com pessoas de tão bom coração como vocês. Obrigada pela companhia, pelos grandes aprendizados e por todo o apoio que me foi concedido. Este agradecimento se estende à todos da família Murgia, com a qual tive o prazer de compartilhar tantos bons momentos. E, é claro, um muito obrigada à Cíntia, pela recepção e pela grande ajuda no transporte dos equipamentos de medição (sem você eu não teria conseguido!). Serei eternamente grata a todos.

Agradeço aos companheiros de PósARQ e de LabEEE, com os quais vivi tão boas experiências ao longo destes dois anos. A companhia de vocês fez tudo ficar mais leve e divertido, e foi fundamental em minha trajetória. Muito obrigada, e sucesso a todos nós, nos trabalhos atuais e nos que estão por vir! Que possamos utilizar o nosso conhecimento como contribuição à comunidade acadêmica, científica e à sociedade civil. Estendo esse agradecimento aos professores do PósARQ e do PPGEC, os quais foram parte de todo o meu aprendizado ao longo da pós graduação.

Ao meu orientador, professor Roberto Lamberts, por compartilhar o saber, as experiências e por me abrir tantas portas neste meio. Sou grata por toda a atenção, de sua parte, em relação ao desenvolvimento deste trabalho. O mesmo posso dizer à respeito de minha coorientadora, Veridiana, que nunca deixou de estar presente, contribuindo de forma decisiva no início e na finalização da dissertação.

Obrigada por todo o conhecimento compartilhado! Construímos tudo isso juntos.

Não poderia deixar de registrar agradecimentos às pessoas que contribuíram de forma direta para a viabilização deste trabalho. Ao professor Fernando Westphal, pela importante ajuda ainda na etapa de definição do projeto de pesquisa. Ao professor Saulo Güths, por me auxiliar com os equipamentos de medição, especialmente nos procedimentos de calibração, muito obrigada por toda a atenção prestada! À professora Andréa Cristina Konrath, pela contribuição com conselhos decisivos sobre os caminhos da estatística para este trabalho. Gostaria de agradecer ao professor Martin, pela experiência enriquecedora de docência proporcionada ao longo da disciplina de graduação – obrigada por todos os ensinamentos e conselhos!

Aos estudantes, professores e servidores do Curso de Arquitetura e Urbanismo (CAU/UEMA), que se prontificaram a colaborar com a realização deste trabalho. Graças à incansável participação de todos vocês (e depois de muitas repetições...), pude atingir resultados muito significativos, os quais certamente terei a oportunidade de compartilhar. A UEMA é parte de mim como formação acadêmica, e sempre levarei o curso de Arquitetura e Urbanismo comigo, aonde quer que eu vá. Gratidão a todos vocês pela imensa cooperação nesta pesquisa científica!

Por fim (e de forma especial), gostaria de deixar o meu muito obrigada à Renata De Vecchi. Todos sabem que o seu nome deveria estar presente ali em cima, ainda na folha de rosto, como forma de reconhecimento pela sua contribuição nesta jornada, mas as formalidades ficam em segundo plano. O seu apoio foi determinante para o amadurecimento do meu trabalho, bem como para o meu crescimento como pesquisadora. Sou muito grata por tudo o que você fez por mim, e pode ter a certeza de que, no que depender de mim, esses esforços terão continuidade. Afinal, quem doa, recebe em dobro, e nada como receber o merecido reconhecimento. Obrigada por acreditar em mim, e por sempre me passar confiança!

RESUMO

Esta pesquisa visa a investigação acerca das condições de aceitabilidade e conforto térmico humano em salas de aula naturalmente ventiladas controladas por seus ocupantes, no contexto do clima tropical equatorial quente-úmido da cidade de São Luís (Maranhão, Brasil). Nesse contexto, os usuários de ambientes naturalmente ventilados apresentam-se suscetíveis ao desconforto por calor, tendo em vista as elevadas temperatura e umidade do ar interno, o que provoca a demanda por maior movimento do ar nesses espaços. Com o objetivo de avaliar a influência das variáveis ambientais internas (temperatura operativa, umidade relativa do ar e velocidade do ar) na percepção térmica dos ocupantes, foram realizados estudos de campo em salas de aula do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual do Maranhão (CAU/UEMA), divididos em duas etapas: nos períodos letivos de março e abril de 2017 (estação quente e chuvosa) e de setembro e outubro de 2017 (estação quente e seca). Os estudos de campo consistiram em medições de variáveis ambientais internas *in loco*, em paralelo à aplicação de questionários para a avaliação do ambiente térmico e do movimento do ar, no decorrer das aulas. Além das salas de aula naturalmente ventiladas, ambientes climatizados por ar condicionado também foram incorporados à pesquisa, uma vez que ofereceram outras condições de temperatura e umidade (amostra de comparação). Obtiveram-se, no total, 2680 votos de percepção térmica, sendo 1650 em ambientes naturalmente ventilados e 1030 em ambientes com ar condicionado ativo. O cruzamento entre os votos de percepção térmica e as variáveis ambientais, para a amostra em salas naturalmente ventiladas, resultou em maior influência da temperatura operativa sobre a percepção térmica dos estudantes, e maior influência da velocidade do ar sobre a avaliação do movimento do ar. A umidade relativa do ar teve impacto negativo sobre os votos de percepção térmica quando a temperatura operativa foi superior a 30 °C, ao passo que a velocidade do ar teve papel fundamental na redução do desconforto térmico por calor, conforme esperado. A condição de 80% de aceitabilidade térmica foi atingida a uma combinação de 31 °C de temperatura operativa e de no mínimo 0,20 m/s de velocidade do ar. A condição de 80% de conforto térmico, por sua vez, foi verificada a 30 °C com, no mínimo, 1 m/s de velocidade do ar. Os resultados indicaram grande aceitação das condições internas de calor e a importante influência das variáveis ambientais estudadas sobre a percepção térmica dos estudantes nos espaços naturalmente ventilados em questão.

Palavras-chave: Aceitabilidade térmica, conforto térmico, clima quente e úmido, ventilação natural, salas de aula.

ABSTRACT

This research aims to investigate human thermal acceptability and comfort conditions in naturally ventilated classrooms controlled by their occupants, considering the hot-humid equatorial tropical climate of São Luís (Maranhão, Brazil) city. In this context, users of naturally ventilated environments are susceptible to heat discomfort, due to high temperature and humidity of the air, therefore demanding greater air movement in these spaces. In order to evaluate the influence of internal environmental variables (operative temperature, relative air humidity and air velocity) on occupant's thermal perception, field studies were conducted in the classrooms of Universidade Estadual do Maranhão university, Faculty of Architecture and Urbanism (CAU/UEMA), divided into two campaigns: March and April 2017 (hot and rainy season) and September and October 2017 (hot and dry season). The field studies consisted in measuring internal environmental variables in loco and applying questionnaires for thermal environment and air movement evaluation during the classes. In addition to the naturally ventilated classrooms, air-conditioned rooms were also incorporated into the research, since they offered different temperature and humidity conditions (comparison sample). A total of 2680 thermal perception votes were obtained: 1650 in naturally ventilated environments and 1030 in air conditioned environments. The cross-tabulations between thermal perception votes and environmental variables, for the naturally ventilated sample, resulted in a greater influence of operative temperature on student's thermal perception, and greater influence of air velocity on air movement evaluation. Relative air humidity had significant negative impact on thermal perception votes when operative temperature was above 30 °C, while the air velocity played a key role in reducing thermal discomfort by heat, as expected. The 80% thermal acceptability condition was reached at a combination of 31 °C operative temperature and air velocity of at least 0.20 m/s. The condition of 80% thermal comfort was verified at 30 °C with air velocity of at least 1 m/s. The results indicated great acceptance of internal conditions and the influence of environmental variables over student's thermal perception in these naturally ventilated spaces.

Keywords: Thermal acceptability. Thermal comfort. Hot-humid climate. Natural ventilation. Classrooms.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Referência de questões relacionadas ao ambiente térmico ..	39
Figura 2 – Referência de questões de sensação e conforto térmicos.....	40
Figura 3 – Referência de questão de aceitabilidade e sensação quanto ao movimento do ar	41
Figura 4 – Referência de investigação sobre preferências e hábitos dos usuários quanto à utilização de equipamentos de ar condicionado	41
Figura 5 – Referência de investigação sobre ações realizadas ao longo do estudo de campo	42
Figura 6 – Voto de aceitabilidade térmica em função do voto de sensação térmica.....	45
Figura 7 – Modelo adaptativo de conforto térmico segundo a ASHRAE <i>Standard</i> 55 (2013).....	49
Figura 8 – Alteração no limite superior de aceitabilidade térmica por meio da velocidade do ar segundo a ASHRAE <i>Standard</i> 55 (2013).....	51
Figura 9 – Modelos adaptativos propostos por Vellei et al. (2017) em função de categorias de umidade relativa do ar interno	52
Figura 10 – Esquema síntese com os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa	59
Figura 11 – Localização do município e da ilha de São Luís no Brasil	60
Figura 12 – Carta psicrométrica para a cidade de São Luís	61
Figura 13 – Dados de normais climatológicas para São Luís (MA) nos anos de 1981 a 2010.....	62
Figura 14 – Centro da cidade de São Luís com a edificação destacada em vermelho (à direita)	63
Figura 15 – Edificação do CAU vista de cima	63
Figura 16 – Conjunto de sobrados (1 a 4) que compõem a edificação, visto da Rua da Estrela a partir de dois ângulos opostos.....	64
Figura 17 – Rua da Estrela (A) e Rua Direita (B)	65
Figura 18 – Exemplo de sala de aula naturalmente ventilada	65
Figura 19 – Exemplo de ambiente com ar condicionado instalado e ativo	66
Figura 20 – Estação microclimática SENSU.....	67
Figura 21 – Termo anemômetro digital AIRFLOW.....	69
Figura 22 – Informações sobre a estação meteorológica em São Luís..	70
Figura 23 – Exemplo de medição pontual da velocidade do ar.....	77
Figura 24 – Exemplo de procedimento experimental com incensos	78
Figura 25 – Protocolo de execução de estudo de campo.....	80
Figura 26 – Representação gráfica dos resultados no sub-item 4.2.1....	89

Figura 27 – Caracterização da naturalidade da amostra total pesquisada	92
Figura 28 – Votos de sensação térmica (A) e preferência térmica (B) em ambiente NV (esq.) e AC (dir.)(continua...)	95
Figura 29 – Votos de aceitabilidade térmica (C) e aceitabilidade do movimento do ar (D) em ambiente NV (esq.) e AC (dir.)	97
Figura 30 – Votos de preferência por movimento do ar (E) e de conforto térmico (F) em ambiente NV (esq.) e AC (dir.).....	98
Figura 31 – VST <i>versus</i> UR por categoria de T_{op}	105
Figura 32 – VAT <i>versus</i> UR por categoria de T_{op}	106
Figura 33 – VCT <i>versus</i> UR por categoria de T_{op}	106
Figura 34 – VST <i>versus</i> V_{ar}	107
Figura 35 – VAT <i>versus</i> V_{ar}	108
Figura 36 – VCT <i>versus</i> V_{ar}	108
Figura 37 – VST <i>versus</i> V_{ar} por categoria de T_{op} em torno de 28 °C..	109
Figura 38 – VST <i>versus</i> V_{ar} por categoria de T_{op} em torno de 29 °C..	110
Figura 39 – VST <i>versus</i> V_{ar} por categoria de T_{op} em torno de 30 °C..	110
Figura 40 – VST <i>versus</i> V_{ar} por categoria de T_{op} em torno de 31 °C..	111
Figura 41 – Preferência térmica (VPT) <i>versus</i> T_{op}	112
Figura 42 – Aceitabilidade mov. ar (VAM) <i>versus</i> V_{ar}	113
Figura 43 – Preferência por mov. ar (VPM) <i>versus</i> V_{ar}	114
Figura 44 – Preferência por mov. ar (VPM) <i>versus</i> T_{op}	114
Figura 45 – VAT <i>versus</i> T_{op} em ambiente naturalmente ventilado.....	116
Figura 46 – VAT <i>versus</i> V_{ar} por categoria de T_{op}	117
Figura 47 – VAT <i>versus</i> UR e V_{ar} para T_{op} em torno de 31 °C	119
Figura 48 – VCT <i>versus</i> V_{ar} por categoria de T_{op}	120
Figura 49 – VCT <i>versus</i> UR e V_{ar} para T_{op} em torno de 30 °C.....	121
Figura 50 – Distribuição da amostra por exposição prévia em ambiente NV.....	122
Figura 51 – Distribuição da amostra por exposição rotineira em ambiente NV	123
Figura 52 – Preferências em função da exposição prévia em ambiente NV.....	125
Figura 53 – Preferências em função da exposição prolongada em ambiente NV	125
Figura 54 – Sensação térmica em função da exposição prolongada em ambiente NV.....	126
Figura 55 – Conforto térmico em função da exposição prolongada em ambiente NV.....	127
Figura 56 – VPT <i>versus</i> VST em ambiente NV.....	128

Figura 57 – VAT <i>versus</i> VST em ambiente NV	129
Figura 58 – VCT <i>versus</i> VST em ambiente NV.....	130
Figura 59 – Regressão linear entre temperatura operativa média e sensação térmica média.....	131
Figura 60 – Diagrama adaptativo para médias de estudos de campo..	134
Figura 61 – Ampliação do diagrama adaptativo para médias de estudos de campo	134
Figura 62 – Diagrama adaptativo para V_{ar} menor ou igual a 0,30 m/s	137
Figura 63 – Diagrama adaptativo para V_{ar} menor ou igual a 0,30 m/s, com destaque para as categorias de T_{op}	138
Figura 64 – Diagrama adaptativo para V_{ar} menor ou igual a 0,30 m/s e T_{op} em torno de 29 °C	139
Figura 65 – Diagrama adaptativo para V_{ar} menor ou igual a 0,30 m/s e T_{op} em torno de 30 °C	140
Figura 66 – Diagrama adaptativo para V_{ar} entre 0,31 a 0,60 m/s	141
Figura 67 – Diagrama adaptativo para V_{ar} entre 0,61 a 0,90 m/s	141
Figura 68 – Diagrama adaptativo para V_{ar} acima de 0,91 m/s	142
Figura 69 – Ações realizadas pelos estudantes em ambientes NV	144
Figura 70 – Regressão linear entre temperatura do ar média e sensação térmica média.....	146
Figura 71 – Regressão linear entre PMV e sensação térmica média...	147
Figura 72 – Relação entre T_{ar} e T_{rm} em ambiente AC	148
Figura 73 – VST <i>versus</i> T_{ar} em Ambiente AC	150
Figura 74 – V_{ar} <i>versus</i> T_{ar} em Ambiente AC.....	151
Figura 75 – VAT <i>versus</i> T_{ar} em Ambiente AC	151
Figura 76 – VCT <i>versus</i> T_{ar} em Ambiente AC.....	152
Figura 77 – VPT <i>versus</i> VST em ambiente AC	153
Figura 78 – VAT <i>versus</i> VST em ambiente AC.....	153
Figura 79 – VCT <i>versus</i> VST em ambiente AC.....	154
Figura 80 – Distribuição da amostra por exposição prévia em ambiente AC	155
Figura 81 – Distribuição da amostra por exposição prolongada em ambiente AC.....	155
Figura 82 – Aceitabilidade, conforto e preferência térmica em função da exposição prévia para estudos de campo em AC	157
Figura 83 – Ações realizadas pelos estudantes em ambientes AC	157
Figura 84 – Componentes do túnel de vento: túnel (esq.) e controlador de intensidade do vento (dir.).....	173
Figura 85 – Posicionamento dos equipamentos no túnel de vento.....	174
Figura 86 – Sensor Testo (esq.) e a comparação de T_{ar} entre Testo e AIRFLOW.....	174

Figura 87 – Sensores posicionados no túnel de vento: Testo (T), AIRFLOW (A) e SENSU (S1, S2 e S3)	175
Figura 88 – Sensores posicionados no túnel: Testo (T) e AIRFLOW (A)	176
Figura 89 – Gráficos contendo os testes com os valores de variáveis (A – D)	177
Figura 90 – Gráficos contendo os testes com os valores de variáveis (E – H)	179
Figura 91 – Teste das estações microclimáticas SENSU	180
Figura 92 – Planta baixa esquemática do pavimento térreo	182
Figura 93 – Planta baixa esquemática do primeiro pavimento	183
Figura 94 – Planta baixa esquemática do segundo pavimento	184
Figura 95 – Corte esquemático mostrando as salas de aula do 1º pav. e do 2º pav.	185
Figura 96 – Temperaturas máximas horárias na semana de 03 a 09/10/2017	199
Figura 97 – Temperaturas mínimas horárias na semana de 03 a 09/10/2017	199

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo dos estudos que abordaram a umidade relativa do ar (continua...)	28
Tabela 2 – Resumo dos estudos que abordaram o movimento do ar (continua...)	34
Tabela 3 – Explicação das questões pertencentes à Parte 1 (continua...)	71
Tabela 4 – Explicação das questões pertencentes à Parte 2.....	72
Tabela 5 – Explicação das questões pertencentes à Parte 3 (continua...)	72
Tabela 6 – Detalhamento das questões pertencentes à Parte 4.....	74
Tabela 7 – Detalhamento das questões pertencentes à Parte 5.....	75
Tabela 8 – Informações contidas na planilha utilizada neste estudo	81
Tabela 9 – Determinação do coeficiente A de acordo com a velocidade do ar.....	84
Tabela 10 – Descrição dos dados de entrada e saída no <i>Rstudio</i>	85
Tabela 11 – Determinação de T_{mpe} (°C) pelo método linear (24h).....	87
Tabela 12 – Resumo dos testes de hipótese aplicados (continua...)	87
Tabela 13 – Resumo do método para ambientes naturalmente ventilados	89
Tabela 14 – Acréscimo no limite superior de T_{op} conforme o aumento de V_{ar} interna	90
Tabela 15 – Quantitativo de participações na pesquisa de campo	91
Tabela 16 – Estatística descritiva da amostra total pesquisada	91
Tabela 17 – Quantitativo de votos válidos para a pesquisa de campo ..	93
Tabela 18 – Estatística descritiva de variáveis ambientais (internas) em ambiente naturalmente ventilado.....	94
Tabela 19 – Estatística descritiva de variáveis ambientais em ambiente com ar condicionado ativo	94
Tabela 20 – Estatística descritiva de variáveis ambientais externas	95
Tabela 21 – Correlações em ambientes naturalmente ventilados, considerando os votos individuais.....	100
Tabela 22 – Correlações em ambientes naturalmente ventilados, considerando as médias de votos por estudo de campo.....	101
Tabela 23 – Modelos de regressão linear para determinação da sensação térmica média em ambientes naturalmente ventilados	102
Tabela 24 – Categorização de temperatura operativa.....	104
Tabela 25 – Categorização de umidade relativa	104
Tabela 26 – Categorização de velocidade do ar	104

Tabela 27 – Testes estatísticos relacionando exposição e percepção em ambiente NV	124
Tabela 28 – Resumo dos dados de V_{ar} por voto de aceitabilidade	136
Tabela 29 – Correlações em ambientes com ar condicionado ativo, considerando as médias de votos por estudo de campo	146
Tabela 30 – Categorização de T_{ar} em ambiente AC.....	149
Tabela 31 – Testes estatísticos relacionando exposição e percepção em ambiente AC	156
Tabela 32 – Exemplos de Delta Variáveis calculados para efetuar a calibração das estações.....	174
Tabela 33 – Comparação entre os valores de velocidade do ar registrados pelos sensores Testo e AIRFLOW	176
Tabela 34 – Média e desvio padrão amostral dos valores de temperatura máxima e mínima na semana de 03 a 09/10/2017	200

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC – Ar-condicionado
AMV – *Actual Mean Vote* (voto médio real)
CAU – Curso de Arquitetura e Urbanismo
C/AC – com exposição prévia ao ar condicionado
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
LMPT – Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termo físicas
MA – Maranhão
N – sem exposição rotineira ao ar condicionado
NV – Naturalmente ventilado
PMV – *Predicted Mean Vote* (voto médio predito)
S – com exposição rotineira ao ar condicionado
S/AC – sem exposição prévia ao ar condicionado
SET – *Standard Effective Temperature* (temperatura efetiva padrão)
 T_{ar} – Temperatura do ar (°C)
 T_{globo} – Temperatura de globo (°C)
 T_{mpe} – Temperatura média predominante externa (°C)
 T_{op} – Temperatura operativa (°C)
 T_{rm} – Temperatura radiante média (°C)
UEMA – Universidade Estadual do Maranhão
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
UR – Umidade relativa do ar (%)
VAM – Voto de aceitabilidade do movimento de ar
VAT – Voto de aceitabilidade térmica
VCT – Voto de conforto térmico
 V_{ar} – Velocidade do ar (m/s)
VN – Ventilação natural
VN + VENT – Ventilação natural + ventiladores
VPM – Voto de preferência por movimento de ar
VPT – Voto de preferência térmica
VST – Voto de sensação térmica
ZCIT – Zona de Convergência Inter Tropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Objetivos	22
1.1.1	Objetivo geral.....	22
1.1.2	Objetivos específicos	23
1.2	Estrutura da dissertação	23
2	REVISÃO DE LITERATURA	25
2.1	Variáveis ambientais internas em espaços naturalmente ventilados	26
2.1.1	Investigações acerca da umidade do ar em condições internas quente-úmidas	27
2.1.2	Investigações acerca do movimento do ar em condições internas quente-úmidas.....	32
2.2	Percepção térmica humana em ambientes naturalmente ventilados	38
2.2.1	Questionário para avaliação do ambiente térmico	38
2.2.2	Condições de neutralidade, aceitabilidade e conforto térmicos em ambientes naturalmente ventilados	43
2.3	Abordagem adaptativa de conforto térmico	46
2.3.1	Oportunidades de adaptação e controle do usuário	52
2.4	Ambientes condicionados artificialmente	54
2.5	Considerações finais sobre a revisão de literatura	57
3	MATERIAIS E MÉTODO	59
3.1	Introdução	59
3.2	Contexto climático de São Luís (MA)	60
3.3	Caracterização da edificação e dos ambientes estudados	63
3.4	Estudos de campo	67
3.4.1	Variáveis internas e instrumentação.....	67
3.4.1.1	<i>Confortímetro SENSU</i>	67
3.4.1.2	<i>Termo anemômetro AIRFLOW</i>	68
3.4.1.3	<i>Variáveis referentes ao ar externo</i>	70
3.4.2	Questionário	71
3.4.3	Protocolo de medição e aplicação de questionário.....	75
3.4.3.1	<i>Protocolo de medição</i>	75
3.4.3.2	<i>Logística de organização dos estudos de campo</i>	78
3.5	Tratamento e análise de dados	81
3.5.1	Construção da planilha de dados.....	81
3.5.1.1	<i>Cálculo da temperatura radiante média (T_{rm})</i>	82
3.5.1.2	<i>Cálculo da temperatura operativa média (T_{op})</i>	84
3.5.1.3	<i>Obtenção dos índices de conforto térmico</i>	84

3.5.1.4	<i>Cálculo da temperatura média predominante externa (T_{mpe})</i>	86
3.5.2	Análise de dados	87
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	91
4.1	Caracterização geral.....	91
4.1.1	Caracterização dos estudantes.....	91
4.1.2	Quantitativo dos votos proferidos pelos estudantes.....	93
4.1.3	Caracterização de variáveis ambientais	93
4.1.4	Caracterização dos votos proferidos pelos estudantes	95
4.2	Percepção térmica em ambientes naturalmente ventilados	100
4.2.1	Variáveis ambientais e percepção térmica	100
4.2.2	Influência da exposição ao ar condicionado	122
4.2.3	Temperatura operativa neutra da amostra pesquisada	127
4.3	Abordagem adaptativa de conforto térmico em ambientes naturalmente ventilados.....	133
4.3.1	Ações realizadas pelos estudantes em ambientes naturalmente ventilados.....	143
4.4	Ambientes com ar condicionado ativo	145
4.4.1	Influência da exposição ao ar condicionado	154
4.4.2	Ações realizadas pelos estudantes em ambientes condicionados artificialmente	157
5	CONCLUSÕES.....	159
5.1	Aceitabilidade térmica e conforto térmico.....	159
5.2	Exposição aos ambientes condicionados artificialmente	160
5.3	Indícios de adaptação ao ambiente térmico.....	161
5.4	Limitações do trabalho.....	162
5.5	Sugestões para trabalhos futuros	163
	REFERÊNCIAS	165
	APÊNDICE A – CALIBRAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO	173
	APÊNDICE B – CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO E DOS AMBIENTES ANALISADOS ..	181
	APÊNDICE C – MODELO DE QUESTIONÁRIO DEFINITIVO	197
	APÊNDICE D – ANÁLISE DE TEMPERATURAS EXTERNAS HORÁRIAS NA ESTAÇÃO SECA DE SÃO LUÍS	199

1 INTRODUÇÃO

O conforto térmico humano no ambiente construído é constantemente associado ao desempenho térmico e energético de edificações (BRAGER et al., 2004; HUANG et al., 2013; RUPP et al., 2015; DE DEAR et al., 2016; DJAMILA, 2017; LU et al., 2018). A crescente demanda por resfriamento e/ou aquecimento artificial dos espaços internos, de modo a proporcionar ambientes térmicos desejados pelos ocupantes, vem chamando a atenção e provocando questionamentos acerca das condições térmicas que satisfazem as necessidades de aceitação e de conforto, dado um determinado contexto. A essa preocupação, também estão associadas questões como a qualidade do ar interno e a produtividade no ambiente de trabalho (BRAGER et al., 2004; HALAWA; VAN HOOFF, 2012; HUANG et al., 2013; RUPP et al., 2015; ZOMORODIAN et al., 2016; SCHIAVON et al., 2016; ZHAI et al., 2017).

Nesse sentido, a realização de estudos sobre conforto térmico em espaços internos tem por objetivo identificar as condições térmicas consideradas aceitáveis, confortáveis e/ou satisfatórias por seus ocupantes, tendo em vista as particularidades de um determinado contexto climático. Tradicionalmente, conforto térmico é definido como o estado da mente que apresenta satisfação em relação ao ambiente térmico (FANGER, 1970; ISO 7730, 2005; ASHRAE *Standard* 55, 2013), ao passo que a aceitabilidade térmica pode estar associada tanto à satisfação quanto à algo mais próximo do sentido de tolerância (BRAGER et al., 1993; DE DEAR et al., 1997; INDRAGANTI et al., 2014), em relação ao ambiente térmico. O termo aceitabilidade, portanto, pode possuir ampla conotação, diferentemente do conceito de conforto térmico.

Tendo em vista as particularidades de um determinado contexto climático, o delineamento das condições de aceitabilidade e de conforto é de grande valia, tendo em vista as necessidades humanas no espaço edificado e os respectivos esforços em projetos arquitetônicos com foco na qualidade ambiental. Considerando que o ambiente térmico é caracterizado por parâmetros microclimáticos, enfatiza-se a importância de se compreender a percepção térmica dos ocupantes em função dessas variáveis ambientais internas (ENESCU, 2017; VELLEI et al., 2017; JIN et al., 2017).

No contexto do clima tropical equatorial quente e úmido, as variáveis temperatura do ar e umidade relativa do ar são significativas. No entanto, o número de investigações ocorridas na faixa intertropical

do globo terrestre é menor, se comparado àqueles realizados em regiões temperadas (quatro estações bem definidas). O crescimento no número de trabalhos com a temática de conforto térmico, de 1998 a 2016, também é menor na região intertropical (DE DEAR et al., 2016), o que envolve as localidades mais próximas à linha do equador (latitude 0°).

Na última década, é relevante o aumento na quantidade de estudos sobre o conforto térmico humano em países asiáticos, tais como Índia e China, os quais representam uma fonte emergente de investigações nesse âmbito (DE DEAR et al., 2016). Entre os trabalhos, existem aqueles desenvolvidos em ambientes controlados pelos pesquisadores, nos quais foram investigadas a aceitabilidade e o conforto térmico em função de uma série de combinações de variáveis ambientais internas – especialmente temperatura e umidade relativa – de modo a abordar as respostas dos participantes em condições de calor e, eventualmente, os efeitos do movimento do ar sobre a percepção térmica (TANABE; KIMURA, 1994; HUANG et al., 2013; ZHANG et al., 2014; ZHANG et al., 2016; SCHIAVON et al., 2016; JIN et al., 2017). Os estudos realizados em ambientes reais – não controlados pelos pesquisadores –, não residenciais e que são naturalmente ventilados têm como destaque a investigação das condições de aceitabilidade e conforto térmico em função da temperatura e do movimento do ar no ambiente interno (HUANG et al., 2013; INDRAGANTI et al., 2014; MISHRA e RAMGOPAL, 2014; MISHRA e RAMGOPAL, 2015; DHAKA et al., 2015; KUMAR et al., 2016; HAMZAH et al., 2016; DAMIATI et al., 2016; ZAKI et al., 2017).

No contexto brasileiro, citam-se os estudos realizados em salas de aula (DE VECCHI, 2011) e em escritórios (DE VECCHI, 2015; PIRES e WESTPHAL, 2015; RUPP, 2018) de Florianópolis, cujo destaque é a aplicabilidade dos métodos de avaliação de conforto presentes na *ASHRAE Standard 55* (2013) em ambientes com diferentes modos de climatização – naturalmente ventilados ou modo misto. O estudo de Cândido (2010), ocorrido em salas de aula universitárias naturalmente ventiladas em Maceió, discute as condições de aceitabilidade (térmica e quanto ao movimento do ar), expressas por meio das variáveis temperatura e velocidade do ar.

Sabe-se que não apenas as variáveis ambientais atuam sobre a percepção térmica humana no meio edificado. Estudos de campo conduzidos em espaços de uso habitual – escritórios e salas de aula, cujos ambientes térmicos não foram controlados por um pesquisador – ofereceram indícios de que as condições de aceitabilidade e conforto

preditas pelo modelo estático de conforto térmico (FANGER, 1970) não são necessariamente aplicáveis a todas as situações (DE DEAR et al., 1997; DE DEAR e BRAGER, 1998). É importante destacar que o empenho dedicado ao entendimento da relação entre variáveis ambientais/pessoais e percepção térmica em câmaras climáticas foi primordial ao avanço dos estudos sobre conforto térmico. A interação entre os usuários e os ambientes aos quais estão familiarizados, portanto, acrescenta fatores subjetivos na complexa equação do conforto térmico humano.

Em ambientes controlados pelos usuários, estudos sobre conforto térmico abordaram e discutiram as dimensões da adaptação e seu impacto sobre a percepção térmica (SCHWEIKER et al., 2012; INDRAGANTI et al., 2014; MISHRA e RAMGOPAL, 2014a; PIRES e WESTPHAL, 2015; ZHANG et al., 2016; DAMIATI et al., 2016; ZAKI et al., 2017). Os resultados sugeriram que as diferenças entre as condições de conforto preditas e verificadas em ambientes reais são produto das diversas formas de adaptação realizada pelos usuários, apesar de não haver um consenso sobre a construção do processo de adaptação – o qual pode variar de acordo com o contexto vivenciado. Sendo assim, a habituação a uma determinada condição climática externa, o grau de interferência sobre o espaço físico e as expectativas criadas em torno de um ambiente térmico podem variar em função de fatores relacionados ao clima, às estruturas prediais e até mesmo fatores sócio-econômicos. É possível associar conforto térmico tanto a fatores físicos – relativos às variáveis ambientais que caracterizam um determinado espaço – quanto a questões subjetivas.

Um exemplo de impacto sobre a percepção térmica, o qual vem sendo investigado, é a exposição prolongada em ambientes internos com ar condicionado ativo (ZHANG et al., 2016). Em climas quentes, essa vivência caracteriza uma exposição rotineira aos ambientes climatizados artificialmente, nos quais há a alteração brusca das condições térmicas (dimensão física) e, provavelmente, o desenvolvimento de novas expectativas quanto às condições desejadas pelos ocupantes (dimensão subjetiva).

Em estudos realizados na região quente e úmida, foram encontradas diferenças significativas entre as respostas de percepção térmica (CÂNDIDO et al., 2010; ZHANG et al., 2016) e entre a temperatura neutra da amostra pesquisada (KARYONO et al., 2015; ZHANG et al., 2016) para grupos de pessoas com e sem exposição rotineira aos ambientes resfriados artificialmente. Portanto, pondera-se que quanto maior o crescimento no uso do ar condicionado, mais

expressiva será a investigação acerca de sua influência sobre a percepção térmica humana.

Em síntese, observou-se que a percepção térmica humana vem sendo abordada nos estudos ocorridos em ambientes naturalmente ventilados, mas pouco se discutiu a respeito da influência da umidade relativa do ar sobre a percepção térmica nesses ambientes, no contexto do clima quente e úmido. O movimento do ar, por outro lado, já é bastante discutido e relacionado às condições de temperatura interna. A maioria dos trabalhos que envolvem a coleta de respostas dos usuários, entretanto, ocorreu em ambientes controlados por pesquisadores e não em espaços de uso habitual (“ambientes reais”). Deve-se considerar, portanto, as possíveis distorções na percepção térmica de pessoas sujeitas às mesmas condições ambientais em espaços com diferentes graus de controle do ocupante.

Tendo em vista o exposto, este estudo se propõe a investigar a percepção térmica de estudantes universitários em salas de aula naturalmente ventiladas e climatizadas artificialmente, no contexto do clima tropical equatorial quente e úmido da cidade de São Luís, Maranhão, Brasil. A percepção térmica será relacionada (1) às variáveis ambientais internas (temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do ar) registradas nas salas, no intuito de discutir as condições de aceitabilidade e de conforto térmico; (2) e ao grau de exposição aos ambientes com ar condicionado, de acordo com a vivência dos estudantes. Serão consideradas as premissas do modelo adaptativo de conforto térmico, presente na *ASHRAE Standard 55* (2013), para a avaliação das condições térmicas aceitáveis nas salas de aula naturalmente ventiladas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O principal objetivo da pesquisa é avaliar as condições de aceitabilidade térmica e de conforto térmico dos estudantes de ensino superior em salas de aula naturalmente ventiladas, no contexto do clima quente e úmido de São Luís (MA), por meio da temperatura operativa, da umidade relativa e da velocidade do ar interno.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar a influência da umidade relativa e da velocidade do ar sobre a percepção térmica dos estudantes nas salas de aula naturalmente ventiladas;
- Identificar o impacto da exposição aos ambientes internos condicionados artificialmente – exposição prévia e exposição prolongada a ambientes com ar condicionado ativo – sobre a percepção térmica dos estudantes;
- Determinar a temperatura neutra da amostra pesquisada nas salas de aula naturalmente ventiladas, discutindo as implicações da mudança de estação sobre a temperatura neutra;
- Verificar a aplicabilidade do modelo adaptativo de conforto térmico, tal como descrito na normativa ASHRAE *Standard 55* (2013), para a avaliação das condições térmicas aceitáveis em ambientes naturalmente ventilados controlados pelos usuários no contexto de São Luís;
- Avaliar, por meio da temperatura do ar interno, as condições de aceitabilidade e conforto térmico dos estudantes em salas de aula com ar condicionado ativo.

1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O desenvolvimento deste trabalho está estruturado em cinco capítulos:

1. **Introdução:** capítulo que introduz à contextualização dos temas abordados ao longo do estudo; contém o problema de pesquisa, as justificativas e os objetivos do trabalho.
2. **Revisão de literatura:** investiga-se a influência das variáveis ambientais internas (temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do ar), da exposição prolongada aos ambientes condicionados artificialmente e da adaptação sobre a percepção térmica dos usuários. Pesquisam-se as condições de aceitabilidade e conforto térmico no âmbito do clima quente e úmido, foco desta pesquisa.
3. **Materiais e método:** abordam-se os materiais, meios e procedimentos metodológicos adotados na realização de cada etapa da pesquisa: planejamento, pesquisa de campo e tratamento de dados. À fase de planejamento, correspondem a descrição das

características do clima local, da edificação estudada e da instrumentação utilizada, além da explanação acerca do questionário elaborado. O protocolo de medição e aplicação de questionário resume os procedimentos aplicados ao longo da etapa de pesquisa de campo. A etapa de tratamento de dados corresponde à organização das informações obtidas em campo (questionários e instrumentação), ao cálculo de variáveis ambientais derivadas e dos índices de conforto térmico, e à aplicação do método de avaliação de conforto térmico em ambientes naturalmente ventilados.

4. **Resultados e discussão:** são descritas as análises e as respectivas discussões acerca dos objetivos propostos nesta introdução. Para ambientes naturalmente ventilados, é investigada a influência da umidade relativa, da velocidade do ar e da exposição aos ambientes internos condicionados artificialmente sobre a percepção térmica dos estudantes; a temperatura neutra por estação; e a aplicabilidade do método de avaliação com base no modelo adaptativo. Para ambientes naturalmente ventilados e com ar condicionado, são delineadas as condições de aceitabilidade térmica e de conforto térmico.
5. **Conclusões:** contém a síntese dos resultados (principais contribuições da pesquisa), as limitações do estudo e as sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura apresentada nesta pesquisa tem como principal objetivo a abordagem de estudos de campo sobre o conforto térmico humano, realizados em ambientes internos (preferencialmente os ventilados naturalmente) de localidades cujo clima possua ao menos uma estação de característica quente e úmida, e nos quais as atividades exercidas pelos ocupantes sejam sedentárias. Tais estudos de campo consistem em monitorar determinadas variáveis ambientais internas e investigar dos ocupantes as principais respostas ao ambiente térmico no qual exercem suas atividades rotineiras.

A preferência por abordar os estudos de campo ocorridos em ambientes ventilados naturalmente está associada à proximidade contextual (mínima interferência do pesquisador no ambiente construído e na rotina dos usuários participantes) em relação ao estudo de campo proposto nesta pesquisa. Nesse modo de operação, o ambiente térmico interno é produto das características climáticas locais que, no caso do clima quente e úmido, tendem a proporcionar elevadas temperatura e umidade relativa do ar interno.

Estudos realizados em câmaras climáticas, por sua vez, possibilitam maior amplitude nas investigações sobre as variáveis ambientais internas. No entanto, o ambiente térmico proporcionado pode estar distante das condições habitualmente experimentadas pelos participantes (acostumados a determinada condição climática), e demanda-se o deslocamento dos voluntários para o local de investigação, fatores que podem distorcer de alguma maneira a avaliação do ambiente térmico por parte do usuário.

A restrição da localidade geográfica de pesquisa também está associada à tentativa de proximidade em relação ao contexto climático da cidade que é objeto de estudo neste trabalho. Priorizaram-se, portanto, os estudos de campo realizados em climas quentes com estações seca e chuvosa (localizados na faixa tropical do globo terrestre), e evitaram-se os estudos provenientes de climas temperados.

Atividades sedentárias podem ser encontradas, por exemplo, em ambientes de escritórios, salas de aula, laboratórios de pesquisa e em residências. No entanto, evitou-se abordar os estudos de campo realizados em residências, devido às prováveis flexibilizações de vestimentas (com impacto sobre o isolamento térmico proporcionado pela vestimenta) e de exigências em relação a aceitabilidade térmica, as quais costumam ser menos rígidas em ambientes residenciais.

Reunidos os estudos de campo, discutiu-se sobre os seguintes tópicos: variáveis ambientais internas em espaços naturalmente ventilados, com ênfase no impacto da umidade relativa do ar e do movimento do ar sobre a percepção térmica dos usuários nesse modo de climatização (sub-capítulo 2.1); percepção térmica humana em ambientes ventilados naturalmente, destacando-se as condições de aceitabilidade e conforto térmicos em salas de aula universitárias (sub-capítulo 2.2); abordagem adaptativa de conforto térmico como método de avaliação das condições térmicas em ambientes internos naturalmente ventilados, e as oportunidades de adaptação e de controle do usuário sobre o ambiente térmico (sub-capítulo 2.3); exposição prolongada a ambientes internos climatizados artificialmente e seu impacto sobre a percepção térmica humana (sub-capítulo 2.4).

2.1 VARIÁVEIS AMBIENTAIS INTERNAS EM ESPAÇOS NATURALMENTE VENTILADOS

Ambientes internos que são naturalmente ventilados tendem a refletir as condições ambientais externas, no que se refere às principais variáveis climáticas. São os casos das temperaturas internas (temperatura do ar, radiante média e operativa), da umidade do ar (em pressão de vapor d'água – absoluta – e umidade relativa à saturação de água no ar) e do movimento do ar (velocidade do ar).

Os aspectos de cunho arquitetônico, tais como a orientação, o posicionamento e o dimensionamento de fachadas e de esquadrias, exercem importante influência sobre as condições micro climáticas encontradas nos espaços internos. No entanto, o clima externo é o principal determinante dessas condições, e em que pese o rigor do regime meteorológico na maioria das localidades, a qualidade ambiental do espaço edificado é uma constante preocupação.

A satisfação, o desempenho e o bem estar dos ocupantes de uma edificação, bem como o concernimento em relação à crescente demanda por energia para fins de climatização, expõem as necessidades contemporâneas por estudos sobre as condições térmicas encontradas em ambientes naturalmente ventilados e as respectivas respostas dos ocupantes em relação a essas condições.

Nos estudos de conforto térmico realizados em ambientes naturalmente ventilados (ou que operaram sem sistemas de condicionamento ativos), é de praxe que se descrevam as condições térmicas neutras, preferidas, aceitáveis e/ou confortáveis em termos de

temperatura operativa, uma vez que a temperatura do ar interno é a variável ambiental de maior influência sobre a percepção térmica dos usuários. No entanto, conhecendo-se as implicações da temperatura, o enfoque sobre movimento do ar em estudos experimentais é cada vez mais recorrente, ao passo que a investigação a respeito do efeito da umidade do ar (a vários níveis de umidade relativa) sobre a percepção térmica é ainda pouco explorada (JIN et al., 2017).

Pesquisas que abordam a influência dos parâmetros em conjunto (a exemplo da combinação entre temperatura e velocidade do ar, a um valor fixado de umidade relativa do ar) são cada vez mais recorrentes em condições experimentais proporcionadas por câmaras climáticas (ZHAI et al., 2013; ZHAI et al., 2017; JIN et al., 2017). Esses esforços indicam a necessidade de se explorar as condições térmicas internas não apenas sob a ótica de uma temperatura interna, mas com a ciência do efeito do movimento do ar e da umidade do ar em complemento àquela. É provável, portanto, que haja a flexibilização dos limites de temperatura entendidos como aceitáveis e/ou confortáveis, em função do possível impacto do movimento do ar e da umidade do ar sobre a percepção térmica em condições internas de calor ou extremo calor. As principais contribuições em termos de investigações sobre umidade do ar e movimento do ar estão resumidas a seguir.

2.1.1 Investigações acerca da umidade do ar em condições internas quente-úmidas

Uma importante característica do clima quente e úmido (considerando as latitudes intertropicais) são as elevadas umidades relativas do ar encontradas em pelo menos uma das estações do ano, via de regra a mais quente. É natural que se pesquise mais a fundo o impacto dessa variável no contexto climático citado, uma vez que a umidade relativa do ar interno pode alcançar valores superiores a 90% em determinadas regiões e épocas do ano. Da mesma maneira, é provável que em uma estação mais seca os valores sejam menores, a depender de particularidades locais (influência de massas de ar secas, interferência do relevo etc.). Portanto, esse tipo de clima tende a proporcionar grande variação nos valores de umidade relativa e valores próximos à saturação completa de água no ar (100%), e isso possivelmente tem impacto sobre a percepção humana.

O desconforto associado à saturação de água no ar é percebido em condições quentes devido à redução da perda de calor por evaporação e pela respiração, por parte do corpo humano (JIN et al.,

2017). Tanabe e Kimura (1994) ressaltam que esse desconforto pode estar ligado à sensação de pele “molhada” quando os cristais de sais (cloreto de sódio) se tornam líquidos sob a superfície da pele, e não evaporam justamente por conta da elevada saturação de água no ar. Portanto, o estudo sobre os efeitos da umidade relativa do ar tem como objetivo o delineamento das condições internas aceitáveis no que se refere ao ambiente térmico naturalmente ventilado sujeito às sensações de calor.

Considerando o exposto, reuniram-se os principais estudos de conforto térmico os quais abordaram a umidade relativa do ar em condições de calor (temperaturas do ar interno acima de 27 °C). A maioria desses estudos foi realizada em câmaras climáticas (condições de temperatura e umidade relativa previamente estabelecidas), e os voluntários são, em grande parte, estudantes de ensino superior. As demais informações estão resumidas na Tabela 1.

Tabela 1 – Resumo dos estudos que abordaram a umidade relativa do ar (continua...)

	1	2	3	4	5
AUTORES	Tanabe, Shin-ichi, Kimura, Ken-ichi	Zhai, Y., Zhang, H., Zhang, Y., (...), Arens, E., Meng, Q.	Mishra, A.K., Ramgopal, M.	Zhai, Y., Arens, E., Elsworth, K., Zhang, H.	Jin, L., Zhang, Y., Zhang, Z.
ANO	1994	2013	2015	2017	2017
LOCALIDADE	Japão	EUA (Califórnia)	Índia (Kharagpur)	EUA (Califórnia)	China (Guangzhou)
TIPO DE AMBIENTE	Câmara climática	Câmara climática	Sala de aula naturalmente ventilada	Câmara climática	Câmara climática
VARIÁVEL RELACIONADA À UMIDADE	Umidade relativa do ar (UR) - condição de teste a 40%, 60% e 80%	Umidade relativa do ar (UR) - condição de teste a 60% e a 80%	Umidade absoluta do ar (Pw)	Umidade relativa do ar (UR) - condição de teste a 40% e a 60%	Umidade relativa do ar (UR) - condição de teste a 50%, 70% e 90%

IMPACTO SOBRE	Conforto térmico	Sensação térmica; conforto térmico; preferência térmica; preferência por movimento do ar	Aceitabilidade térmica	Sensação térmica; preferência por movimento do ar	Sensação térmica; aceitabilidade térmica; conforto térmico;
TEMPERATURA	A partir de 27 °C	A partir de 28 °C, com efeitos mais significativos a 30 °C	A partir de 31 °C	A partir de 30 °C	A partir de 29 °C, com efeitos mais significativos a 32 °C
VELOCIDADE DO AR	Fixada em 0,2 m/s	De ventilador, controlada pelo usuário (0,05 - 1,72 m/s)	De ventilador, controlada pelo usuário (0,60 - 1,20 m/s). Quando desligados, valor próximo de 0.	De ventilador, controlada pelos pesquisadores (0,05 - 1,20 m/s)	Fixada em 0,1 m/s

O estudo de Tanabe e Kimura (1994) ocorreu em uma câmara climática com a participação de estudantes japoneses uniformizados, exercendo atividades sedentárias (0,6 clo de isolamento de vestimenta e 1 met de taxa metabólica). Foram testadas as condições de umidade relativa (UR) a 40, 60 e 80%, combinadas a diferentes temperaturas do ar interno com valores a partir de 27 °C. Na análise de regressão entre o percentual de desconforto térmico em função da temperatura interna, percebeu-se uma tendência de aumento do desconforto térmico em função do aumento de UR, a uma mesma temperatura.

Zhai et al. (ZHAI et al., 2013; ZHAI et al., 2017) realizaram, em anos distintos, uma série de testes em condições diversas de temperatura e umidade relativa do ar, com base nos dados coletados em ambientes naturalmente ventilados de Guangzhou (China). Os voluntários foram

estudantes de ensino superior exercendo atividades ora sedentárias (1 met), ora moderadas (1,4 met), utilizando vestimenta com isolamento de 0,5 clo. O controle do movimento do ar ficou a cargo dos pesquisados (ZHAI et al., 2013) e sofreu a interferência dos pesquisadores em determinados cenários (ZHAI et al., 2017). As análises dos votos proferidos em função de diferentes níveis de umidade relativa a uma mesma temperatura do ar mostraram que o aumento no valor de UR provocou a intensificação da sensação térmica de calor, a elevação do desconforto térmico e o crescimento das preferências por maior resfriamento e por maior movimento do ar, resultados estatisticamente significativos quando a temperatura do ar a 30 °C foi experimentada.

O estudo de Jin et al. (2017) também ocorreu em uma câmara climática, em Guangzhou, com a participação de estudantes universitários uniformizados e exercendo atividades sedentárias (0,57 clo e 1,1 met). Foram testadas condições extremas de temperatura e umidade relativa, até uma combinação de 32 °C e 90%, e a velocidade do ar foi mantida fixa (0,1 m/s) ao longo do estudo. Na comparação entre as respostas dos participantes a diferentes níveis de temperatura e umidade relativa, observou-se a influência de UR sobre os votos de sensação, aceitabilidade e conforto térmicos a partir de 29 °C e 70% de umidade relativa.

É interessante destacar que os estudos citados têm em comum, além de ocorridos em câmaras climáticas, uma temperatura do ar a partir da qual o efeito da umidade relativa do ar sobre a percepção térmica humana passa a ser significativo; nos estudos, essa temperatura é semelhante (em torno de 29 e 30 °C). No entanto, pôde-se notar que nos estudos de Zhai et al. (2013; 2017) e de Tanabe e Kimura (1994), valores de UR de até 40% foram analisados, e o aumento sequencial da umidade relativa a partir desse valor provocou mudanças na percepção térmica daqueles participantes. Já no estudo de Jin et al. (2017), não foram encontrados indícios de impacto sobre a sensação térmica quando UR foi inferior a 70%, mesmo quando a temperatura superou os 29 °C.

Os possíveis argumentos que explicariam tal constatação são as condições experimentais de velocidade do ar e a aclimação dos estudantes voluntários à umidade relativa em regiões mais quentes e úmidas. No estudo de Jin et al. (2017), a velocidade do ar esteve fixa a um valor muito baixo, ao passo que nos demais estudos a condição de velocidade do ar foi variável, fazendo com que o aumento do movimento do ar pudesse influenciar a percepção térmica dos participantes em diversos níveis de umidade relativa. O estudo realizado

em Guangzhou (JIN et al., 2017) teve a participação de estudantes com vivência em ambientes internos naturalmente ventilados daquela localidade, ou seja, acostumados às condições quente-úmidas, diferentemente dos demais estudos, nos quais não se pôde garantir a aclimação dos participantes e a vivência em ambientes naturalmente ventilados.

A hipótese de que os habitantes de climas quente-úmidos estão acostumados aos elevados índices de umidade relativa e, portanto, não percebem a alteração dessa variável de forma significativa (sob determinadas condições de temperatura), já havia sido levantada em outros estudos realizados em ambientes naturalmente ventilados no sudeste asiático (INDRAGANTI et al., 2014; DAMIATI et al., 2016; LU et al., 2018). Seguindo esse pensamento, seria lógico admitir que pessoas não aclimatadas à condição de umidade relativa elevada – devido a vivência em ambientes mais secos, incluindo os condicionados artificialmente – seriam menos tolerantes a um ambiente térmico cujas temperatura e umidade relativa sejam numericamente significativas.

O estudo de Mishra e Ramgopal (2015) é um dos poucos a abordar o impacto da umidade do ar sobre a percepção térmica em ambientes naturalmente ventilados (salas de aula universitárias em Kharagpur, na Índia). Os resultados foram descritos em termos de umidade absoluta (pressão de vapor d'água) e a relação com o percentual de aceitabilidade do ambiente térmico – a referência de percentual considerada foi de 80% de aceitabilidade. Os autores encontraram percentuais inferiores a esse valor quando a temperatura interna ultrapassou os 31 °C (na região quente-úmida da Índia, é comum que os valores de temperatura interna atinjam os 34 °C em ambientes naturalmente ventilados), sendo que houve a tendência de maior insatisfação quanto maior a pressão de vapor d'água associada às elevadas temperaturas.

Em situações nas quais o valor da temperatura interna é inferior aos citados nos exemplos anteriores (ainda que em outros tipos de clima, mais amenos), o impacto da umidade relativa do ar sobre a percepção térmica é irrelevante. É o caso do estudo conduzido por Fanger (1970) em câmara climática na Dinamarca, com a participação de estudantes uniformizados (0,6 clo) exercendo atividades sedentárias. Nesse estudo, foram investigadas condições de temperatura do ar entre 21 e 28 °C e de umidade relativa a 30% e a 70%, sendo que nenhum impacto sobre a sensação térmica foi encontrado em função da mudança do valor de umidade relativa. É importante ressaltar que, na literatura pesquisada, não foi encontrada qualquer referência quanto a valores de UR pequenos

(abaixo de 30%) e a relação com a percepção térmica, mas sim associada, por exemplo, ao desconforto por olhos ressecados e por sistema respiratório afetado pelos valores críticos de umidade relativa.

O estudo recente de Lu et al. (2018), conduzido em residências localizadas na província de Hainan (ilha marítima ao sul da China), não obteve evidências de influência da umidade relativa do ar sobre a percepção térmica dos participantes. Os resultados indicaram a tendência de adaptação dos habitantes aos elevados valores de umidade relativa (a maioria esteve acima de 80%), uma vez que o conforto térmico dos ocupantes foi pouco influenciado por esse parâmetro. A temperatura do ar de maior frequência registrada nessa pesquisa esteve entre 26 e 28 °C; logo, também é possível que os efeitos de UR não sejam perceptíveis a esses valores de temperatura, considerados moderados em regiões predominantemente quentes.

Segundo Jin et al. (2017), a influência da umidade relativa não é significativa quando a temperatura do ar está situada em uma zona de neutralidade térmica. Ou seja, há a relação direta entre as condições de temperatura interna elevada e a influência da umidade relativa, na qual a primeira condiciona a ocorrência da segunda. Considera-se, portanto, que a umidade relativa do ar possui um papel secundário quando se trata da percepção térmica em ambientes internos, e a temperatura do ar interno é a variável climática de maior peso nessa relação.

Conforme o exposto, percebe-se que as variáveis ambientais temperatura e umidade relativa estão bastante associadas, provocando reações de satisfação, preferência e aceitação térmicas por parte dos usuários. Tomando-se como referência os espaços internos naturalmente ventilados em climas quente-úmidos, julga-se importante a investigação dos valores de umidade relativa existentes e do conseqüente impacto sobre a percepção térmica dos usuários desses espaços, de modo a indicar as prováveis condições térmicas aceitáveis e inaceitáveis nesse contexto.

2.1.2 Investigações acerca do movimento do ar em condições internas quente-úmidas

O movimento de ar em ambientes internos naturalmente ventilados caracterizados por temperaturas elevadas (acima de 26 °C) é abordado como grande potencial para elevar os níveis de satisfação e conforto térmico dos usuários. Em localidades nas quais os habitantes estão constantemente sujeitos a condições de calor e elevada umidade

relativa, o incremento do movimento de ar interno é uma alternativa fundamental para o ajuste do balanço de calor do corpo humano.

Fisiologicamente, o aumento do movimento de ar (aumento no valor de velocidade do ar, em metros por segundo – m/s) atua sobre as trocas de calor por convecção e por evaporação (CÂNDIDO et al., 2010b). A aceleração do movimento do ar sobre a pele – que confere a sensação de brisa refrescante em condições de calor – contribui para a perda de calor convectiva e evaporativa. Por esse motivo, pode-se afirmar que o aumento da velocidade do ar é fundamental em climas úmidos, nos quais a sensação de pele “molhada” é constante.

As primeiras preocupações com relação à influência do movimento do ar sobre o conforto térmico humano foram referentes ao impacto negativo trazido por correntes de ar indesejadas (*draft*, em inglês), intensificando a sensação de frio e o desconforto por frio em climas cujos valores de temperatura registrados fossem inferiores àqueles predominantemente quente-úmidos (ZHANG, Y. et al., 2015). Logo, foram adotadas restrições em relação aos valores de velocidade do ar recomendados em ambientes internos (ISO 7730, 2005; ASHRAE *Standard 55*, 2013).

Segundo Cândido et al. (2010) a percepção humana quanto ao movimento do ar está relacionada à condição térmica individual: o movimento do ar é negativamente recebido caso haja a sensação de frio, mas tem efeito positivo em caso de sensação de calor. Dessa forma, um mesmo valor de velocidade do ar (V_{ar}) pode provocar distintas reações por parte de um indivíduo, a depender do contexto no qual está inserido. Considerando o exposto, é impensável relacionar o elevado movimento de ar ao desconforto térmico; no entanto, pode-se pensar em outros tipos de desconforto ou insatisfações referentes ao valor elevado de velocidade do ar (ZHANG, Y. et al., 2015), tais como o deslocamento de papéis e o ruído ocasionado por equipamentos movimentadores de ar – ventiladores – não eficientes.

Atualmente, incentiva-se a investigação acerca dos efeitos do movimento do ar sobre a percepção térmica humana em climas quentes, em busca de alternativas para garantir a satisfação e o conforto térmico dos usuários sem que se recorra, necessariamente, às condições estáticas proporcionadas por um ambiente refrigerado artificialmente (HUANG et al., 2013). Sabe-se que grande parte do dispêndio anual de energia elétrica em edificações se destina à manutenção de condições térmicas tidas como ideais (no caso dos climas quentes, se destina à refrigeração), e que essa demanda vem aumentando conforme o crescimento populacional (ZHAI et al., 2013). Tal fato justifica a busca por

estratégias de resfriamento que proporcionem conforto térmico a um menor custo (melhor eficiência energética) e melhor qualidade do ar interno, sendo o incremento do movimento do ar a principal delas.

O aumento do movimento do ar em ambientes internos – sobre o usuário, para que haja a perda de calor – pode ser viabilizado por meio do aproveitamento da ventilação natural. No entanto, isso depende de uma série de fatores relativos ao âmbito predial (projeto arquitetônico que contemple a ventilação natural como premissa) e ao entorno, o que dificulta o usufruto daquele recurso. Nesse sentido, a utilização da ventilação mecânica – em associação ou não à ventilação natural – vem sendo a melhor opção para incrementar o movimento do ar a um baixo custo energético.

Considerando o exposto, reuniram-se os mais relevantes estudos de conforto térmico os quais exploraram o movimento do ar em condições de calor (temperaturas do ar interno acima de 27 °C). A maioria desses estudos foi realizada em câmaras climáticas (condições de temperatura e umidade relativa previamente estabelecidas e mantidas ao longo dos experimentos), e os voluntários são, em grande parte, estudantes de ensino superior. As informações estão resumidas na Tabela 2.

Tabela 2 – Resumo dos estudos que abordaram o movimento do ar (continua...)

	1	2	3	4	5
AUTORES	Cândido, C., De Dear, R.J., Lamberts, R., Bittencourt, L.	Zhai, Y., Zhang, H., Zhang, Y., Pasut, W., Arens, E., Meng, Q.	Huang, L., Ouyang, Q, Zhu, Y., Jiang, L.	Indraganti, M., Ooka, R., Rijal, H.B., Brager, G.S.	Zhai, Y., Arens, E., Elsworth, K., Zhang, H.
ANO	2010	2013	2013	2014	2017
LOCALIDADE	Brasil (Maceió)	EUA (Califórnia)	China (Pequim)	Índia (Chennai)	EUA (Califórnia)
TIPO DE AMBIENTE	Sala de aula naturalmente ventilada	Câmara climática	Câmara climática	Escritório naturalmente ventilado	Câmara climática

VELOCIDADE DO AR (m/s)	0 - 1 m/s	0,05 - 1,72 m/s	0 - 2 m/s	Em média até 1 m/s	0,05 - 1,20 m/s
TIPO DE CONTROLE	Coletivo, sobre ventiladores de teto	Individuado, a cargo do usuário, sobre ventilador de pé	Individuado, a cargo do pesquisador e do usuário, sobre ventilador de mesa	Coletivo, sobre ventiladores de teto	Individuado, a cargo do pesquisador e do usuário, sobre ventilador de pé
IMPACTO SOBRE	Aceitabilidade térmica; Aceitabilidade do movimento do ar; preferência por movimento do ar	Velocidade do ar selecionada pelos usuários	Sensação térmica; conforto térmico	Temperatura de conforto	Velocidade do ar preferida pelos usuários; sensação, preferência e conforto térmicos; aceitabilidade e preferência por movimento do ar
TEMPERATURA	Entre 26 e 31 °C	26 / 28 / 30 °C	28 / 30 / 32 / 34 °C	Entre 29 e 30 °C	24 / 26 / 28 / 30 °C
UMIDADE RELATIVA DO AR	Não especificada	60 / 80%	Entre 40 e 50%	Em média 60%	40 / 60%

O estudo de Cândido et al. (2010) foi realizado em salas de aula naturalmente ventiladas (equipadas com ventiladores de teto) com a participação de estudantes de ensino superior, ao longo das duas estações climáticas – chuvosa e seca – de Maceió (Alagoas, Brasil). Os estudantes desenvolveram atividades consideradas sedentárias (1 – 1,3 met) e trajaram vestimentas cujo isolamento variou entre 0,3 e 0,5 clo – o padrão de vestimenta aparenta grande flexibilidade nas universidades públicas brasileiras, o que justifica os pequenos valores de isolamento em um contexto climático de calor.

Nesse estudo, foram analisadas as condições de aceitabilidade do movimento do ar e de aceitabilidade térmica em função dos valores de

velocidade do ar e de temperatura operativa. Considerando um limite mínimo de 90% de aceitabilidade (térmica e de movimento do ar) foi necessário promover, no mínimo, uma velocidade do ar entre 0,41 e 0,80 m/s para condições entre 27 a 29 °C, e acima de 0,81 m/s quando a temperatura esteve entre 29 a 31 °C. A demanda por movimento do ar (que pode ser analisada pela aceitabilidade e preferência com relação ao movimento do ar) foi significativa ao longo de todo o estudo: os estudantes não apenas aceitaram, mas preferiram velocidades do ar iguais ou superiores a 0,80 m/s, e a preferência por maior movimento do ar cresceu conforme o aumento da temperatura operativa interna.

Outros trabalhos realizados no contexto brasileiro apresentaram resultados semelhantes. Em Florianópolis, onde o clima é subtropical úmido, a estação de verão é caracterizada por elevadas temperatura e umidade relativa do ar. Estudos de campo realizados em edificações de escritórios naturalmente ventiladas (PIRES e WESTPHAL, 2015) resultaram em 70% de preferência por maior movimento do ar em uma situação na qual a temperatura operativa esteve entre 25-29 °C e os valores de velocidade do ar estiveram, em sua maioria, abaixo de 0,20 m/s – não haviam ventiladores disponíveis nesses ambientes. Já em salas de aula equipadas com aparelhos de ar condicionado e ventiladores, nas quais a temperatura esteve entre 23-29 °C, pode-se observar que a maioria dos estudantes consideraram aceitáveis e preferiram manter os valores de V_{ar} próximos a 1 m/s (DE VECCHI, 2011). Em um contexto climático de calor, portanto, há a tendência de que as pessoas prefiram valores elevados de velocidade do ar.

Nos estudos de Zhai et al. (ZHAI et al., 2013; ZHAI et al., 2017) – ver contextualização em 2.1.1 – os resultados obtidos indicaram que os participantes desejaram valores maiores de velocidade do ar, sob as mesmas condições de temperatura interna (acima de 28 °C), quanto maior a umidade relativa do ar ambiente. A velocidade do ar, quando controlada pelos participantes (valor médio selecionado entre 1,2 e 1,4 m/s), proporcionou pelo menos 80% de aceitabilidade térmica a 30 °C e 60% UR, sendo que a 30 °C e 80% UR não foi possível satisfazer essa condição (ZHAI et al., 2013). Descobriu-se que o “poder corretivo” oriundo da utilização dos ventiladores foi de até 4 °C, o que se explica pela aproximação das condições de conforto verificadas a 26 °C sem movimento do ar (próximo a 0 m/s) e a 30 °C com movimento de ar personalizado. No entanto, verificou-se que conforme a temperatura interna aumenta, mais difícil é a atenuação do desconforto por calor por meio da velocidade do ar (ZHAI et al., 2017).

O trabalho de Huang et al. (2013), realizado em uma câmara climática de Pequim (China) durante a estação quente-úmida, contou com a participação de estudantes universitários uniformizados (isolamento de aproximadamente 0,57 clo) exercendo atividades sedentárias (1,1 met). Os resultados indicaram que as velocidades do ar – determinadas pelos pesquisadores – correspondentes ao voto de sensação térmica neutro (0) são de 0,60 m/s a 28 °C e 1,50 m/s a 30 °C. Quando o valor da temperatura interna foi de 34 °C, não foi possível manter a média do voto de sensação térmica em uma região considerada confortável por 90% dos usuários (entre -0,5 e +0,5, segundo a ISO 7730, 2005), o que sugere a necessidade de outra estratégia de resfriamento, possivelmente climatização associada à ventilação mecânica (HUANG et al., 2013). Nesse estudo, a uma condição de 34 °C de temperatura, a elevação de 1,5 para 2 m/s na velocidade do ar não provocou alterações na sensação térmica dos estudantes, o que sugere, além da necessidade de outras estratégias de resfriamento, a influência das elevadas temperaturas mesmo quando os valores de V_{ar} também são elevados. Além disso, foram encontrados indícios de insatisfação (não térmica) relativa a esses elevados valores de até 2 m/s.

O estudo de Indraganti et al. (2014) ocorreu em escritórios naturalmente ventilados localizados em Chennai (região quente-úmida da Índia), providos de ventiladores de teto. As vestimentas dos ocupantes variaram bastante (apresentando valores de isolamento entre 0,38 e 1,05 clo), assim como a taxa metabólica referente às atividades observadas – 0,7 a 2 met. Os pesquisadores verificaram que a utilização de ventiladores, provendo velocidades de ar de até 1 m/s, possibilitou elevar a temperatura de conforto dos ocupantes em torno de 2,7 °C, fazendo-a se aproximar dos 30 °C.

Existem estudos que destacam as características do movimento do ar e suas implicações sobre o resfriamento do corpo humano em climas quentes. A constância da brisa e a incidência sobre determinadas partes do corpo são possíveis abordagens (TANABE e KIMURA, 1994). Reuniram-se indícios de que existem diferenças de percepção do movimento do ar quando oriundo de ventilação natural (por ação dos ventos) e quando produzido por ventiladores, sob a mesma velocidade média, possivelmente devido ao caráter flutuante da ventilação natural (ZHANG, H. et al., 2015), estimulante aos termo receptores corporais. Maiores investigações nesse âmbito podem incentivar a adoção da ventilação natural como estratégia passiva de conforto em climas quente-úmidos.

Considerando o exposto sobre as variáveis ambientais internas e sua relação com a percepção térmica humana, pode-se perceber, além da grande relação existente entre as variáveis temperatura, umidade e movimento do ar, a importância de se promover o aumento da velocidade do ar nos ambientes naturalmente ventilados localizados em regiões de clima quente e úmido. Há, de fato, grande potencial desse recurso para atenuar os efeitos das elevadas temperatura e umidade relativa do ar, apesar da necessidade de se observar os limites de implementação dessa estratégia quando as condições são de extremo calor. Dito isso, considera-se fundamental investigar as condições de aceitabilidade térmica possivelmente otimizadas em função do poder corretivo do movimento do ar em ambientes naturalmente ventilados.

2.2 PERCEPÇÃO TÉRMICA HUMANA EM AMBIENTES NATURALMENTE VENTILADOS

Conforme mencionado anteriormente, os estudos de campo utilizados como referência para esta pesquisa envolvem a coleta de percepções, referentes ao ambiente térmico, dos usuários em espaços internos. Os pesquisadores envolvidos aplicaram questionários aos participantes dos respectivos estudos com o objetivo principal de registrar a avaliação do ambiente térmico, além de coletar dados referentes às atividades exercidas e às vestimentas utilizadas durante a pesquisa.

Neste sub-capítulo, serão abordadas as principais referências de questionários adotados em pesquisas sobre o ambiente térmico (sub-item 2.2.1), bem como as respostas obtidas em ambientes naturalmente ventilados ao longo de estações quente-úmidas ou em climas predominantemente quentes (sub-item 2.2.2)

2.2.1 Questionário para avaliação do ambiente térmico

A avaliação do ambiente térmico é feita, basicamente, por meio de questões sobre a sensação térmica; a preferência térmica; a aceitabilidade térmica; e o conforto térmico, em um ou mais momentos determinados pelo pesquisador. A essas questões, são oferecidas respostas pré estabelecidas, com base em escalas ímpares (nas quais há um ponto central) ou em binários (duas opções de resposta), a depender da particularidade de cada estudo.

A sensação térmica é representada por meio da escala de sete pontos (*seven-point scale*), ou escala sétima da ASHRAE *Standard 55* (2013). Essa representação da sensação é adotada pela grande maioria dos estudos sobre o ambiente térmico (questão 1 na Figura 1). Além dela, existe uma escala de nove pontos que possui duas opções a mais, uma em cada extremo da escala (“*very hot*” e “*very cold*”, as quais deveriam ser traduzidas para o português como algo mais extremo do que “com muito calor” e “com muito frio”, respectivamente).

A preferência térmica pode ser expressa por escalas de três, cinco ou sete pontos, a depender do grau de detalhamento proposto na análise. Basicamente, as respostas se baseiam em um ponto central (preferência por permanecer “assim mesmo”) e em preferências por maior aquecimento e por maior resfriamento, separadas pelo ponto central (questão 2 na Figura 1).

Figura 1 – Referência de questões relacionadas ao ambiente térmico

1. Qual é a sua sensação térmica neste momento?
(Assinale a alternativa mais apropriada)

Com muito frio Com frio Levemente frio Neutro Levemente calor Com calor Com muito calor

2. Você preferiria estar:

Mais aquecido Assim mesmo Mais resfriado

3. Para você este ambiente térmico é:

Aceitável Inaceitável

4. Neste momento, você considera este ambiente:

Confortável Desconfortável

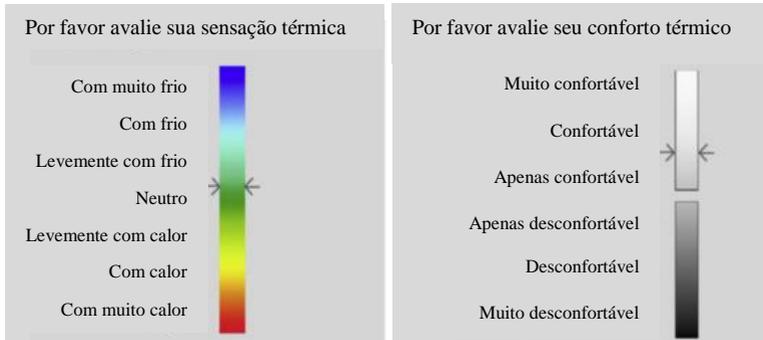
Fonte: De Vecchi (2015)

A aceitabilidade e o conforto térmico podem ser avaliados por meio de binários (respostas “aceitável” / “inaceitável” e “confortável” / “desconfortável”, tal como representado na Figura 1, ou em escalas de sete pontos que vão de “muito desconfortável” a “muito confortável”. As pesquisas mais recentes vêm adotando cada vez mais a escala gráfica, na qual os usuários podem indicar graficamente a “localização” do voto de aceitabilidade e/ou conforto (Figura 2).

No geral, entende-se que a ampliação do leque de respostas para as questões térmicas (até nove pontos em uma mesma escala), por oferecer mais opções de respostas variando-se a intensidade do

parâmetro avaliado, é uma tentativa de obter análises mais detalhadas sobre a percepção térmica, especialmente quando se relaciona essas respostas às variáveis ambientais em questão. No entanto, pondera-se que uma quantidade mais limitada de opções de resposta torna a participação dos usuários mais simples e objetiva, o que é fundamental considerando a proposta de coleta de dados por meio de questionários.

Figura 2 – Referência de questões de sensação e conforto térmicos



Fonte: traduzido de Zhai et al. (2017)

Em estudos que abordam a umidade e o movimento do ar, é comum encontrar questões sobre a sensação, a preferência e/ou a aceitabilidade quanto a esses parâmetros. Quanto à umidade do ar, percebeu-se que a avaliação está muito associada às questões térmicas (SCHIAVON et al., 2016), o que fez com que a possível inclusão em um modelo próprio de questionário para esta pesquisa fosse descartada. Na pesquisa de Cândido et al. (2010), cujo destaque foi a avaliação do movimento do ar em salas de aula naturalmente ventiladas de Maceió, adotou-se uma escala de cinco pontos para a aceitabilidade e a sensação (na mesma questão) quanto à velocidade do ar, conforme apresentado na Figura 3. A preferência referente ao movimento do ar adotada foi uma escala de três pontos: “maior movimento do ar”, “manter assim mesmo” e “menor movimento do ar” (CÂNDIDO, 2010; DE VECCHI, 2015).

Para a disposição de categorias referentes às atividades sedentárias exercidas e às peças de vestimenta utilizadas, recorreu-se aos apêndices A e B do projeto de norma contidos em Lamberts et al. (2013). No caso da vestimenta, essa referência é especialmente importante, pois contém a tradução de determinados trajes de roupa mais usuais em outros países (a exemplo dos Estados Unidos, cujas vestimentas típicas estão identificadas no apêndice C da normativa ISO

7730, 2005). Apesar disso, é preciso considerar que os índices de isolamento da vestimenta descritos nas referências são aproximações, podendo ter variações em função do material utilizado para a confecção das peças de roupa.

Figura 3 – Referência de questão de aceitabilidade e sensação quanto ao movimento do ar

-2	-1	0	1	2
inaceitável	aceitável			inaceitável
Por motivo de baixa velocidade do ar	baixa velocidade do ar	velocidade do ar suficiente	alta velocidade do ar	Por motivo de alta velocidade do ar

Fonte: traduzido de Cândido (2010)

Para este trabalho, buscou-se referências de questões que abordassem a utilização de equipamentos de ar condicionado por parte dos usuários, tendo em vista o interesse em investigar o impacto da exposição prolongada em ambientes condicionados artificialmente sobre a percepção térmica. Os estudos de Cândido (2010) e de De Vecchi (2015) investigaram a quantidade de horas de exposição, os locais de exposição e a preferência dos usuários quanto a um modo de condicionamento (Figura 4).

Figura 4 – Referência de investigação sobre preferências e hábitos dos usuários quanto à utilização de equipamentos de ar condicionado

5. Se você pudesse escolher, qual destas estratégias você utilizaria para climatizar um ambiente nos períodos mais quentes do ano:

Ventilação natural Ventilação natural e ventiladores Ar condicionado

6. Fora do trabalho, você utiliza ar condicionado?

Sim Não

Quando?

Apenas em dias muito quentes Quase sempre, independente da condição externa

Se sim, onde?

Em casa, para dormir Em casa, na sala No carro

E por quanto tempo?

Menos de 4 horas Entre 4 e 8 horas Mais do que 8 horas

Fonte: De Vecchi (2015)

Por fim, considerando a abordagem adaptativa em ambientes naturalmente ventilados, foram reunidos exemplos de questionários nos quais se perguntava sobre as possíveis ações tomadas em busca de melhores condições térmicas. Nos questionários das pesquisas de Damiaty (DAMIATI et al., 2016; ZAKI et al., 2017), realizadas no sudeste asiático, foram investigadas as ações realizadas com a finalidade de alterar o ambiente térmico atual, em função de incômodos por frio ou por calor (Figura 5). O interesse por essa abordagem é devido à necessidade de entendimento sobre o grau de interferência (atuação) dos ocupantes sobre o próprio ambiente térmico e sobre a possível relação entre a interferência e a satisfação com o espaço edificado.

Figura 5 – Referência de investigação sobre ações realizadas ao longo do estudo de campo

Q10. Ações adaptativas

10) Assinale, caso tenha realizado alguma das ações por motivo de sentir-se com calor / com frio neste momento (múltiplas opções são aceitas)

- a) Mudei a temperatura do ar condicionado
- b) Mudei a velocidade do ventilador
- c) Fechei ou abri portas / janelas para propósito de ventilação
- d) Fechei ou abri cortinas / brises para propósito de sombreamento
- e) Mudei minha vestimenta (tirei meu casaco, usei uma jaqueta, usei meias etc.)
- f) Bebi água ou sucos quentes / frios
- g) Descansei ou agi com menor vigor físico
- g) Mudei minha posição no assento ou mudei de assento
- g) Lavei o rosto / as mãos
- h) Não fiz nada
- g) Outros ()

Fonte: traduzido de Damiaty et al. (2016)

Considerando o exposto, verificou-se que os modelos de questionários utilizados em pesquisas no contexto brasileiro são importantes referências para esta pesquisa, a ser aplicado em salas de aula na cidade de São Luís. Nesse processo, a objetividade das questões será prioridade, tendo como objetivo a redução do tempo de

preenchimento pelos alunos. Portanto, no espaço e no tempo disponíveis, há a necessidade de se contemplar os interesses de investigação desta pesquisa – a avaliação do ambiente térmico, os hábitos de exposição ao ar condicionado, as preferências quanto ao modo de condicionamento das edificações e as ações de adaptação ao ambiente térmico.

2.2.2 Condições de neutralidade, aceitabilidade e conforto térmicos em ambientes naturalmente ventilados

Os estudos de campo realizados em ambientes naturalmente ventilados – a maioria salas de aula universitárias – ao longo de estações quente-úmidas reuniram uma série de respostas às principais questões térmicas investigadas nesse tipo de trabalho. A análise quantitativa dos votos de percepção térmica, bem como a análise de votos entre si, pode indicar o provável cenário que será encontrado ao final do tratamento das informações provenientes dos estudos de campo em São Luís.

A distribuição dos votos de sensação, preferência, aceitabilidade e conforto térmicos varia em função de alguns fatores contextuais. É natural pensar que as variáveis ambientais – especialmente as temperaturas – cumprem um papel determinante na configuração total desses votos, como, por exemplo, um aumento do percentual de desconforto em função de temperaturas internas mais elevadas. Ao analisar os estudos referenciais, no entanto, constatou-se a existência de circunstâncias em comum (que vão além da dimensão física do ambiente construído) as quais tornam os resultados desses estudos bastante semelhantes.

Em climas ou estações de característica quente-úmida, é comum que o voto de sensação térmica seja, em sua maioria, de “neutro” e “levemente com calor” em ambientes naturalmente ventilados. Isso foi percebido nos trabalhos de Cândido et al. (2011) – Brasil, Mishra e Ramgopal (2014) – Índia, Kumar et al. (2016) – Índia e Hamzar et al. (2016) – Indonésia, em condições de temperatura interna que variaram de 25 a 35 °C. Quando analisada a preferência térmica em função do voto de sensação térmica, constatou-se que houve entre 30 a 50% de preferência por maior resfriamento quando a sensação térmica correspondeu ao “neutro” (MISHRA e RAMGOPAL, 2014b; KUMAR et al., 2016; LU et al., 2018) e mais de 80% de preferência por maior resfriamento quando a sensação foi de “levemente com calor” (MISHRA e RAMGOPAL, 2014b; LU et al., 2018).

A aceitabilidade térmica esteve sempre acima de 80% nos referidos estudos. Na cidade indiana de Kharagpur, o percentual de no mínimo 80% de aceitabilidade foi encontrado quando a temperatura operativa esteve em torno de 30-31 °C (MISHRA e RAMGOPAL, 2014; MISHRA e RAMGOPAL, 2015). Em Maceió, a aceitabilidade esteve em torno de 90% em todas as categorias de temperatura, até mesmo a 31 °C (CÂNDIDO et al., 2011). É provável que o maior percentual de aceitabilidade em Maceió esteja relacionado à maior oferta de movimento do ar, já que as velocidades do ar registradas nesse trabalho foram consideravelmente maiores que as demais.

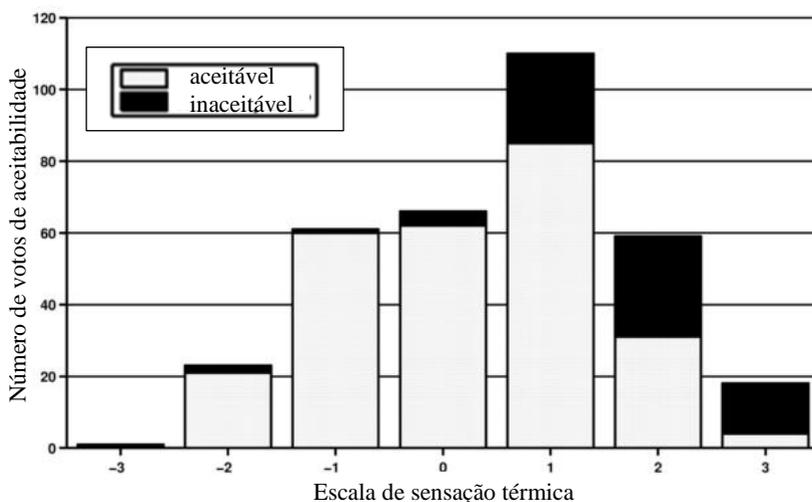
Mishra e Ramgopal (2014b) analisaram a distribuição do voto de aceitabilidade térmica em função do voto de sensação térmica (Figura 6). Nessa análise, os autores destacaram três pontos: o percentual de votos “não aceitável” para a sensação térmica “levemente com calor” (+1), bem maior do que o percentual para a sensação “levemente com frio” (-1); a existência de uma quantidade considerável de votos “aceitável” para os votos de sensação térmica mais extremos (com muito frio: -3, com frio: -2, com calor: +2 e com muito calor: +3); e o fato de o voto de sensação “neutro” (0) não ser considerado 100% aceitável. Tendo em vista essas observações, é possível inferir que essas pessoas tem expectativas por ambientes internos mais resfriados, apesar de tolerarem condições internas extremas de calor. As temperaturas operativas internas variaram de 22 a 35 °C nesse estudo.

Nos trabalhos de Mishra e Ramgopal (2014a) e Hamzah et al. (2016), o conforto térmico dos estudantes foi avaliado em função de uma escala sétima que considera os três pontos centrais como confortáveis (“confortavelmente frio”, “confortável” e “confortavelmente quente”), denominada de escala de Bedford. Em ambos os casos, a opção “confortavelmente quente” foi a mais frequente, com 43% dos votos. Totalizando os votos nos três pontos centrais da escala, obteve-se 86% de estudantes confortáveis em ambos os estudos, quantidade significativa considerando as condições de extremo calor (temperaturas operativas internas entre 22 e 35 °C) encontradas nesses ambientes naturalmente ventilados.

Considerando as ideias apresentadas, pode-se afirmar que o contexto climático externo vivenciado por essas pessoas (condições de temperatura e umidade do ar elevadas em pelo menos uma estação do ano) tem influência sobre a percepção térmica geral em ambientes internos naturalmente ventilados, fazendo com que as sensações térmicas se concentrem, em sua maioria, nos votos de “neutro” e

“levemente com calor”. Não foi possível identificar o grau de exposição dos referidos participantes a ambientes climatizados artificialmente, mas resultados de outros estudos (ZHANG et al., 2016; CÂNDIDO et al., 2010b) indicam que a experiência térmica vivenciada em ambientes internos possui grande influência sobre as respostas subjetivas dos usuários (ver sub-capítulo 2.4).

Figura 6 – Voto de aceitabilidade térmica em função do voto de sensação térmica



Fonte: traduzido de Mishra e Ramgopal (2014b)

Os trabalhos aqui analisados apresentaram outro ponto em comum: a adaptação às condições climáticas locais. Pessoas que vivem em climas quentes estão mais habituadas a essa condição (ZHANG et al., 2016; LU et al., 2018), se comparadas aos habitantes de climas mais amenos ou frios – desconsiderando a vivência em ambientes condicionados artificialmente. Logo, imagina-se que os elevados percentuais de aceitabilidade e conforto proferidos pelos estudantes em salas de aula naturalmente ventiladas se devam aos mecanismos de adaptação inerentes ao ser humano.

Outra forma de expressão da adaptação às condições climáticas é a temperatura neutra (temperatura à qual corresponde a sensação térmica “neutra”) de uma determinada amostra pesquisada. Estudos realizados em diferentes estações tiveram resultados que indicaram a tendência de aumento na temperatura neutra quanto mais quentes as condições

climáticas externas (MISHRA e RAMGOPAL, 2015a; DHAKA et al., 2015; KUMAR et al., 2016).

Considerando o regime climático anual, a temperatura neutra amostral em edificações não residenciais foi de 25 °C em Camarões (NEMATCHOUA; TCHINDA; OROSA, 2014), 26,5 °C na região quente-úmida da Índia (MISHRA e RAMGOPAL, 2014a) e 27,1 °C e na região quente-úmida da China (ZHANG et al., 2016). Em edificações residenciais naturalmente ventiladas, conforme esperado, essas temperaturas são maiores: 26,5 °C em Camarões (NEMATCHOUA; TCHINDA; RICCIARDI; et al., 2014) e 28,5 °C em Cingapura (DE DEAR et al., 1991). As dimensões de adaptação, no âmbito da abordagem adaptativa de conforto térmico, serão exploradas a seguir, no sub-capítulo 2.3 Abordagem adaptativa de conforto térmico.

2.3 ABORDAGEM ADAPTATIVA DE CONFORTO TÉRMICO

A abordagem adaptativa de conforto térmico foi construída ao longo de décadas de pesquisas sobre a percepção térmica humana em ambientes internos reais, em complemento à abordagem analítica proposta por Fanger (1970). Tendo como base diversas pesquisas de campo – nas quais se coletaram os dados referentes às variáveis ambientais, pessoais e aos votos de percepção térmica – em ambientes internos reais ao redor do mundo, de Dear et al. elaboraram um relatório denominado ASHRAE RP-884 (DE DEAR et al., 1997). Tal relatório viria a ser um importante embasamento para a incorporação da abordagem adaptativa de conforto térmico na normativa ASHRAE *Standard 55*, a partir da versão de 2004.

A partir da base de dados RP-884, de Dear et al. (1997) sugeriram que não apenas os processos de termo regulação (balanço de calor corporal envolvendo variáveis ambientais e pessoais) tem influência sobre a percepção térmica dos usuários, conforme o postulado por métodos analíticos embasados nos estudos de Fanger (1970). Sugeriu-se, então, que as componentes comportamental e psicológica da adaptação – relacionadas aos ajustes efetuados pelas pessoas e às expectativas dessas com relação aos ambientes internos, respectivamente – atuariam em conjunto com a componente fisiológica (referente à aclimação das pessoas a uma determinada condição climática habitual), o que justificaria as diferenças de percepção térmica encontradas entre os modelos preditos e os ambientes reais, especialmente em espaços naturalmente ventilados – nos quais os

usuários possuem, via de regra, maior permissividade para intervir em seu próprio ambiente térmico.

Segundo de Dear et al. (1997), a adaptação – no contexto do ambiente térmico – está relacionada aos mecanismos fisiológicos e psicológicos adotados pelos ocupantes com a finalidade de adequar as condições térmicas internas às necessidades individuais e coletivas. A dimensão fisiológica está relacionada à diminuição de uma resposta do corpo (por exemplo, a transpiração) a um estímulo térmico repetido. A dimensão comportamental está associada às ações e ajustes operados pelas pessoas nos ambientes internos reais, ao passo que a componente psicológica está relacionada às expectativas desenvolvidas ao longo da vivência nesses ambientes (DE DEAR et al., 1997). Os estudos de Zhang et al. (2016) e Schweiker et al. (2012) discutem as possíveis contribuições que cada uma das três componentes – comportamental, fisiológica e psicológica – agregaria ao processo de adaptação dos ocupantes a um determinado ambiente térmico.

Schweiker et al. (2012) reuniram voluntários em uma câmara climática na Alemanha, divididos entre (1) adaptados ou não às condições de temperatura interna elevada, e entre (2) permitidos a interagir com o ambiente ou não – a interação se deu por meio do acesso às janelas e/ou ventiladores de teto. Os resultados indicam um grande peso dos ajustes comportamentais (ações sobre o ambiente térmico proporcionadas pela permissividade de acesso às janelas e ventiladores) por parte dos usuários, com o aumento da aceitabilidade térmica e da satisfação por meio da permissividade de interferência pessoal sobre o ambiente térmico.

Zhang et al. (2016), por meio de estudos conduzidos em câmara climática na região quente-úmida da China, exploraram os impactos do clima, das estações do ano e da exposição prolongada ao ar condicionado sobre o conforto térmico de pessoas aclimatadas às condições de elevadas temperatura e umidade do ar. Os resultados encontrados estão de acordo com de Dear e Brager (1998), ao reafirmarem que as experiências térmicas internas vivenciadas estão fortemente relacionadas ao processo de adaptação. Essas experiências são referentes à dimensão psicológica, por se tratarem de expectativas cultivadas ao longo da vivência em uma mesma condição térmica interna. Em contrapartida, o mesmo estudo obteve indícios de que a componente fisiológica da adaptação – aclimação – não teve influência significativa sobre a percepção térmica dos ocupantes (ZHANG et al., 2016).

Ainda sobre a dimensão psicológica da adaptação, Halawa e van Hoof (2012) questionaram até que ponto essa hipótese (referente às expectativas em relação a um ambiente térmico) é válida, argumentando que se a hipótese funciona, não deveriam mais haver pessoas insatisfeitas, uma vez que existe a exposição constante a um mesmo estímulo ambiental – por exemplo, temperatura interna elevada. Os autores destacaram o risco de que baixas expectativas em relação ao ambiente térmico sejam entendidas como “conformismo”, ou, em outras palavras, não são verificadas reclamações em situações nas quais parece não haver alguma solução a vista (HALAWA e VAN HOOFF, 2012). Entende-se, no entanto, que a expectativa pode atuar sobre a percepção térmica ainda que haja insatisfação por parte dos ocupantes, mesmo porque seria inviável garantir 100% de satisfação devido às diferenças individuais em um grupo composto por pessoas habituadas a um mesmo estímulo ambiental.

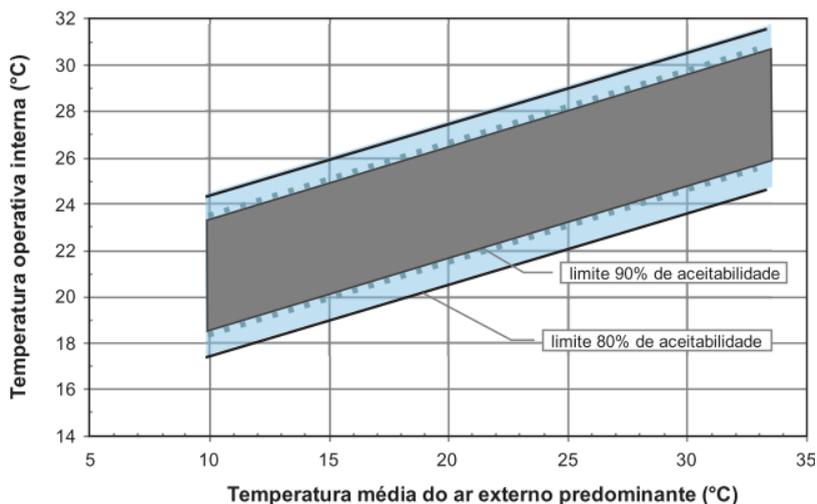
Mishra e Ramgopal (2015a), que investigaram as condições de aceitabilidade e conforto em salas de aula naturalmente ventiladas na região quente-úmida da Índia, encontraram evidências da relação entre as expectativas dos estudantes e a aceitabilidade térmica relatada por eles. Em um determinado dia de pesquisa, a ocorrência – inesperada – de chuva foi relatada por alguns estudantes nos questionários e, apesar de a temperatura operativa interna estar em torno dos 34 °C, o percentual de aceitabilidade registrado (80%) foi muito acima do percentual obtido em dias anteriores, a 35 °C (em torno de 40%). Nesse sentido, a ocorrência de chuva representou uma “quebra” de expectativa, uma vez que esses estudantes estão habituados às condições internas de calor.

Os estudos apresentados foram bem sucedidos em confirmar a presença das dimensões fisiológica (aclimatação), comportamental (ajustes/ações) e psicológica (expectativas) no processo de adaptação. Em se tratando de ambientes naturalmente ventilados (ou, em alguns casos, ambientes que operam com condicionamento misto) controlados pelos ocupantes, o papel deste como agente ativo sobre o próprio ambiente térmico é evidenciado. Os principais mecanismos de ajuste e suas implicações sobre a percepção térmica são explanados no sub-item 2.3.1.

A abordagem adaptativa propõe uma relação linear entre temperatura neutra interna e temperatura média predominante externa em ambientes naturalmente ventilados controlados pelos usuários, incorporada à norma estadunidense ASHRAE *Standard* 55 (2013) e à

norma europeia CEN *Standard* EN15251 (2007). As bases de dados utilizadas na elaboração dos modelos foram, respectivamente, RP-884 (com dados de estudos realizados por todo o mundo) e SCATs (base de dados proveniente de estudos realizados na Europa). A relação linear indica que a temperatura interna neutra aumenta conforme a temperatura média predominante externa aumente, reafirmando o princípio de adaptação ao clima local (Figura 7).

Figura 7 – Modelo adaptativo de conforto térmico segundo a ASHRAE *Standard* 55 (2013)



Recentemente, alguns estudos revisaram as informações obtidas da base de dados do RP-884 (DE DEAR et al., 1997), tendo em vista a aplicabilidade do modelo em climas quente-úmidos. Toe e Kubota (2013) analisaram apenas os dados oriundos do clima quente e úmido, buscando uma equação de conforto adaptativo para edificações naturalmente ventiladas localizadas nesse domínio climático, e encontraram um coeficiente de regressão duas vezes maior do que aquele adotado pela ASHRAE *Standard* 55 (2013). Adicionalmente, propuseram que seja feita uma norma – ou uma parte modificada das normas existentes – referente ao conforto térmico adaptativo em climas quente úmidos.

Mishra e Ramgopal (2015) aplicaram as equações de conforto adaptativo provenientes de estudos prévios (INDRAGANTI et al., 2014; TOE e KUBOTA, 2013; NGUYEN et al., 2012) e das normativas

ASHRAE *Standard 55* (2013) e CEN *Standard EN15251* (2007) sobre os dados coletados em sete cidades da região quente-úmida da Índia, buscando a comparação entre as temperaturas internas de conforto preditas pelos modelos e verificadas em estudos de campo naquela região. As maiores diferenças encontradas em relação ao contexto indiano foram das equações adotadas pela ASHRAE *Standard 55* (2013) e por Toe e Kubota (2013) – dados do mundo inteiro e de climas quente úmidos, respectivamente. Em compensação, a equação adotada pela CEN *Standard EN15251* (2007) ofereceu a maior proximidade entre as temperaturas de conforto. Os autores sugeriram que a aplicabilidade da norma europeia pode ser atribuída à grande quantidade de controles ambientais disponibilizados aos usuários (por exemplo, a operação de janelas) em ambos os contextos pesquisados – Europa e Índia.

Pode-se perceber o interesse dos países, a exemplo de Índia e China, em ampliar os estudos de campo na área de conforto térmico adaptativo, buscando desenvolver suas próprias recomendações e suprir suas necessidades energéticas, respeitando as condições de conforto expressas pelos ocupantes de edificações naturalmente ventiladas. Entende-se que tais esforços são válidos do ponto de vista do entendimento das necessidades apresentadas por cada contexto, mas aparentemente não justificam a elaboração de um modelo adaptativo único aplicável a um domínio climático específico.

A relação adaptativa expressa por meio das temperaturas – ou seja, temperatura interna neutra em função da temperatura média predominante externa – foi abordada na discussão de Halawa e van Hoof (2012). Os autores destacaram que a ausência de variáveis como a umidade relativa, a temperatura radiante média, o isolamento da vestimenta e a taxa metabólica no “modelo matemático” da abordagem adaptativa vem sendo questionada. De certa forma, algumas dessas variáveis estão relacionadas à temperatura externa (HALAWA e VAN HOOFF, 2012), o que faz com que a sua influência sobre a temperatura neutra interna, no modelo adaptativo, seja minimizada. A velocidade do ar interno, por sua vez, não possui relação com a temperatura predominante externa, e passou a ser contemplada no modelo adaptativo posteriormente (Figura 8).

O recente estudo de Vellei et al. (2017) aborda a influência da umidade relativa sobre o conforto térmico adaptativo. Os autores desenvolveram novos modelos (relações lineares entre temperaturas internas e externas) para três categorias de umidade relativa, considerando dados de estudos de campo realizados em climas quentes

(Figura 9). Todos os modelos possuem coeficientes de regressão maiores do que aquele adotado pela ASHRAE *Standard 55* (2013), assim como o estudo de Toe e Kubota (2013) para o clima quente e úmido.

Figura 8 – Alteração no limite superior de aceitabilidade térmica por meio da velocidade do ar segundo a ASHRAE *Standard 55* (2013)

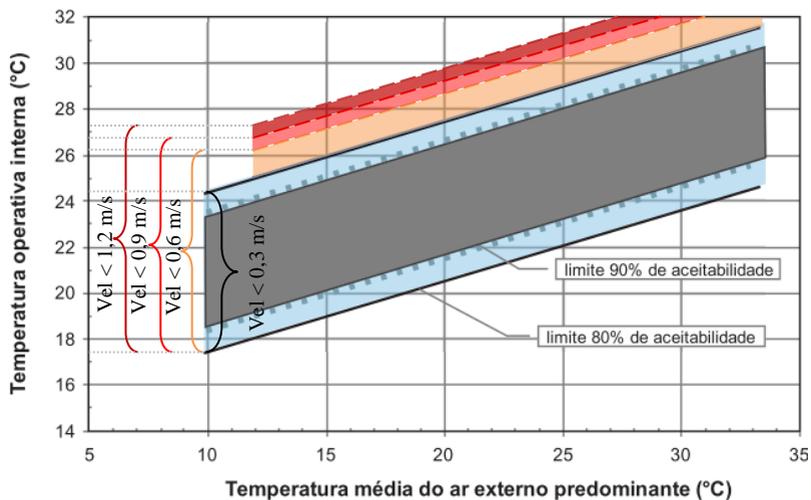
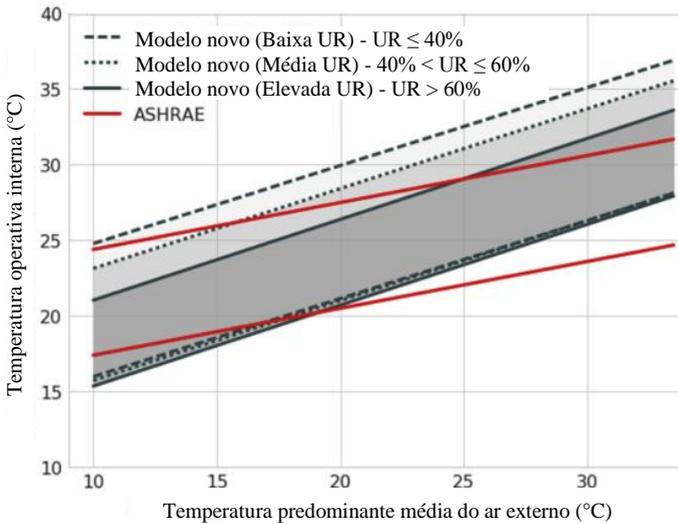


Figura 9 – Modelos adaptativos propostos por Vellei et al. (2017) em função de categorias de umidade relativa do ar interno



Fonte: traduzido de Vellei et al. (2017)

As principais conclusões do estudo de Vellei et al. (2017) são (1) a redução da faixa de temperaturas internas aceitáveis quando a umidade relativa do ar supera os 60% e (2) a redução da temperatura de conforto em até 4 °C devido à diferença entre ambientes úmidos ($UR > 60\%$) e secos ($UR \leq 40\%$). Considerando a categorização de umidade relativa feita pelos pesquisadores, percebe-se que a diferença significativa entre os menores e os maiores valores de UR investigados justificam a inclusão desse parâmetro no modelo adaptativo; no entanto, é possível questionar a presença da umidade relativa nesse modelo quando os valores de UR investigados estão restritos a uma das categorias – por exemplo, acima de 60% de umidade relativa do ar, em estações tipicamente úmidas.

2.3.1 Oportunidades de adaptação e controle do usuário

O controle do usuário sobre o seu ambiente térmico é parte da dimensão comportamental do processo adaptativo. As denominadas “oportunidades adaptativas” estão presentes quando há a permissividade de alterações que partem dos próprios ocupantes, a fim de melhorar o ambiente térmico uma vez que estejam em condições de desconforto ou

insatisfação. Muitos estudos colocam a possibilidade de controle do usuário como fator que contribui para o aumento da aceitabilidade, da satisfação e do conforto térmico. O controle, nessas ocasiões, geralmente está relacionado à operação de ventiladores em condições internas de calor, estabelecidas em câmaras climáticas (HUANG et al., 2013; ZHAI et al., 2013; SCHIAVON et al., 2016; ZHAI et al., 2017; ZHANG et al., 2017).

No estudo de Zhai et al. (2013), a possibilidade de controle pessoal sobre a velocidade do ar sugestionou que o conforto térmico dos ocupantes pode ser mantido a uma temperatura de 30 °C e a 60% de umidade relativa. A aceitabilidade do movimento do ar ao longo do estudo foi, em média, superior a 80%, sob aquelas condições de temperatura e umidade relativa do ar. Schiavon et al. (2016) investigaram as condições de conforto térmico de uma amostra em Cingapura, sob uma série de combinações de temperaturas internas e de disponibilidade de ventiladores individuais, e encontraram as respostas mais positivas dos participantes quanto à sensação, aceitabilidade e preferência térmicas a 26 °C com a possibilidade de controle, superando inclusive uma condição a 23 °C de temperatura e sem disponibilidade de ventiladores – o que é interessante em se tratando de uma localidade de clima quente e úmido.

No estudo de Huang et al. (2013), os pesquisadores determinaram os valores de velocidade do ar disponíveis para os participantes em uma das etapas da pesquisa; na outra etapa, os indivíduos puderam controlar o funcionamento do ventilador. A configuração com controle proporcionou as melhores respostas – em termos de sensação e conforto térmicos – dentre todos os cenários experimentais. Quando possuíram o controle do ventilador, os usuários requeriram menores valores de velocidade do ar para expressar a mesma sensação térmica média proferida quando as velocidades foram controladas pelos pesquisadores e relativamente mais elevadas.

Na literatura, foram encontradas pesquisas realizadas em câmaras climáticas, nas quais os pesquisadores tiveram controle sobre as condições ambientais desejadas. Provavelmente, existe uma diferença de postura adotada pelos usuários em ambientes reais – com os quais estão familiarizados – e experimentais, que pode ter impacto sobre o grau de liberdade percebido por esses ocupantes. Os estudos de Brager et al. (2004) e Shahzad et al. (2017) ocorreram em edificações de escritórios, sem a interferência dos pesquisadores, e os resultados encontrados indicam que ocupantes com diferentes graus de controle pessoal sobre o ambiente expressam diferentes opiniões em relação ao ambiente

térmico, mesmo quando as condições de variáveis ambientais e pessoais são semelhantes. Os ocupantes com maior liberdade de controle (especialmente sobre a operação de janelas) se adaptaram melhor às condições internas vivenciadas e apresentaram temperatura neutra 1,5 °C maior do que aqueles com menor liberdade de controle (BRAGER et al., 2004).

Outra possível diferença é a abrangência do controle, se individualizado ou coletivo (consensual). Em câmara climática, o controle sobre o movimento do ar foi individualizado, ao passo que nos estudos de campo em ambientes reais, era coletivo (CÂNDIDO, 2010; INDRAGANTI et al., 2014; MISHRA e RAMGOPAL, 2015a). Não foram encontradas restrições ao uso dos ventiladores nesses estudos, o que inviabilizou a comparação entre respostas de grupos com e sem controle nos ambientes reais naturalmente ventilados em questão.

O estudo de Indraganti et al. (2014) pontuou possíveis restrições à adaptação dos usuários, encontradas em ambientes de escritórios naturalmente ventilados. Essas limitações foram denominadas ‘fatores arquitetônicos e estruturais’ – por exemplo, a obstrução de janelas – e possivelmente contribuíram para a redução do poder de intervenção dos ocupantes sobre o espaço, o que torna imprecisa a predição de conforto térmico pelo modelo adaptativo sob essas circunstâncias (INDRAGANTI et al., 2014). Zaki et al. (2017) investigaram as ações tomadas em salas de aula naturalmente ventiladas e condicionadas artificialmente na Malásia e no Japão, e descobriram que a quantidade de ações tomadas é maior em ambientes naturalmente ventilados, ao passo que em ambientes condicionados artificialmente a maioria dos estudantes não efetuou nenhuma ação. Sob condições internas de calor, as ações mais realizadas pelos estudantes no Japão envolveram a ingestão de água e o controle sobre janelas, portas e ventiladores. Na Malásia, o ajuste de *setpoint* do ar condicionado foi a ação mais recorrente, o que é reflexo do maior uso desses equipamentos naquele país (ZAKI et al., 2017).

2.4 AMBIENTES CONDICIONADOS ARTIFICIALMENTE

Entre as transformações mais comuns sobre o estilo de vida nas regiões urbanas em desenvolvimento, figura o significativo crescimento da demanda pela climatização de espaços internos edificadas. Em regiões de clima tropical, esse fenômeno se torna mais expressivo devido ao rápido – e muitas vezes, desordenado – crescimento das

idades, à grande recepção de carga térmica por parte das edificações e à ausência de planejamento, no que se refere às estratégias passivas de climatização em ambientes internos.

Na Indonésia, na China e na Índia, por exemplo, é cada vez maior o número de edificações equipadas com condicionadores de ar. Karyono et al. (2015) destacam o crescimento do número de residências com equipamentos de ar condicionado, tornando a refrigeração do ar cada vez mais comum no cotidiano dos indonésios. Zhang et al. (2016) frisam o significativo aumento no consumo energético para fins de resfriamento na região quente-úmida da China, o qual gera preocupação em relação ao balanço entre conforto térmico e consumo de energia para refrigeração de ar. No contexto tropical brasileiro, Cândido et al. (2010b) destaca a necessidade de se reduzir ao máximo os ganhos de calor externos e de se dissipar o calor interno por meio de estratégias passivas, buscando minimizar a demanda por resfriamento ativo (com dispêndio de energia).

Considerando a preocupação com o impacto da vivência cada vez mais comum em ambientes climatizados artificialmente (residências, locais de trabalho e/ou estudo, transportes e etc), foram feitas investigações sobre a percepção térmica de pessoas com diferentes históricos de exposição a esses ambientes. As descobertas desses estudos, realizados em condições internas de calor, oferecem indícios de aspirações e preferências dos ocupantes em meio a um contexto de rápidas transformações demográficas e urbanas em regiões de clima quente e úmido.

O estudo de Cândido et al. (2010b), realizado em salas de aula naturalmente ventiladas em Maceió, investigou dos estudantes a vivência em ambientes climatizados (AC), classificando-os em “expostos aos sistemas de AC” e “não expostos aos sistemas de AC”. Os votos de sensação térmica, preferência térmica e preferência por um modo de condicionamento para o ambiente em questão (opções entre 1. ventilação natural, 2. ventilação natural + ventiladores e 3. ar condicionado) foram analisados para os dois grupos em questão. Não foram observadas diferenças significativas em relação ao voto de sensação térmica, ao contrário das preferências investigadas. A preferência por maior resfriamento foi maior no grupo com exposição, ao passo que a preferência por manter o ambiente térmico foi maior no grupo sem exposição. A preferência por um modo de condicionamento foi significativamente diferente entre os grupos com e sem exposição: os estudantes com exposição, em sua maioria, escolheram o ar condicionado como opção para a climatização do ambiente.

Karyono et al. (2015) estudaram o conforto térmico de estudantes em universidades particulares de Jakarta, Indonésia. As salas investigadas tiveram os equipamentos de ar condicionado ligados antes dos experimentos, e desligados no momento da chegada dos participantes à sala de aula. A grande maioria dos estudantes possuía alguma vivência em ambientes com ar condicionado fora do local de estudo. Os autores encontraram uma temperatura de conforto até 3 °C menor em relação àquela obtida em um estudo similar conduzido no ano de 1993 (KARYONO, 2000), e relacionaram essa constatação ao crescimento da exposição da população local aos ambientes climatizados desde aquele ano até os dias atuais.

No estudo de Zhang et al. (2016), foram recrutados estudantes nascidos nas proximidades de Guangzhou, com dois históricos distintos: habitantes de dormitórios naturalmente ventilados (NV) e de dormitórios equipados com ar condicionado (AC). Os estudantes têm a mesma experiência térmica interna há, no mínimo, um ano. Sob as mesmas condições ambientais em uma câmara climática (20 a 32 °C, 50 a 70% UR), as temperaturas neutras encontradas foram 27,1 °C e 26,4 °C para os grupos NV e AC, respectivamente. O limite de 90% de aceitabilidade térmica é maior, em termos do índice SET (índice de conforto representado por um valor de temperatura, considerando a umidade relativa a 50% e incorporando os efeitos da velocidade do ar, da vestimenta e da taxa metabólica), para o grupo NV: limite para calor correspondente a 29 °C, ao passo que para o grupo AC foi de 28,1 °C.

Zhang et al. (2016) caracterizaram a exposição aos ambientes internos condicionados como principal fator de impacto sobre as percepções térmicas dos usuários aclimatados à região predominantemente quente-úmida de Guangzhou (China). A distinção entre as respostas térmicas de usuários habituados aos ambientes NV e aos ambientes AC é uma evidência chave de expectativas desenvolvidas em relação aos espaços internos. Atualmente, as pessoas passam cerca de 80% do dia em ambientes internos, via de regra climatizados, e esse fator possui muito mais peso sobre a sensação térmica do que o clima em si e a ocorrência das estações do ano (ZHANG et al., 2016).

Por fim, o estudo de Kalmár (2016) analisou a percepção térmica de voluntários com média de idade entre 20 e 26 anos, nascidos em diferentes regiões – Nigéria, Turquia e Hungria –, mas que viveram na Hungria por pelo menos um ano. Os voluntários provenientes das regiões quentes da Nigéria e da Turquia estavam habituados ao uso de sistemas de ar condicionado, ao passo que os voluntários húngaros não

possuíam esse hábito em seu cotidiano. Ao longo do experimento, todos estiveram expostos às mesmas condições ambientais (média de 30 °C de temperatura interna e 35% UR), de vestimenta (0,5 clo) e de metabolismo (1,2 met). Descobriu-se que as pessoas constantemente expostas aos ambientes com ar condicionado preferiram menores temperaturas internas, e as pessoas não expostas preferiram ter maior movimento do ar naquelas condições. A preferência por maior movimento do ar foi atribuída ao hábito de se operar as janelas durante o verão, por parte dos voluntários húngaros (KALMÁR, 2016).

Diante do exposto, é possível perceber o impacto do uso cada vez mais representativo de resfriamento artificial, sobre a percepção térmica das pessoas em climas predominantemente quentes, principalmente no que se refere às expectativas e preferências. É certo que ambientes internos naturalmente ventilados e expostos às condições de extremo calor precisam de maior atenção quanto ao limite superior de aceitabilidade térmica. Nesse âmbito, entende-se que o uso de estratégias ativas de condicionamento se faz necessário em determinadas situações, mas que é imprescindível seguir com os esforços de buscar alternativas economicamente e ambientalmente viáveis em prol da satisfação e do conforto térmico humano.

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A REVISÃO DE LITERATURA

Dentro da literatura pesquisada, destacam-se os estudos de campo que adotaram as premissas da abordagem adaptativa de conforto térmico – portanto, com liberdade de intervenção dos usuários no ambiente térmico – em ambientes internos naturalmente ventilados (CÂNDIDO et al., 2010a; INDRAGANTI et al., 2014; MISHRA e RAMGOPAL, 2014a; MISHRA e RAMGOPAL, 2015a; ZHANG, Y. et al., 2015; PIRES e WESTPHAL, 2015; DHAKA et al., 2015; DAMIATI et al., 2016; KUMAR et al., 2016; HAMZAH et al., 2016; ZAKI et al., 2017).

A maioria desses estudos foi conduzida em ambientes acadêmicos, e a maioria dos participantes são estudantes de ensino superior. Em todos eles, a estação quente e úmida foi abordada, embora haja diferenças entre os climas locais e os respectivos ambientes internos proporcionados. O movimento do ar recebeu maior ou menor importância, a depender da abordagem pretendida em cada trabalho. Nos estudos com ênfase no movimento do ar, foram utilizados medidores portáteis de velocidade e direção do fluxo de ar próximos a cada participante, buscando maior precisão na caracterização dessa

variável. Quanto à umidade relativa do ar, não foram encontrados estudos de campo, conduzidos em ambientes reais, que investiguem sua influência sobre a percepção térmica humana. Acredita-se que isso ocorreu devido à pouca variação desse parâmetro em um mesmo ambiente naturalmente ventilado, tanto que esse tipo de investigação ficou restrita à literatura referente aos experimentos conduzidos em câmaras climáticas.

Verificou-se, em geral, elevados percentuais de aceitabilidade e conforto térmicos nesses ambientes naturalmente ventilados, percentuais que foram atribuídos pelos autores como produto da adaptação operada pelos usuários sobre o ambiente térmico. Foi constatada grande aceitação das condições térmicas mesmo quando registradas temperaturas internas acima de 30 °C e movimento de ar imperceptível. Perceberam-se indícios de adaptação comportamental, fisiológica e psicológica por parte dessas pessoas as quais, via de regra, tiveram a liberdade de atuar sobre o ambiente. No entanto, suspeita-se que em situações nas quais o controle sobre o ambiente térmico não é tão evidente aos próprios usuários (a exemplo de salas de aula, nas quais o ambiente é coletivo), ou nas quais o espaço construído apresente limitações de controle, as expectativas em relação à aceitabilidade e ao conforto térmico sejam baixas.

3 MATERIAIS E MÉTODO

3.1 INTRODUÇÃO

No presente capítulo, serão explanados os materiais e procedimentos metodológicos adotados neste trabalho. O esquema abaixo (Figura 10) reúne as principais informações sobre os procedimentos, agrupados em três etapas.

Figura 10 – Esquema síntese com os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa



Dos procedimentos descritos acima, o planejamento do estudo de campo foi completamente concluído antes da execução da primeira etapa de pesquisa de campo (que ocorreu entre março e maio de 2017). O tratamento de dados ocorreu ao final da segunda pesquisa de campo (setembro a novembro de 2017), quando todos os dados das medições de campo foram coletados. A calibração dos equipamentos de medição está descrita em detalhes no Apêndice A.

3.2 CONTEXTO CLIMÁTICO DE SÃO LUÍS (MA)

A cidade de São Luís, delimitação geográfica de estudo desta pesquisa, está localizada na ilha de Upaon-Açu, ou ilha de São Luís, Estado do Maranhão, região Nordeste do Brasil (Figura 11). Segundo Trinta (2007), a ilha de São Luís se situa no Estado do Maranhão, na Região Nordeste, 02°35' lat(S) e 44°14' long(W), com altitude média de 24 m. Por estar localizada em uma ilha costeira e bem próxima a linha do equador, São Luís possui elevadas temperaturas do ar e umidade do ar ao longo de todo o ano, além de baixa amplitude térmica mensal e anual. Logo, o seu clima é caracterizado como tropical equatorial quente e úmido, e pode ser classificado como tipo Aw (tropical úmido), segundo o sistema Köppen-Geiger (MISHRA; RAMGOPAL, 2015b).

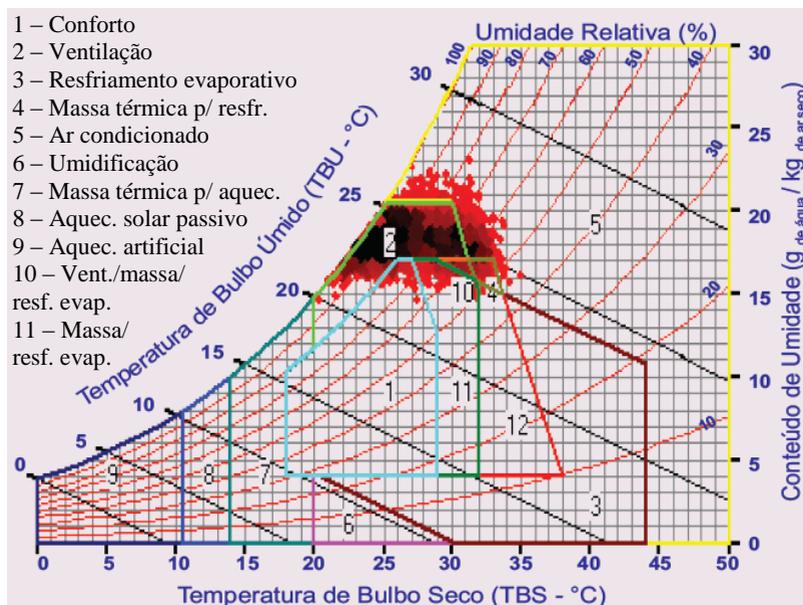
Figura 11 – Localização do município e da ilha de São Luís no Brasil



Fonte: adaptado de SÃO LUÍS (2017) e MAPAS de São Luís – MA (2017)

De acordo com o zoneamento bioclimático brasileiro, São Luís situa-se na Zona Bioclimática n° 8 (ZB8), caracterizada pela necessidade de ventilação cruzada permanente ao longo do ano. A estratégia de ventilação é responsável pelo conforto térmico em 82% das horas do ano, ao passo que o ar condicionado se faz necessário em 10% das horas do ano (LAMBERTS et al., 2014), de acordo com a Figura 12.

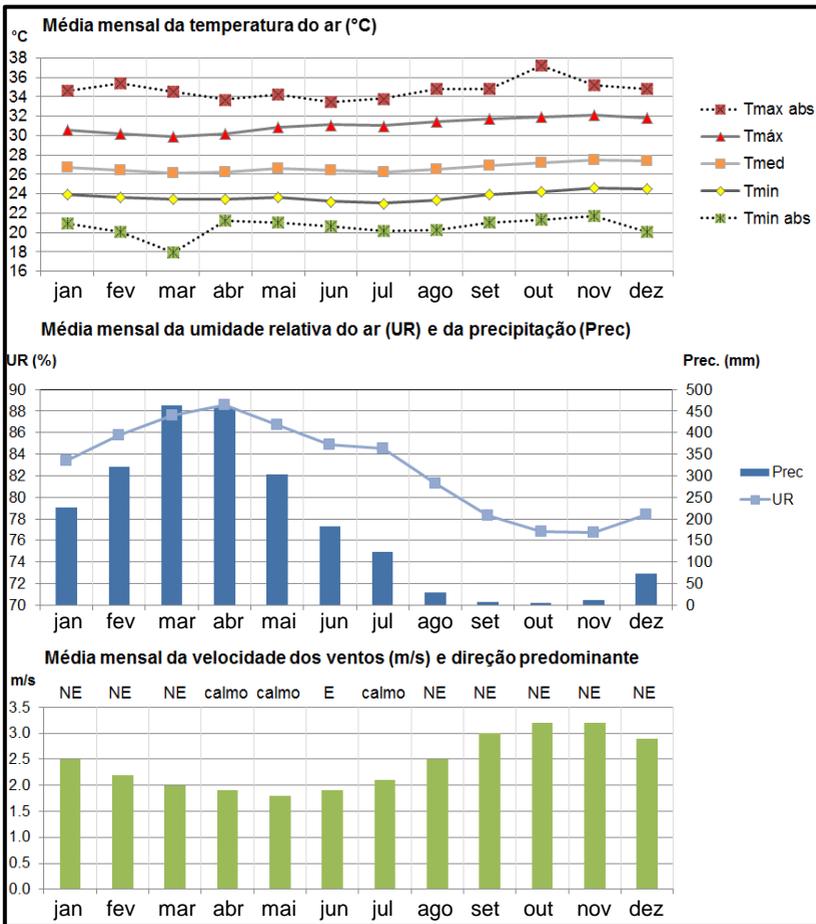
Figura 12 – Carta psicrométrica para a cidade de São Luís



Fonte: adaptado de Lamberts et al. (2014)

A partir da análise dos dados de normais climatológicas (Figura 13), observa-se que São Luís é composta por duas estações anuais distintas: uma mais chuvosa, que vai de janeiro a junho, sob a influência da zona de convergência intertropical (ZCIT) – estação conhecida também como “inverno”, apesar dos valores médios de temperatura do ar mínima serem maiores do que 22 °C –, e uma mais seca, de julho a dezembro, que por consequência é denominada de verão. Para fins deste estudo, as estações serão identificadas como chuvosa e seca, respectivamente. Na estação chuvosa, naturalmente, a umidade relativa do ar registrada é maior; além disso, as velocidades do ar costumam ser menores. Por outro lado, na estação seca as temperaturas máximas e mínimas costumam ser maiores, bem como os valores de velocidade do ar.

Figura 13 – Dados de normais climatológicas para São Luís (MA) nos anos de 1981 a 2010



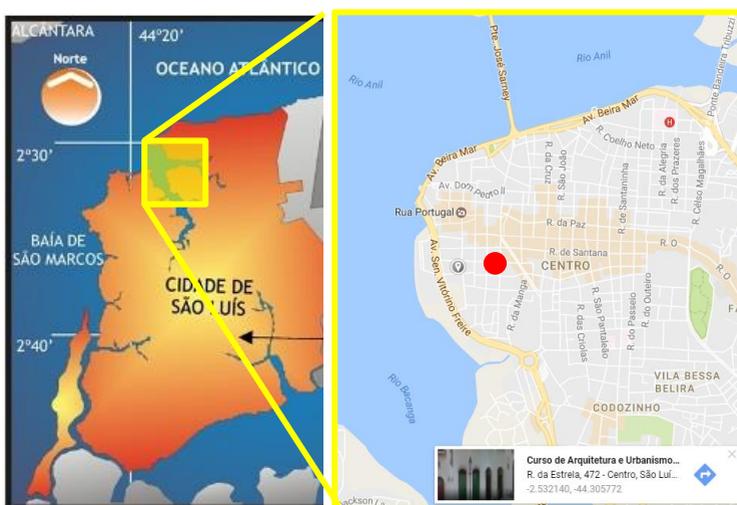
Fonte: adaptado de INMET (2015)

Diante desta constatação, decidiu-se eleger dois períodos do ano para a aplicação da pesquisa de campo, representativos das estações seca e chuvosa. O principal objetivo é verificar a resposta da edificação estudada, em termos de variáveis ambientais internas registradas (salas de aula naturalmente ventiladas), e comparar as respostas dos usuários perante as duas situações.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO E DOS AMBIENTES ESTUDADOS

A edificação selecionada para a aplicação da pesquisa é a do Curso de Arquitetura e Urbanismo (CAU) da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). Está localizada fora do campus universitário geral, no centro da cidade de São Luís, em um bairro denominado Praia Grande (Figura 14 e Figura 15).

Figura 14 – Centro da cidade de São Luís com a edificação destacada em vermelho (à direita)



Fonte: adaptado de SÃO LUÍS (2017) e Google Maps (2017)

Figura 15 – Edificação do CAU vista de cima



Fonte: adaptado de Google Earth (2017)

Segundo o guia de arquitetura e paisagem “São Luís: Ilha do Maranhão e Alcântara” (JUNTA DE ANDALUCIA, 2008), a edificação é composta por quatro sobrados, sendo que três deles datam do século XIX, enquanto que o quarto foi construído posteriormente em linguagem arquitetônica de fachada distinguível das demais. O conjunto, de tombamento estadual pela UNESCO, foi sede da estadunidense Ulen Company (prestadora de serviços urbanos) a partir da década de 20, e antes de ter sua estrutura adaptada ao uso escolar, em 2001, também foi sede da Companhia Energética do Maranhão (CEMAR).

Os sobrados possuem fachada principal voltada a leste, para a Rua da Estrela; o último a ser construído se localiza em uma esquina daquela rua com uma rua lateral (Rua Direita). O conjunto enumerado pode ser visualizado nas ilustrações abaixo (Figura 16 e Figura 17).

Figura 16 – Conjunto de sobrados (1 a 4) que compõem a edificação, visto da Rua da Estrela a partir de dois ângulos opostos



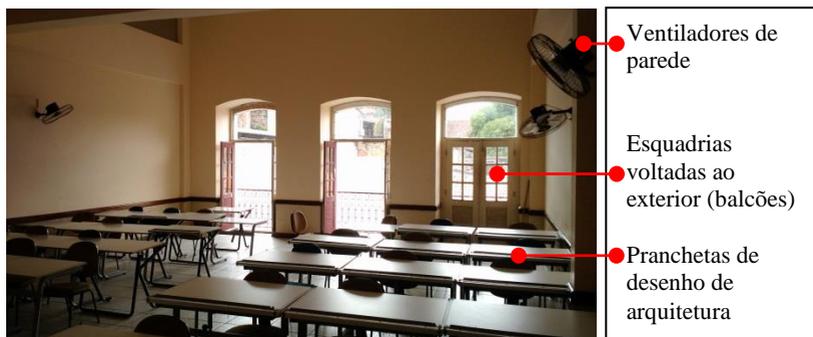
O bairro da Praia Grande é parte integrante do Centro Histórico da capital e, portanto, a maioria das suas edificações possui características da arquitetura colonial portuguesa, o que também se aplica aos sobrados do curso de arquitetura. Entre tais características, destacam-se: alvenaria de pedra argamassada com grande espessura (em torno de 80 centímetros), janelas rasgadas, guarnições em pedra de cantaria ou argamassa, balcões com gradis de ferro e acabamentos em madeira, e esquadrias em madeira com bandeiras e detalhes em vidro.

Figura 17 – Rua da Estrela (A) e Rua Direita (B)



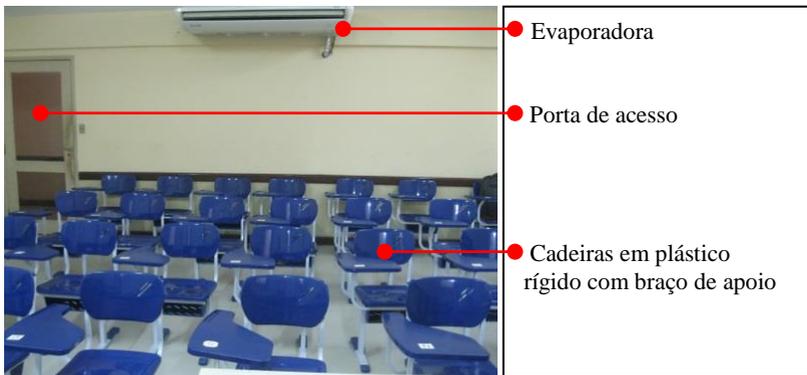
Quanto às vedações, é importante destacar que a planta da edificação sofreu alterações ao longo dos anos, tendo sido acrescentadas paredes em alvenaria convencional – tijolo cozido 6 furos. Este é o caso das divisões entre as salas de aulas, que são feitas por meio de paredes com espessura de 15 cm. No entanto, as paredes em contato com o exterior (a leste) permanecem em pedra argamassada, garantindo maior espessura. Outras características construtivas relevantes são a cobertura em telha cerâmica colonial com laje rente à inclinação do telhado e a existência de um segundo pavimento aproveitando um espaço de sótão entre a empena da cobertura e o primeiro pavimento. Mais informações sobre a edificação do curso de Arquitetura (incluindo plantas baixas, cortes esquemáticos e esquadrias) estão contidas no Apêndice B.

Figura 18 – Exemplo de sala de aula naturalmente ventilada



No prédio, existem salas de aula naturalmente ventiladas (Figura 18), todas com ventiladores de parede instalados, e ambientes com equipamento de ar condicionado (do tipo *split*) instalado. Há uma sala de aula naturalmente ventilada para cada turma (ou semestre, do 1º ao 9º), totalizando nove ambientes desse tipo. Já os ambientes com ar condicionado (Figura 19) não são propriamente salas de aula – originalmente, são espaços designados para laboratórios ou grupos de pesquisa dos professores, eventos e defesas de conclusão de curso –, mas são utilizados como salas de aula no dia-a-dia do período letivo. Esses ambientes não possuem ventiladores instalados.

Figura 19 – Exemplo de ambiente com ar condicionado instalado e ativo



As salas naturalmente ventiladas (Figura 18) são utilizadas sempre com as esquadrias dos balcões (conexão com o exterior) abertas, porta de acesso principal geralmente aberta, e o acionamento dos ventiladores de parede fica a cargo dos estudantes. É comum que as esquadrias dos balcões sejam abertas pelo primeiro usuário, no início da manhã ou no início da tarde, e fechadas apenas ao fim de todas as atividades do dia.

Os ambientes com ar condicionado, por sua vez, são sempre utilizados com o equipamento de climatização funcionando e as esquadrias da envoltória fechadas (Figura 19). Tendo em vista os diferentes ambientes térmicos experimentados nos dois tipos de espaço e, conseqüentemente, a expectativa por diferentes respostas dos estudantes, efetuou-se a pesquisa de campo durante as aulas em ambos os modos de climatização. No Apêndice B, estão contidas as informações referentes a cada ambiente analisado neste trabalho.

3.4 ESTUDOS DE CAMPO

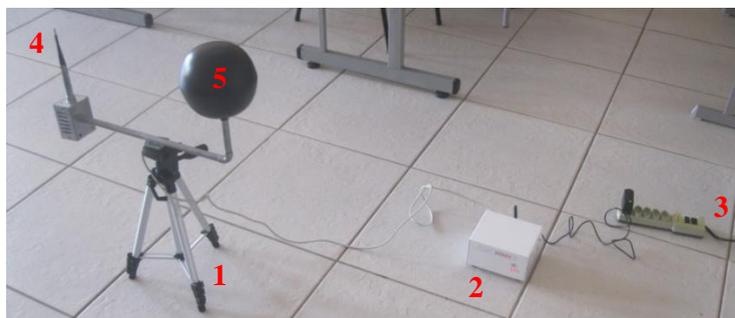
3.4.1 Variáveis internas e instrumentação

A fim de avaliar o ambiente térmico das salas de aula naturalmente ventiladas e climatizadas em clima tropical quente e úmido por meio das variáveis ambientais relacionadas, foram utilizadas duas estações microclimáticas (módulos) do confortímetro da marca SENSU, modelo M3, desenvolvidas pelo Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termo físicas (LMPT/UFSC), além de um termo anemômetro de fio quente portátil denominado AIRFLOW TA 35, pertencente ao Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEEE/UFSC).

3.4.1.1 Confortímetro SENSU

As estações microclimáticas SENSU são módulos independentes que contam com sensores para medição de temperatura do ar (T_{ar} - °C) ou temperatura de bulbo seco, temperatura de globo negro (T_{globo} - °C), umidade relativa do ar (UR - %) e velocidade do ar (V_{ar} - m/s) em um dado ambiente interno. Cada estação possui peças separáveis, representadas na Figura 20.

Figura 20 – Estação microclimática SENSU



- 1 – Tripé regulável de acordo com a altura de medição desejada;
- 2 – Datalogger da estação, dotado de uma antena removível;
- 3 – Alimentação elétrica da estação;
- 4 – Sensor de T_{ar} , UR e V_{ar} , em metal polido;
- 5 – Globo negro (esférico), com sensor de T_{globo} dentro.

Os dados de variáveis ambientais coletados são armazenados em um *datalogger* da estação que, por sua vez, os envia por sinal de rádio a outro *datalogger* – comum a todas as estações – conectado a um computador. Para tanto, é necessária a instalação de um software próprio (Aquis Mestre, desenvolvido pelo fabricante do equipamento), destinado a efetuar a leitura feita pelos sensores, no formato *.txt.

De acordo com o fabricante, podem-se assumir os intervalos de medição e as incertezas para cada variável conforme abaixo:

- Velocidade do ar (V_{ar} , em m/s): 0,02 a 3 m/s; incerteza de 3%;
- Temperatura do ar (T_{ar} , em °C): 0 a 90 °C, incerteza de 0,2 °C;
- Umidade relativa do ar (UR, em %): 5 a 98%, incerteza de 3%;
- Temperatura de globo (T_{globo} , em °C): 0 a 90 °C, incerteza de 0,2 °C.

Com os dados obtidos por meio das estações SENSU, foram calculadas as variáveis ambientais derivadas e os índices de conforto térmico que são pertinentes a esse estudo (ver sub-item 3.5). Antes de se efetuar o transporte dos equipamentos para a cidade objeto da pesquisa, procedeu-se a uma calibração, no intuito de verificar a precisão das leituras feitas pelos sensores dos três módulos e compará-las; todo o procedimento de calibração, bem como os resultados obtidos, está descrito no Apêndice A.

3.4.1.2 Termo anemômetro AIRFLOW

O termo anemômetro digital da marca AIRFLOW é um equipamento que registra a velocidade (em metros por segundo – Sistema Internacional de medidas – ou pés por minuto) com a qual o ar se movimenta em um dado ambiente, bem como a temperatura do ar (em graus Celsius ou *Fahrenheit*). É composto por uma haste metálica estendível que abriga um sensor em uma das extremidades, e por um display digital que controla o acionamento e mostra as leituras feitas (

Figura 21). O sensor existente é unidirecional, ou seja, mede a velocidade do ar em apenas uma direção de ventilação incidente – no caso, a direção predominante do vento. Esse equipamento foi utilizado unicamente para registrar a velocidade do ar próxima aos estudantes; a temperatura do ar, nesse caso, foi desconsiderada.

Figura 21 – Termo anemômetro digital AIRFLOW



De acordo com o fabricante, podem-se assumir os intervalos de medição e as incertezas para cada variável mensurada por esse equipamento conforme abaixo:

- Velocidade do ar (V_{ar} , em m/s): 0,25* a 20 m/s; incerteza de 3%;
- Temperatura do ar (T_{ar} , em °C): 0 a 80 °C, incerteza de 1 °C.

*Apesar da especificação do fabricante, identificou-se uma relação linear entre as leituras de V_{ar} do AIRFLOW e do sensor Testo (maior precisão), nos testes realizados em túnel de vento (ver Apêndice A, Tabela 33).

Neste estudo, a utilização do termo anemômetro é de grande importância, uma vez que se pretende obter o máximo de informações referentes ao ambiente térmico próximo aos usuários – a homogeneidade dos espaços não é garantida –, e em ambientes naturalmente ventilados, passíveis a flutuações constantes nos valores de velocidade do ar. A medição de velocidade do ar foi feita, portanto, próxima a cada estudante.

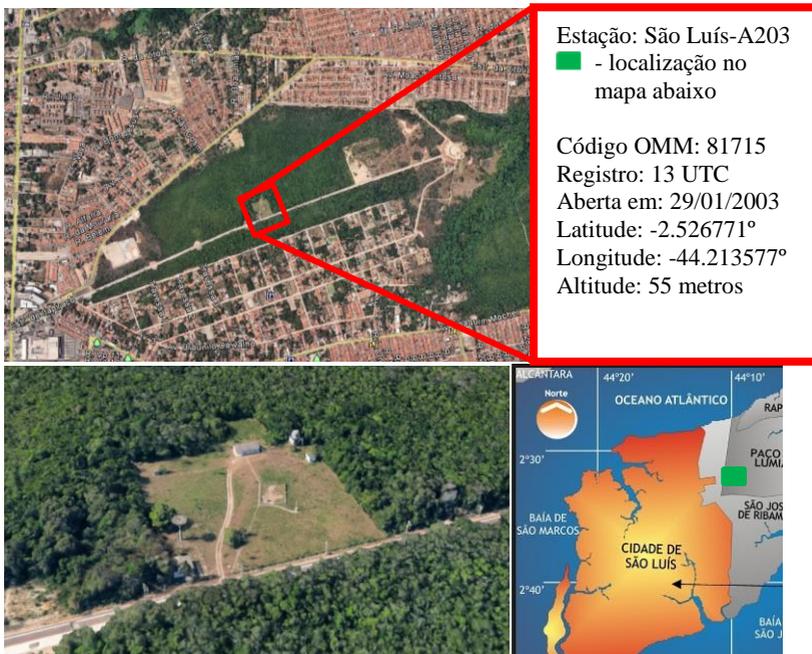
Para efeito de comparação de leituras, este equipamento também foi posicionado ao lado dos sensores das estações SENSU durante o procedimento de calibração (Apêndice A). Constatou-se que o AIRFLOW possui uma diferença de leitura média de 0,05 m/s em relação à leitura feita por um sensor de maior precisão (Testo), mesmo a velocidades do ar inferiores a 0,25 m/s (valor mínimo referente ao intervalo de medição, de acordo com o fabricante). Tal comportamento se manteve linear à medida que a intensidade do fluxo de vento era

alterada. Dessa forma, ao longo dos estudos de campo, o valor de 0,05 m/s foi sempre acrescido às leituras dadas pelo AIRFLOW.

3.4.1.3 Variáveis referentes ao ar externo

Em paralelo à coleta das variáveis ambientais internas, foram obtidos os dados de temperatura do ar externo nos meses correspondentes ao trabalho de campo, a fim de tê-los disponíveis para o cálculo da temperatura média predominante externa, nos moldes da abordagem adaptativa de conforto térmico. Os dados foram obtidos por meio do portal online do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), que contém as informações provenientes de estações meteorológicas instaladas nas cidades brasileiras. Para São Luís, a única estação meteorológica automática cadastrada está situada em uma área de proteção ambiental denominada APA Itapiracó, conforme é mostrado na Figura 22. A distância da estação para o prédio do CAU é de cerca de 10 km.

Figura 22 – Informações sobre a estação meteorológica em São Luís



Fonte: adaptado de Google Maps (2017) e INMET (2015)

3.4.2 Questionário

O questionário utilizado nos estudos de campo apresenta-se como um método de avaliação de conforto térmico em ambientes construídos, classificado como uma pesquisa instantânea devido à abordagem no espaço e no tempo. Foi construído com base nas referências da norma ASHRAE *Standard 55* (2013) (Apêndice K) e dos trabalhos de De Vecchi (2015) e Damiati et al. (2016), originando a sua primeira versão a ser testada durante o estudo piloto. Ao final do estudo piloto, foram identificados alguns pontos a serem ajustados, de forma a melhorar a compreensão dos respondentes acerca do que se desejava investigar. O resultado foi uma terceira versão do questionário, a qual foi adotada como versão definitiva (Apêndice C).

A fim de facilitar a organização, a marcação temporal, a identificação visual e o tratamento dos dados, o questionário foi dividido em 5 partes. Na frente da folha, estão as partes de 1 a 3, as quais agrupam as questões que devem ser respondidas logo de início (Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5). As partes 4 e 5 estão no verso da folha, sendo que a parte 4 corresponde à avaliação do ambiente térmico ao longo do período de aula, e a parte 5 diz respeito aos questionamentos finais (Tabela 6 e Tabela 7).

Tabela 3 – Explicação das questões pertencentes à Parte 1 (continua...)

PARTE 1 - IDENTIFICAÇÃO		
Enunciado	Opções de resposta	Observações/Justificativa/Objetivo
Identifique o número que a pesquisadora te deu	Questão aberta	Inserção na versão final do questionário para auxiliar na localização dos estudantes dentro do ambiente
Gênero	Masculino Feminino	Questões de identificação padrão, contendo alguns dos critérios antropométricos que podem ser utilizados para a estratificação e o agrupamento dos dados a serem obtidos na parte 4 (votos de percepção térmica).
Idade	Questão aberta	
Peso	Questão aberta	
Altura	Questão aberta	
Cidade onde nasceu	Questão aberta	Questões que podem ser utilizadas em análise sobre a influência da aclimação sobre a percepção térmica.
Há quanto tempo mora em São Luís?	Questão aberta	
Atividade predominante-	Sentado, quieto Sentado, lendo	Opções filtradas considerando o uso escolar dos ambientes. As atividades

mente exercida neste ambiente	Sentado, escrevendo Sentado, digitando	listadas correspondem a uma taxa metabólica de 1 a 1,1 met (Apêndice A – Níveis de atividade metabólica, em Lamberts et al. (2013)). Buscando evitar atividades correspondentes a maiores taxas metabólicas, priorizou-se a utilização das aulas expositivas ao invés de ateliers e seminários.
Selecione as peças de sua vestimenta (já considerando as roupas íntimas)	Com base no Apêndice B – Isolamento da vestimenta, em Lamberts et al. (2013)	Opções filtradas da Tabela B2 – Isolamento das roupas, considerando a realidade climática e cultural de São Luís (exclusão de peças tipicamente utilizadas em climas frios). A composição das vestimentas gerará um número representativo do isolamento da vestimenta, em unidade clo.

Tabela 4 – Explicação das questões pertencentes à Parte 2

PARTE 2 – PREFERÊNCIAS E HÁBITOS		
Enunciado	Opções de resposta	Obs./Justificativa/Objetivo
Qual das estratégias de condicionamento abaixo você escolheria para este ambiente? Por quê? (considerar todos os fatores que julgar pertinentes)	Ventilação Natural Ventilação Natural e Ventiladores Ar condicionado	Os estudantes estão livres para justificarem a escolha (parte aberta da questão) sob quaisquer pontos de vista, o que pode oferecer uma análise mais abrangente sobre a qualidade do ambiente térmico vivenciado.
Caso tenha vivência em ambientes com ar-condicionado, onde e por quanto tempo (horas/dia)?	Em casa No trabalho No transporte	O objetivo de se questionar a respeito da vivência em ar condicionado é justamente avaliar a quantidade de tempo em exposição a ambientes térmicos artificiais e o possível impacto disto na avaliação de conforto.

Tabela 5 – Explicação das questões pertencentes à Parte 3 (continua...)

PARTE 3 – ANTES DESTA AULA		
Enunciado	Opções de resposta	Obs./Justificativa/Objetivo
Você está/esteve doente nos últimos dias?	Sim (Sintomas?) Não	Parâmetro para descarte de votos de percepção térmica (parte 4), em caso de enfermidades que possam interferir nas percepções em relação ao ambiente térmico.

Em que tipo de condicionamento de ambiente você esteve na última hora que antecedeu esta aula	Ventilação Natural Ventilação Natural e Ventiladores Ar condicionado	Pode ser utilizada como critério de análise dos votos de percepção térmica, na tentativa de encontrar alguma relação entre estes e a exposição dos estudantes prévia ao estudo.
Qual atividade você estava exercendo meia hora antes de estar nesta aula?	Questão aberta	Questão que auxilia na caracterização da taxa metabólica prévia ao estudo, mas que pode ter influência na taxa metabólica correspondente aos instantes iniciais do estudo; portanto, pode ser um parâmetro de descarte dos votos iniciais.

As questões da parte 4 – avaliação de conforto térmico foram elaboradas com base na norma ASHRAE *Standard 55* (2013) e do *Performance Measurement Protocols for Commercial Buildings* da ASHRAE (2010) – PMP, capítulo 6, seção de medições subjetivas. Essa parte consiste em obter respostas dos estudantes quanto à sua percepção térmica em relação ao ambiente frequentado, o que engloba questões referentes à sensação (A), preferência (B) e aceitabilidade (C) térmicas, questões referentes à aceitabilidade (D) e à preferência (E) quanto ao movimento do ar no ambiente, e uma questão sobre a sensação subjetiva de conforto térmico (F). Essas respostas foram denominadas “votos de percepção térmica”, e solicitadas a cada 20 minutos ao longo da medição de campo, totalizando quatro momentos de votos e, no mínimo, uma hora de estudo.

É importante ressaltar que nas questões relacionadas à percepção térmica, os conceitos de aceitabilidade e conforto não foram explanados. Dessa forma, seus significados foram entendidos de acordo com a livre interpretação dos estudantes. A aproximação ou o distanciamento semântico entre os termos poderá, inclusive, ser discutido na análise dos resultados.

Para a etapa de tratamento dos dados, fez-se necessária a atribuição de uma escala numérica para cada opção de resposta, independente entre as seis questões de A a F. Na questão A, sobre a sensação térmica, atribuiu-se a convencional escala sétima presente na ASHRAE *Standard 55* (2013) e em tantos outros trabalhos com estudos de campo em conforto térmico. Nas questões B, D e E, foram arbitradas as escalas numéricas seguindo a lógica imposta pela escala sétima de sensação térmica. Já nas questões C e F, que são binários, a escala foi meramente arbitrada. De modo geral, definiu-se o 0 como algo próximo

à neutralidade térmica, conforto térmico ou tendência a permanecer no estado atual; as escalas positivas indicando sensação de calor e as negativas, sensação de frio (ver Tabela 6).

Apesar de esse raciocínio se aplicar bem a uma localidade que tenha a tendência ao desconforto por calor, vale frisar que esta não é necessariamente uma condição obrigatória, uma vez que um ambiente “inaceitável” (+1) ou “desconfortável” (+1) pode o ser por acentuada sensação de frio em ambiente com ar condicionado. Quanto à questão C, é importante ressaltar a ênfase no verbo “estar” como condição temporária, alteração efetuada visando o maior esclarecimento possível aos estudantes.

Tabela 6 – Detalhamento das questões pertencentes à Parte 4

PARTE 4 – AVALIAÇÃO DO AMBIENTE TÉRMICO			
Enunciado	Opções de resposta	Escala	
A	Qual é a sua sensação térmica neste momento?	Com muito frio	-3
		Com frio	-2
		Levemente com frio	-1
		Neutro	0
		Levemente com calor	+1
		Com calor	+2
		Com muito calor	+3
B	Você preferiria estar:	Mais aquecido	-1
		Assim mesmo	0
		Mais resfriado	+1
C	Para você, este ambiente está termicamente:	Aceitável	0
		Inaceitável	+1
D	Qual a sua opinião sobre o movimento do ar neste momento?	Aceitável, pouco movimento do ar	+1
		Aceitável, suficiente movimento do ar	0
		Aceitável, muito movimento do ar	-1
		Inaceitável, pouco movimento do ar	+2
		Inaceitável, muito movimento do ar	-2
E	Qual a sua preferência em relação ao movimento do ar?	Maior movimento do ar	+1
		Não mudar	0
		Menor movimento do ar	-1
F	Nesse momento, você considera este ambiente:	Confortável	0
		Desconfortável	+1

As questões da parte 5 nada mais são do que uma reflexão sobre possíveis ações tomadas pelos estudantes durante o estudo, devendo ser respondidas ao final dele. A primeira, sobre ausências da sala de aula durante o estudo, tem como objetivo monitorar possíveis alterações de

metabolismo que possam inviabilizar a inclusão dos votos proferidos por determinado usuário no banco de dados final. A segunda é uma complementação ao estudo que se propõe a utilizar a abordagem adaptativa. Nessa questão, pesquisam-se as principais ações tomadas pelos estudantes, dentro das possibilidades oferecidas pela estrutura do curso, a fim de melhorar a condição do ambiente térmico ou contornar possíveis desconfortos pessoais (ver Tabela 7).

Tabela 7 – Detalhamento das questões pertencentes à Parte 5

Enunciado	Opções de resposta
Você esteve ausente da sala por um período superior a 5 minutos?	Sim (Quantas vezes?) Não
Caso você tenha promovido alguma (ou mais de uma) das ações abaixo no período de aula, <u>buscando melhores condições de conforto térmico dentro da sala</u> , por favor, assinale:	Mexi no aparelho ar-condicionado; Operei ventiladores e/ou janelas; Mudei de carteira para mais próximo/distante de janelas/ventiladores/ar condicionado; Movimentei meu corpo visando me aquecer ou me resfriar; Utilizei leques, lenços, prendedores de cabelo ou outros acessórios do gênero; Modifiquei/acrescentei/tirei alguma peça de vestimenta (ex.: coloquei um moletom); Ingeri bebidas quentes/frias/neutras.

3.4.3 Protocolo de medição e aplicação de questionário

Os procedimentos práticos a serem adotados ao longo dos estudos de campo seguem as recomendações contidas no PMP (2010), na ISO 7726 (1998) e em Lamberts et al. (2013) – proposta de norma brasileira intitulada “Parâmetros de conforto térmico”, que por sua vez tem como base a ASHRAE *Standard* 55 (2013). Tais procedimentos foram experimentados durante o estudo piloto e, a partir de então, consolidados como parte do método da pesquisa.

3.4.3.1 Protocolo de medição

A pesquisa de conforto térmico desenvolvida neste estudo pode ser classificada como de “nível intermediário”, segundo o PMP (2010) da ASHRAE, em função da acuracidade de investigação das variáveis dentro de um dado ambiente. De acordo com Cândido et al. (2008), estudos de campo pertencentes à Classe 2 envolvem o registro de

variáveis ambientais para apenas uma altura de medição e são importantes para a composição de bancos de dados de conforto térmico em diversas localidades e estações. Neste caso, a altura de referência adotada foi de 0,6 m do piso, indicada para medições representativas de pessoas sentadas; portanto, o tripé da estação SENSU foi posicionado de tal forma que os sensores estivessem a essa altura.

A locação do tripé nas salas obedeceu ao critério de, no mínimo, 1 metro de distância do globo negro para as superfícies vizinhas (paredes, esquadrias, mobiliário etc.). Nas salas naturalmente ventiladas, as quais possuem pranchetas tamanho A1 (60 x 80 cm) ao invés de mesas, procurou-se locá-lo no lugar correspondente a uma das pranchetas mais centrais em relação ao agrupamento dos estudantes, fazendo-se necessário o deslocamento do mobiliário. Na sala condicionada, houve maior dificuldade para a locação devido às menores dimensões dos ambientes e à grande quantidade de mobiliário em aglomeração (nestas salas, as carteiras estão muito próximas entre si); procurou-se posicioná-lo longe do agrupamento de alunos por segurança nos deslocamentos, e fora da direção do ar condicionado.

Uma particularidade da pesquisa diz respeito à medição pontual da velocidade do ar, efetuada por meio do termo anemômetro AIRFLOW. Nos ambientes naturalmente ventilados, nos quais o efeito da velocidade do ar sobre o corpo é bem-vindo – lembrando que se trata de um clima quente e úmido –, o efeito da ventilação é mais significativo sobre a pele descoberta (face, colo, nuca, braços e, em alguns casos, pés e pernas), por facilitar a troca de calor. Na pesquisa de Huang et al. (2013), por exemplo, a velocidade do ar foi coletada em torno da face dos usuários. Nas salas de aula, o mobiliário existente tende a dificultar a passagem do fluxo de ar a uma altura de 0,6 m do piso, motivo pelo qual optou-se por efetuar a medição pontual de V_{ar} à altura da face, colo ou nuca dos estudantes (Figura 23).

Figura 23 – Exemplo de medição pontual da velocidade do ar



Conforme recomendado por Cândido et al. (2008), a medição feita por equipamentos unidirecionais deve ter o auxílio de sinalizadores de fumaça ou similares (conhecidos como “*smoke sticks*” ou incensos, analogamente) para a visualização da direção predominante do fluxo de ar pelo ambiente (Figura 24). Neste trabalho, foi feita a experiência com os incensos em todas as salas naturalmente ventiladas, em horários não ocupados, e assumiu-se que o comportamento da distribuição do ar seria predominantemente aquele observado. Em ambientes com ar condicionado, não foi possível fazer essa visualização devido ao odor gerado pelos incensos e o fato de estas salas serem precariamente ventiladas (má renovação do ar) quando os equipamentos condicionadores se encontram desligados.

Para o registro do deslocamento do ar, foram feitos fotos e vídeos, sendo que estes se mostraram mais eficazes para a visualização da fumaça – quanto menor o odor liberado pelo incenso, menor a intensidade da fumaça, o que também dificultou a obtenção de uma fumaça de maior qualidade. De posse destes registros, foi possível seguir os estudos conhecendo-se as direções de ventilação natural predominantes em cada ambiente, para então posicionar o sensor do termo anemômetro perpendicularmente a elas.

Figura 24 – Exemplo de procedimento experimental com incensos



3.4.3.2 Logística de organização dos estudos de campo

Pode-se afirmar que todo o planejamento dos estudos ocorreu conforme o funcionamento do Curso de Arquitetura, no qual estão compreendidos o calendário acadêmico, as datas e horários de aulas, a estrutura do prédio, os tipos de atividades desenvolvidas em sala, a disponibilidade dos professores e alunos em dispender atenção à pesquisa etc. Dentro das possibilidades, buscou-se conciliar esses aspectos às metas de estudos e público a serem alcançados, além dos objetivos propostos no trabalho.

Dada a existência de salas de aula (ou ambientes utilizados para tal função) naturalmente ventiladas – com o auxílio de ventiladores de parede – e climatizadas, decidiu-se investigar as condições térmicas proporcionadas por ambos os modos de condicionamento, com ênfase (maior amostragem) em naturalmente ventilado devido à proposta de pesquisa sobre as condições térmicas nesses ambientes. Ciente da existência de duas estações climáticas distintas em São Luís (quente úmida, compreendida entre janeiro e junho; e quente seca, entre julho e dezembro – ver Figura 13 com dados de normais climatológicas), obteve-se os dados de variáveis ambientais e de votos de percepção térmica para ambas as estações.

Prezando pela melhor fluência do trabalho de campo, bem como pela qualidade dos resultados, foram observados os seguintes aspectos:

- a) Todas as turmas que correspondem aos períodos de 1 a 9 participaram do estudo pelo menos uma vez, de maneira a ampliar a amostra participante. As repetições com as mesmas turmas respeitaram um intervalo de pelo menos sete dias entre estudos – conforme recomendações do PMP (2010) –, de modo a não saturar e não comprometer a voluntariedade dos estudantes participantes;
- b) As aulas selecionadas para os estudos de campo foram prioritariamente do tipo expositivas, com os alunos sentados durante a pesquisa. Aulas do tipo ateliers de projeto, seminários e extraclasse foram excluídas do leque de possibilidades de aplicação. Tal medida visou manter a taxa metabólica dos estudantes a mais estável possível;
- c) Ainda em relação à taxa metabólica, buscou-se evitar os horários de aula logo após o período de almoço (das 13h30min às 15h10min), nos quais o deslocamento e o próprio processo digestivo podem exercer alguma alteração relevante;
- d) A maioria dos estudos ocorreu ao longo do período vespertino/início do noturno, uma vez que a grade do curso ainda se desenha dessa maneira. No entanto, a tendência é a integralização do curso, com a transferência de algumas das aulas para a manhã. Dessa forma, foi possível avaliar o ambiente térmico das salas também pela manhã, mesmo em menor número de estudos;
- e) A maioria dos estudos ocorreu em ambientes naturalmente ventilados, em coerência com a existência de maior quantidade desses ambientes na escola. Dessa forma, a amostra pesquisada em ventilação natural – com ou sem o auxílio de ventiladores, a depender do comportamento dos estudantes e do funcionamento daqueles – foi maior do que a pesquisada em ambientes com ar-condicionado.

Uma vez observadas essas condições, os estudos foram previamente combinados com os professores e realizados ao longo dos meses de março, abril, setembro e outubro de 2017, cumprindo as duas etapas de medições. O protocolo de execução foi testado durante o estudo piloto (última semana de março) e consolidado como método, sendo apresentado de forma resumida na Figura 25.

Figura 25 – Protocolo de execução de estudo de campo

		CHEGADA À EDIFICAÇÃO
0 min	PROCEDIMENTOS INICIAIS <ul style="list-style-type: none"> - Abertura da sala; - Organização das carteiras / cadeiras conforme mapa; - Montagem e locação da estação SENSU; - Acionamento da SENSU (estabilização dos sensores) e início da gravação dos dados; - Fotos; - Preenchimento do diário de experimento de campo. 	
30 min		CHEGADA DO PROFESSOR E DOS ALUNOS
	EXPERIMENTO - PARTE INICIAL <ul style="list-style-type: none"> - Estabilização do metabolismo dos alunos; - Explicação do experimento e do questionário aos alunos; - Medições pontuais de velocidade do ar com termoanemômetro AIRFLOW; - Sinalização visual com papel para resposta ao voto 1. 	
50 min		MOMENTO DO VOTO 1
	<ul style="list-style-type: none"> - Tempo entre respostas dos votos; - Medições com AIRFLOW (nos 10 minutos que antecedem o voto seguinte); - Sinalização visual com papel para resposta ao voto 2. 	
70 min		MOMENTO DO VOTO 2
	<ul style="list-style-type: none"> - Tempo entre respostas dos votos; - Medições com AIRFLOW (nos 10 minutos que antecedem o voto seguinte); - Sinalização visual com papel para resposta ao voto 3. 	
90 min		MOMENTO DO VOTO 3
	<ul style="list-style-type: none"> - Tempo entre respostas dos votos; - Medições com AIRFLOW (nos 10 minutos que antecedem o voto seguinte); - Sinalização visual com papel para resposta ao voto 4. 	
110 min		MOMENTO DO VOTO 4
	EXPERIMENTO - PARTE FINAL <ul style="list-style-type: none"> - Término do preenchimento dos questionários; - Finalização da gravação do SENSU; - Recolhimento dos questionários e da numeração; - Desligamento / desmontagem / armazenamento dos equipamentos. 	
130 min		SAÍDA DA EDIFICAÇÃO OU INÍCIO DE EXPERIMENTO (PROCEDIMENTOS A PARTIR DE: PARTE INICIAL)

3.5 TRATAMENTO E ANÁLISE DE DADOS

3.5.1 Construção da planilha de dados

Os dados de variáveis ambientais coletados pelos equipamentos de medição, bem como as informações obtidas por meio dos questionários aplicados aos estudantes e por meio do portal INMET, foram transcritos para o meio digital e organizados no formato de planilhas. Utilizou-se como base a planilha modelo¹ do projeto Base Brasileira de Dados (CÂNDIDO et al., 2008), a qual foi acrescida de algumas informações importantes a este estudo (Tabela 8). Nesta planilha, cada linha corresponde a um conjunto de votos (das questões de “A” a “F” do questionário) em um dos quatro momentos de participação no estudo.

Tabela 8 – Informações contidas na planilha utilizada neste estudo

Informação da planilha	Origem info	Detalhamento
Metabolismo (taxa metabólica – met)	Questionário (calculada)	Com base no Apêndice A Lamberts et al. (2013)
Vestimenta (Isolamento – clo)	Questionário (calculado)	Com base no Apêndice B Lamberts et al. (2013)
Sensação térmica	Questionário	
Preferência térmica	Questionário	
Aceitabilidade térmica	Questionário	
Aceitab. movimento do ar	Questionário	
Prefer. movimento do ar	Questionário	
Conforto térmico	Questionário	
Condicionamento anterior	Questionário	
Condicionamento atual	Questionário	
Condicionamento prefer.	Questionário	
Usa ar condicionado (AC)?	Questionário	
AC: h/dia em média	Questionário	
Opção adaptação	Constatação in loco	
Tar (°C) – interna	SENSU	
Tglobo (°C)	SENSU	
UR (%) – interna	SENSU	

¹ Disponível em <<http://www.labeee.ufsc.br/projetos/base-brasileira-dados-em-conforto-termico>>. Acesso em 11 jun. 2017.

V_{ar} (m/s) – interna	AIRFLOW	
T rad média (T_{rm}) (°C)	Calculada	Ver 3.5.1.1
T operativa (T_{op}) (°C)	Calculada	Ver 3.5.1.2
Top inferior (°C)	Linguagem R ²	Ver 3.5.1.3
Top superior (°C)	Linguagem R	Ver 3.5.1.3
SET (°C)	Linguagem R	Ver 3.5.1.3
DR (Draft Risk) (%)	Calculado	
PMV	Linguagem R	Ver 3.5.1.3
PPD	Linguagem R	Ver 3.5.1.3
Tar (°C) – externa	INMET	
UR (°C) – externa	INMET	
V_{ar} (m/s) – externa	INMET	
Tmpe (°C)	Calculada	Ver 3.5.1.4

Na prática, a planilha utilizada neste estudo relaciona os dados de variáveis ambientais aos votos de percepção térmica para cada voto proferido por cada estudante. Algumas das variáveis ambientais são denominadas variáveis derivadas, por serem obtidas a partir dos valores das variáveis medidas (T_{ar} , T_{globo} , UR e V_{ar}): são os casos da temperatura radiante média (T_{rm}), temperatura operativa média (T_{op}) e do risco de desconforto por correntes de ar (DR, em porcentagem) – este último não foi utilizado nas análises para os resultados. As variáveis calculadas correspondem à altura de medição de 0,6 m, adotada nesta pesquisa. Para complementar a análise do conforto térmico por parte dos estudantes, foram obtidos os índices de conforto térmico PMV, PPD e SET, conforme sub-item 3.5.1.3.

3.5.1.1 Cálculo da temperatura radiante média (T_{rm})

Temperatura radiante média é um valor numérico de temperatura uniforme que representa a troca de radiação térmica entre um ambiente real, considerando todas as suas superfícies, e uma pessoa inserida neste ambiente. Geralmente, o valor é calculado com base em uma medição de temperatura feita no interior de um corpo negro uniforme, o qual trocaria com o usuário a mesma quantidade de radiação térmica que seria trocada por um ambiente real. Sendo assim, a temperatura de globo

²R é uma linguagem de programação e um ambiente integrado que permite a execução de funções, cálculos e testes estatísticos, além da elaboração de gráficos. Seus recursos podem ser acessados por meio de uma interface (no caso deste trabalho, o *Rstudio*), e o uso é gratuito.

(T_{globo}) obtida pela estação microclimática SENSU foi utilizada no cálculo da temperatura radiante média (T_{rm}). O globo utilizado possui superfície negra para absorção de radiação das superfícies vizinhas e 15 centímetros de diâmetro.

Uma vez que T_{rm} deve representar a porção de trocas térmicas por radiação, é recomendável reduzir os efeitos de convecção (relacionados à velocidade do ar) que podem alterar o seu valor numérico; portanto, além de precauções relacionadas à localização do equipamento de medição, é necessário determinar os coeficientes de convecção natural e forçada que se apresentam nas situações em função dos valores de velocidade do ar registrados (coeficiente de troca de calor por convecção). Os cálculos dos coeficientes estão transcritos nas equações (1 (convecção natural) e (2 (convecção forçada).

$$hcg = 1,4 \sqrt[4]{\frac{\Delta T}{D}} \quad (1)$$

$$hcg = 6,3 \cdot \frac{V^{0,6}}{D^{0,4}} \quad (2)$$

Onde:

hcg: coeficiente de troca de calor por convecção do globo;

ΔT : diferença de temperatura ($T_{\text{globo}} - T_{\text{ar}}$) - °C;

D: diâmetro do globo (normalmente 15 cm);

V: velocidade do ar (m/s).

Uma vez determinados os coeficientes de convecção natural e forçada, deve-se adotar o maior valor numérico entre eles e então aplicar a respectiva equação para o cálculo da temperatura radiante média (T_{rm} - °C), de acordo com as (3 (convecção natural) e (4 (convecção forçada). Vale ressaltar que os fenômenos relacionados às trocas de calor por convecção ganham maior importância neste estudo devido aos valores bastante variáveis de velocidade do ar (0,05 a 2 m/s) coletados ao longo dos estudos, especialmente em ambientes naturalmente ventilados com o auxílio de ventilação mecânica.

$$T_{\text{rm}} = \sqrt[4]{(tg + 273)^4 + (0,4 \cdot 10^8) \cdot \sqrt[4]{|tg - ta|} \cdot (tg - ta)} - 273 \quad (3)$$

$$Trm = \sqrt[4]{(tg + 273)^4 + (2,5 \cdot 10^8) \cdot V^{0,6} \cdot (tg - ta)} - 273 \quad (4)$$

Onde:

Trm: temperatura radiante média - °C;

tg: temperatura de globo (Tglobo) - °C;

ta: temperatura do ar (Tar) - °C;

V: velocidade do ar (m/s).

3.5.1.2 Cálculo da temperatura operativa média (T_{op})

A temperatura operativa média pode ser descrita como o valor de temperatura que representa os efeitos combinados das trocas de calor por radiação e por convecção, em um determinado ambiente térmico. Portanto, seu cálculo envolve a aplicação dos valores de T_{ar} , T_{rm} e V_{ar} , conforme a (5, disponível em Lamberts et al. (2013). Percebe-se que seu resultado é uma ponderação dos valores de T_a e T_{rm} , em função da velocidade do ar registrada; quanto maior ela for, maior será o efeito da convecção e, conseqüentemente, menor o efeito da radiação (ver Tabela 9).

$$Top = A \cdot Ta + (1 - A) \cdot Trm \quad (5)$$

Onde:

A: coeficiente a ser determinado de acordo com a Tabela 9

Top: é a temperatura operativa (Top) - °C;

Ta: é a temperatura do ar (Tar) - °C;

Trm: é a temperatura radiante média - °C.

Tabela 9 – Determinação do coeficiente A de acordo com a velocidade do ar

v_r	< 0,2 m/s	0,2 até 0,6 m/s	0,6 até 1,0 m/s
A	0,5	0,6	0,7

3.5.1.3 Obtenção dos índices de conforto térmico

Os índices de conforto térmico foram obtidos a partir dos *scripts* em linguagem R criados por Silva et al. (2016), com base nos métodos da ASHRAE *Standard 55* (2013). O *script* utilizado neste trabalho foi “f(x) Comfort vectorized operations.R”, que é um *script* para pacotes de dados (grande volume de dados). Ao se utilizar essa função, são obtidos os seguintes índices: PMV (*predicted mean vote*, ou voto médio predito), PPD (*predicted percentage of dissatisfied*, ou porcentagem

predita de insatisfeitos), SET (*standard effective temperature*, ou temperatura efetiva padrão) e TO *limits* (limite superior e inferior de temperatura operativa). É necessário elaborar uma planilha de extensão *.csv com alguns dados de entrada – correspondentes às variáveis ambientais e derivadas –, para que se obtenha um novo arquivo *.csv com os dados de saída (Tabela 10).

Tabela 10 – Descrição dos dados de entrada e saída no *Rstudio*

Dado de entrada	Observações	Dado de saída	Observações
CLO (clo)	Isol. da vestimenta	PMV	Cálculo conforme Apêndice Normativo B da ASHRAE <i>Standard 55</i> (2013).
MET (met)	Taxa metabólica	PPD (%)	
WME (met)	Trabalho mecânico externo	SET (°C)	Cálculo conforme Apêndice Informativo G da ASHRAE <i>Standard 55</i> (2013).
TA (°C)	Temperatura do ar	TO inferior (°C)	Limite inferior para PMV = -0,5
TR (°C)	Temp. rad. média	TO superior (°C)	Limite superior para PMV = +0,5
VEL (m/s)	Velocidade do ar		
RH (%)	Umidade relativa		
PA (kPa)	Pressão atmosférica		

A variável de entrada WME (*mechanical work* ou trabalho mecânico externo) teve o seu valor fixado em 0. No cálculo do índice SET, já é computado o valor de pressão atmosférica (PA) correspondente ao nível do mar (101,325 kPa). Portanto, o dado de entrada a ser colocado no campo PA é, na realidade, um delta de pressão atmosférica em relação ao nível do mar. Considerando a localização insular de São Luís, o valor de PA foi fixado em 0.

Os arquivos *.csv foram originados a partir da junção dos dados das planilhas previamente elaboradas – uma planilha para cada estudo. Portanto, cada voto dos participantes da pesquisa possui um conjunto de variáveis ambientais, pessoais, derivadas e índices de conforto térmico correspondentes. Neste trabalho, os dados de TO *limits* não foram explorados, mas estão inclusos nos dados de saída do *script*.

3.5.1.4 Cálculo da temperatura média predominante externa (T_{mpe})

A T_{mpe} será utilizada na avaliação do ambiente térmico pelo método designado para ambientes naturalmente ventilados, presente na ASHRAE *Standard* 55 (2013). Segundo essa norma, a T_{mpe} pode ser calculada tanto por métodos lineares (média aritmética simples das temperaturas externas médias diárias) quanto exponenciais (denominado *running mean*, no qual há uma ponderação de temperaturas médias externas diárias em função da distância para o dia do estudo), sendo que, necessariamente, deve levar em consideração as temperaturas médias externas entre sete e trinta dias antecedentes ao dia do estudo.

Em trabalho publicado por De Vecchi et al. (2015), sugere-se que a opção por utilizar cada um dos métodos pode decorrer da característica de amplitude térmica ao longo dos dias. Ou seja, em localidades que possuam significativa variação de temperaturas externas dentre um conjunto de dias consecutivos, a adoção do método exponencial mostrou-se mais adequada à avaliação da aceitabilidade térmica. No entanto, em se tratando de uma localidade com pouca amplitude dia-a-dia, como é o caso de São Luís, ambos os métodos oferecem resultados similares. Dessa forma, optou-se por determinar a T_{mpe} pelo método linear, considerando os sete dias anteriores à realização do estudo.

A planilha digital disponibilizada *online* pelo INMET contém, dentre outros, os dados de temperatura do ar (bulbo seco) máxima e mínima registradas hora a hora. Os valores de temperatura foram reorganizados de forma a se obter, para cada um dos sete dias anteriores à data da realização de um estudo, a média aritmética dos valores máximos e dos valores mínimos. Desses dois valores, foi extraída uma nova média aritmética, assumida como a temperatura média externa diária. De posse dos sete valores, fez-se uma nova média aritmética simples, obtendo a temperatura média predominante externa correspondente a um estudo de campo realizado em um dia X. Na Tabela 11, pode-se ver o processo de cálculo pelo método linear, para o dia 28/03/2017.

Ao longo da segunda etapa de pesquisas de campo (ocorrida entre os meses de setembro e outubro de 2017), alguns dados de temperaturas externas estiveram indisponíveis por motivo de problema na bateria dos sensores de medição. Os dados indisponíveis correspondem, em sua maioria, aos períodos noturno, madrugada e início da manhã (das 20h da noite às 7h do dia seguinte). Considerando a característica do clima local quanto à variação diária da temperatura, procedeu-se a uma análise

dos valores de temperatura disponíveis, hora a hora, de modo a preencher as lacunas com as médias horárias típicas do período noturno/madrugada na estação seca. O resultado foi considerado satisfatório e adotado para esta pesquisa, uma vez que o desvio padrão relativo às médias horárias variou entre 0,2 e 0,5 °C (ver Apêndice D).

Tabela 11 – Determinação de T_{mpe} (°C) pelo método linear (24h)

Determinação de T_{mpe} (°C) - método linear - dia 28/03				
Dia	Denom.	$T_{máx}$ (24h)	$T_{mín}$ (24h)	$T_{méd}$ (24h)
21-Mar	od-7	26,3	25,6	26,0
22-Mar	od-6	25,6	25,1	25,4
23-Mar	od-5	25,8	25,2	25,5
24-Mar	od-4	25,5	24,8	25,2
25-Mar	od-3	25,8	25,0	25,4
26-Mar	od-2	25,3	24,5	24,9
27-Mar	od-1	25,6	24,9	25,2
			Calculado	25,4

Fonte: adaptado de INMET (2017)

3.5.2 Análise de dados

A apresentação dos resultados se inicia com a caracterização dos ocupantes (estudantes que compuseram a amostra do estudo), a caracterização geral das variáveis ambientais internas (medidas nas salas de aula pesquisadas) e externas, e a caracterização dos votos obtidos em cada estação e em cada modo de condicionamento (sub-item 4.1).

Além da estatística descritiva adotada no resumo das principais informações coletadas – variáveis ambientais e pessoais –, testes de hipótese foram utilizados para tirar conclusões acerca da influência dos parâmetros abordados neste trabalho (variáveis ambientais internas, exposição ou não ao ar condicionado). Os testes foram aplicados no *Rstudio*, e o nível de significância adotado foi de 5% (0,05) em todo o trabalho (Tabela 12).

Tabela 12 – Resumo dos testes de hipótese aplicados (continua...)

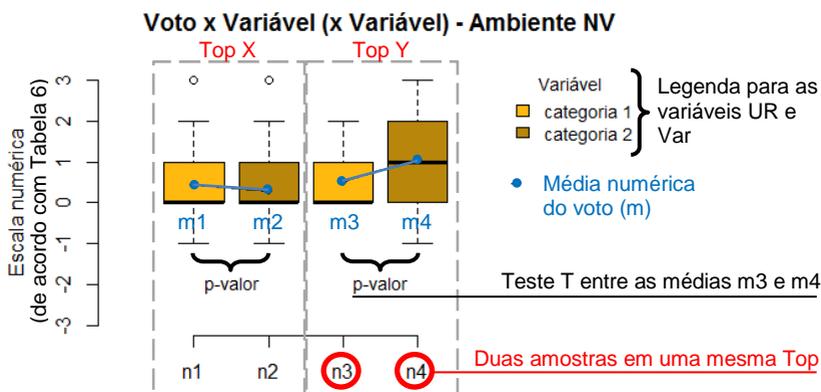
Denominação teste	Comando R	Hipótese nula (p-valor > 0,05)	Hipótese alternativa (p-valor < 0,05)
Teste T de Welch para médias não associadas	t.test()	A diferença entre as médias comparadas não é estatisticamente	A diferença entre as médias comparadas é estatisticamente significativa*

		significativa	
Teste de qui quadrado para independência de variáveis (qui qua)	chisq.test()	As variáveis não estão associadas (são independentes)	As variáveis estão associadas (são dependentes)*
Teste de Shapiro-Wilk para normalidade de resíduos	shapiro.test()	A amostra provém de uma população normal**	A amostra não provém de uma população normal
Teste de Durbin-watson para independência de resíduos	require(lmtest) dwtest()	Os resíduos são independentes (não existe correlação)**	Os resíduos são dependentes
Teste de Breusch-Pagan para distribuição homogênea de variâncias	library(car) ncvTest()	As variâncias dos erros são iguais (homoscedasticidade)**	As variâncias dos erros são uma função multiplicativa de uma ou mais variáveis
<p>* Indica a influência do parâmetro analisado sobre a percepção térmica ** Pré-requisitos para validação de uma regressão linear. Neste trabalho, foram utilizados nas regressões lineares entre variáveis ambientais/índices de conforto e valores numéricos de votos de percepção térmica.</p>			

Após as caracterizações gerais, é abordada a percepção térmica dos estudantes (votos de “A” a “F”, no questionário) em função das variáveis ambientais internas – T_{op} , UR e V_{ar} – encontradas nos ambientes naturalmente ventilados do curso. Para tanto, os valores de T_{op} , UR e V_{ar} foram categorizados e os votos referentes a cada uma das categorias, analisados (sub-item 4.2.1). O teste T de welch foi adotado para a comparação das médias numéricas de votos correspondentes a duas amostras diferentes, conforme é ilustrado na Figura 26.

Ainda sobre a percepção em ambientes naturalmente ventilados, foram abordadas a influência da exposição ao ar condicionado sobre as respostas dos estudantes (sub-item 4.2.2 Influência da exposição ao ar condicionado) e a temperatura neutra da amostra pesquisada (sub-item 4.2.3). Em relação à exposição ao ar condicionado, foram aplicados os testes T de Welch e qui quadrado.

Figura 26 – Representação gráfica dos resultados no sub-item 4.2.1



Dos métodos de avaliação do ambiente térmico presentes na *ASHRAE Standard 55* (2013), um é específico para ambientes naturalmente ventilados – nos quais não haja sistemas de resfriamento ou aquecimento instalados –, proveniente de estudos sobre a abordagem adaptativa (também conhecido como modelo adaptativo de conforto térmico). Esse método foi aplicado utilizando-se os dados referentes aos estudos de campo realizados nas salas de aula naturalmente ventiladas, observando-se os limites normativos para aplicação (Tabela 13) e discutindo sua aplicabilidade no contexto do clima quente e úmido de São Luís. Além disso, apresentou-se a categorização das ações tomadas pelos estudantes nesses ambientes, em busca de melhores condições de conforto térmico. Tal análise é apresentada no sub-item 4.3.

Tabela 13 – Resumo do método para ambientes naturalmente ventilados

<i>Denominação Método</i> <i>ASHRAE Standard 55</i>	<i>Denominação Método</i> <i>Lamberts et al.</i>	<i>Limites normativos de aplicabilidade</i>
Determinando as condições térmicas aceitáveis em ambientes naturalmente ventilados controlados pelos usuários	Método para definição de condições térmicas aceitáveis em ambientes naturalmente ventilados controlados pelos usuários	T_{mpe} : 10 – 33,5 °C Vel: sem limite Met: 1,0 – 3,0 met Clo: 0,5 – 1,0 clo

Considerando o contexto climático estudado, assume-se que o movimento do ar em ambientes naturalmente ventilados seja fundamental à maior aceitação e ao maior conforto térmico dos usuários. Estudos como o de Cândido et al. (2010) demonstraram a preferência de estudantes por movimento do ar em grande intensidade (valores de V_{ar} acima de 0,80 m/s) nesses ambientes. Assim sendo, os limites superiores de T_{op} aceitável – acrescidos conforme aumenta o valor de velocidade do ar – segundo o modelo adaptativo foram testados neste trabalho (Tabela 14).

Tabela 14 – Acréscimo no limite superior de T_{op} conforme o aumento de V_{ar} interna

V_{ar} até 0,6 m/s	V_{ar} até 0,9 m/s	V_{ar} até 1,2 m/s
1,2 °C	1,8 °C	2,2 °C

Fonte: Lamberts et al. (2013)

Por fim, os dados provenientes de estudos de campo realizados em ambientes climatizados foram analisados no sub-item 4.4, concluindo o capítulo de resultados e discussão. Apesar do enfoque deste estudo ser a análise em ambientes naturalmente ventilados, julgou-se importante conhecer as condições térmicas e as respectivas respostas dos estudantes quando em outro modo de climatização. No entanto, a análise da aplicabilidade dos métodos de avaliação do ambiente térmico ficou restrita aos ambientes naturalmente ventilados, nesta pesquisa.

Em ambientes climatizados, as respostas foram analisadas em função das variáveis ambientais internas e dos índices de conforto térmico. No prosseguimento do estudo, foram delineadas as condições de aceitabilidade e conforto térmicos em função da temperatura do ar interno (T_{ar}), investigou-se a influência da exposição ao ar condicionado e categorizaram-se as ações tomadas pelos estudantes em busca de melhores condições de conforto térmico nas salas de aula.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL

4.1.1 Caracterização dos estudantes

Ao longo da pesquisa de campo realizada entre os períodos de março/abril e setembro/outubro de 2017, foram computadas 782 participações (questionários), conforme a Tabela 15. As siglas NV e AC representam, respectivamente, os ambientes naturalmente ventilados e com ar condicionado ativo.

Tabela 15 – Quantitativo de participações na pesquisa de campo

<i>Est. chuvosa</i>	<i>n</i>	<i>Est. seca</i>	<i>n</i>	<i>Condic.</i>	<i>n</i>
Março - NV	323	Setembro - NV	145	Total NV	468
Março - AC	124	Setembro - AC	190	Total AC	314
Total Março	447	Total Setembro	335	Total Ano	782

A Tabela 16 resume os dados de média, maior valor, menor valor e desvio padrão para os parâmetros de idade, peso, altura, taxa metabólica e isolamento da vestimenta apresentados pela amostra pesquisada.

Tabela 16 – Estatística descritiva da amostra total pesquisada

	Idade (anos)	Peso (kg)	Altura (m)	Taxa metab. (met)	Isol. vestim. (clo)
Média	21	61	1,67	1,0	0,41
Mediana	20	58	1,65	1,0	0,42
Desvio padrão	3	12	0,08	0,0	0,11
Mínimo	16	38	1,50	1,0	0,24
Máximo	42	116	1,95	1,1	0,96
*Contagem	781	762	770	775	782

*Os valores de contagem para cada parâmetro foram diferentes devido ao não preenchimento de algumas das questões.

É importante ressaltar que o número de estudantes que participou da pesquisa é desconhecido e menor do que o número de participações computadas (questionários), uma vez que a maioria dos estudantes participou da pesquisa em mais de uma ocasião, e os alunos não foram identificados individualmente pelo nome.

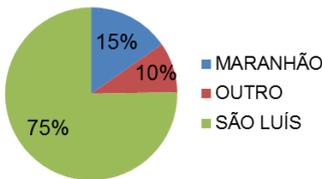
Foram preenchidos 856 questionários ao longo das duas campanhas de aplicação da pesquisa. No entanto, foram descartados os questionários de estudantes que se declararam enfermos (resfriados, gripes e estados febris) ou que tiveram seu metabolismo alterado no decorrer do estudo de campo, a exemplo de estudantes que se ausentaram da sala ou ficaram de pé para eventuais atividades de seminário. No total, foram 74 questionários descartados, o que representou 8% das participações totais.

Das 782 participações válidas, 562 (72%) foram do sexo feminino, e 220 (28%), do sexo masculino. Chama a atenção o valor de isolamento de vestimenta (média de 0,41 clo e mínimo de 0,24 clo), uma vez que os principais trajes utilizados pelos estudantes são roupas leves e curtas – blusas de manga curta ou sem manga, shorts ou bermudas e sapatos abertos.

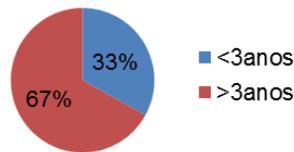
A naturalidade dos pesquisados está representada quantitativamente na Figura 27. Em verde, estão representados os nascidos na cidade de São Luís; em azul, os nascidos no interior do estado do Maranhão; em vermelho, os estudantes naturais de outras localidades (figura à esquerda).

Figura 27 – Caracterização da naturalidade da amostra total pesquisada

Distribuição da população por naturalidade (n=765)



Distribuição - Anos morando em São Luís (n=188)



Quanto à naturalidade dos estudantes, apenas 25% declararam que não nasceram em São Luís e região metropolitana. Destes, a maioria (67%) reside na localidade de pesquisa há mais de 3 anos (Figura 27), levando a crer que grande parte dos pesquisados já esteja habituada às condições climáticas – internas e externas – estudadas. Logo, supõe-se

que a naturalidade não será, no contexto desse trabalho, uma variável a impactar significativamente nas respostas de percepção térmica.

4.1.2 Quantitativo dos votos proferidos pelos estudantes

Ao longo de toda a pesquisa de campo, foram validados 2680 votos de percepção térmica (Tabela 17). Cada conjunto de respostas às questões de A a F no questionário aplicado (sensação térmica, preferência térmica, aceitabilidade térmica, aceitabilidade de movimento do ar, preferência por movimento do ar e conforto térmico) em um dado momento corresponde a um voto.

Tabela 17 – Quantitativo de votos válidos para a pesquisa de campo

<i>Est. chuvosa</i>	<i>n</i>	<i>Est. seca</i>	<i>n</i>	<i>Condic.</i>	<i>n</i>
Março - NV	1096	Setembro - NV	554	Total NV	1650
Março - AC	418	Setembro - AC	612	Total AC	1030
Total Março	1514	Total Setembro	1166	Total Ano	2680

Para a contabilização dos totais de votos válidos, foram excluídos os votos respondidos antes ou após o momento solicitado pela pesquisadora, além dos votos considerados incoerentes devido a prováveis desatenções durante o preenchimento do questionário. Por exemplo, quando houve o voto de ambiente térmico “inaceitável” e “confortável” no mesmo momento, foi considerado uma incoerência na resposta. Foram descartados 170 votos dos 2850 contidos nos questionários selecionados, representando um descarte de 6%.

4.1.3 Caracterização de variáveis ambientais

A estatística descritiva referente às variáveis ambientais coletadas nas salas de aula está resumida por modo de condicionamento (ambiente naturalmente ventilado - Tabela 18 e ambiente com ar condicionado ativo - Tabela 19) e por estação (mar – março e set – setembro). As variáveis internas em questão são: temperatura do ar (T_{ar}), umidade relativa do ar (UR), velocidade do ar (V_{ar}), temperatura radiante média (T_{rm}) e temperatura operativa (T_{op}).

A descrição de variáveis ambientais externas também está resumida por estação (Tabela 20). As variáveis externas em questão são: temperatura do ar ($T_{ar e}$), umidade relativa do ar (UR_e), velocidade do ar ($V_{ar e}$) e temperatura média predominante externa (T_{mpe}). As medidas

apresentadas são: média, mediana, menor valor, maior valor e desvio padrão amostral (DPA), para cada variável ao longo de cada estação pesquisada.

Tabela 18 – Estatística descritiva de variáveis ambientais (internas) em ambiente naturalmente ventilado

	T _{ar} (°C)		UR (%)		V _{ar} (m/s)		T _{rm} (°C)		T _{op} (°C)	
	Mar	Set	Mar	Set	Mar	Set	Mar	Set	Mar	Set
<i>Média</i>	29,2	30,8	78	64	0,22	0,37	29,0	30,8	29,1	30,8
<i>Mediana</i>	29,4	30,8	78	65	0,10	0,25	29,3	30,8	29,3	30,8
<i>DPA(+/-)</i>	1,0	0,4	4	2	0,29	0,42	0,8	0,6	0,9	0,5
<i>Menor</i>	26,9	29,9	64	60	0,05	0,10	27,4	29,3	27,3	29,9
<i>Maior</i>	31,1	31,6	88	67	2,50	2,60	30,6	32,2	30,8	31,6

Conforme esperado, a caracterização dos ambientes internos naturalmente ventilados (Tabela 18) seguiu o regime sazonal verificado em São Luís. Nos meses de março e abril (estação chuvosa), houve maior amplitude nas temperaturas e na umidade relativa, em relação aos meses de setembro e outubro (estação seca). As principais diferenças entre ambos são a menor temperatura do ar e a maior umidade relativa do ar na estação chuvosa.

Tabela 19 – Estatística descritiva de variáveis ambientais em ambiente com ar condicionado ativo

	T _{ar} (°C)		UR (%)		V _{ar} (m/s)		T _{rm} (°C)		T _{op} (°C)	
	Mar	Set	Mar	Set	Mar	Set	Mar	Set	Mar	Set
<i>Média</i>	22,3	24,6	60	59	0,13	0,21	24,3	26,6	23,2	25,5
<i>Mediana</i>	22,5	24,5	56	59	0,05	0,15	24,0	26,4	23,2	25,8
<i>DPA(+/-)</i>	0,8	1,7	10	4	0,16	0,17	0,8	1,8	0,5	1,5
<i>Menor</i>	21,0	21,9	45	51	0,05	0,05	23,2	23,9	22,1	23,1
<i>Maior</i>	23,5	27,3	73	65	0,70	1,00	27,3	32,1	24,4	27,9

Em ambientes com ar condicionado (Tabela 19), apesar do maior controle de variáveis ambientais, houve diferenças significativas entre as duas estações. Em setembro, a variação de temperaturas foi maior, devido à maior recepção de radiação solar nas salas utilizadas.

Tabela 20 – Estatística descritiva de variáveis ambientais externas

	T _{ar e} (°C)		UR _e (%)		Var _e (m/s)		T _{mpe} (°C)	
	Mar	Set	Mar	Set	Mar	Set	Mar	Set
<i>Média</i>	27,4	29,4	84	68	1,8	3,3	27,7	29,8
<i>Mediana</i>	27,6	29,5	84	68	1,6	3,3	28,0	29,8
<i>DPA(+/-)</i>	2,0	0,9	10	5	1,0	0,6	0,6	0,3
<i>Menor</i>	24,3	27,1	63	58	0,1	1,6	26,6	29,4
<i>Maior</i>	31,3	31,9	97	82	3,7	4,4	28,6	30,1

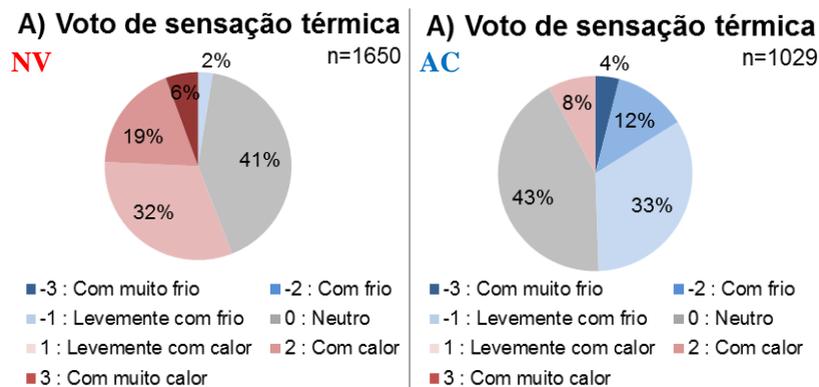
Fonte: Adaptado de INMET (2017)

Assim como constatado em relação aos ambientes naturalmente ventilados, as variáveis externas (Tabela 20) apresentam maior amplitude na estação chuvosa devido à variação de nebulosidade. A velocidade do ar é maior na estação seca, por padrão. No geral, as condições de temperatura do ar, umidade relativa do ar, movimento do ar e pluviosidade registradas no ano de 2017 representaram bem o ano climático típico de São Luís (sub-item 3.2).

4.1.4 Caracterização dos votos proferidos pelos estudantes

Abaixo, estão relacionadas as principais respostas aos ambientes térmicos estudados, agrupados por modo de condicionamento e independentes da estação do ano (Figura 28, Figura 29 e Figura 30).

Figura 28 – Votos de sensação térmica (A) e preferência térmica (B) em ambiente NV (esq.) e AC (dir.)(continua...)

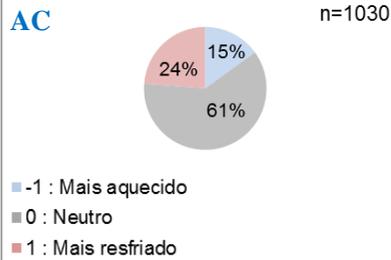


B) Voto de preferência térmica

NV

**B) Voto de preferência térmica**

AC



No geral, a resposta de sensação térmica (Figura 28) entre os dois modos de condicionamento se assemelhou, com cerca de 75% dos votos entre levemente com frio, neutro e levemente com calor – tendendo a frio em ar condicionado e a calor em ventilado naturalmente. Essa tendência era esperada, uma vez que nos ambientes NV predominam as temperaturas mais elevadas, ao passo que nos ambientes AC há a tendência ao resfriamento devido ao rigoroso calor externo. Os valores médios do voto de sensação térmica são de 0,83 (NV) e $-0,62$ (AC).

Estudos realizados ao longo da estação de verão em ambientes residenciais e em escritórios naturalmente ventilados na Índia obtiveram resultados próximos: Kumar et al. (2016) encontraram 79% dos votos de sensação térmica na faixa considerada confortável (-1 a +1 na escala sétima), com voto de sensação térmica médio de 0,67, ao passo que o estudo de Dhaka et al. (2015) obteve sensação térmica média de 0,73. Em relação ao contexto brasileiro, a distribuição dos votos de sensação térmica em salas de aula naturalmente ventiladas de Maceió (CÂNDIDO et al., 2010b), ao longo da estação mais quente, é semelhante ao cenário encontrado em São Luís, em que pese as proximidades contextuais e ambientais de ambos os estudos.

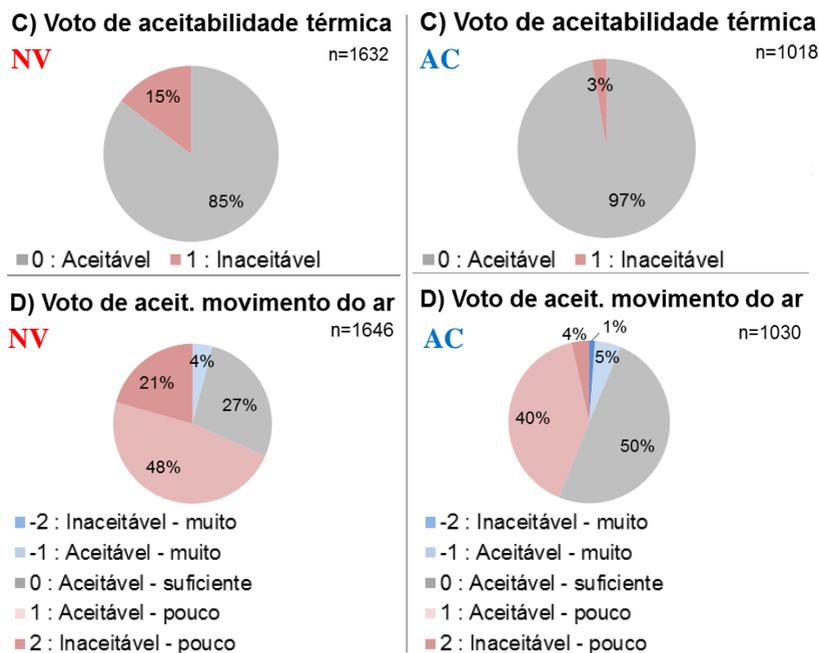
Um estudo realizado em Cingapura (DE DEAR et al., 1991), cujo contexto de variáveis ambientais internas e externas se aproxima do de São Luís, apresentou distribuição dos votos de sensação térmica similar, e médias numéricas de sensação térmica por categoria de temperatura interna semelhantes, tanto em ambientes NV quanto AC. No entanto, o isolamento de vestimenta e a taxa metabólica podem ser diferentes devido ao uso residencial no caso naturalmente ventilado.

A preferência térmica (Figura 28) diferiu bastante entre ambos os modos de condicionamento, com preferência maciça por maior resfriamento em ambiente ventilado naturalmente e maior equilíbrio

entre aquecimento/ resfriamento em ar condicionado. Essa constatação indica que as condições ambientais internas desejadas pelos estudantes serão encontradas nas salas de aula que operam com ar condicionado (sub-item 4.4).

A preferência térmica geral encontrada na pesquisa de Cândido et al. (2010), cuja abordagem diz respeito apenas a salas de aula naturalmente ventiladas em Maceió, difere bastante da preferência em São Luís. Acredita-se que as maiores percentagens para “mais aquecido” e “assim mesmo” se deva à ocorrência de menores valores de temperatura interna em uma das estações do ano, acompanhadas de maiores velocidades do ar internas, em Maceió.

Figura 29 – Votos de aceitabilidade térmica (C) e aceitabilidade do movimento do ar (D) em ambiente NV (esq.) e AC (dir.)

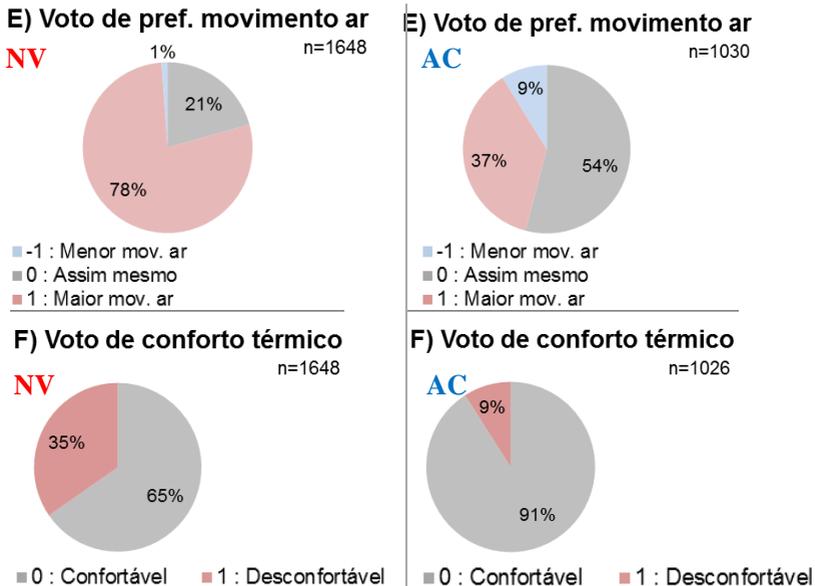


A aceitabilidade térmica (Figura 29) foi bastante elevada em ambientes com ar condicionado (97%), e ainda pode ser considerada elevada em naturalmente ventilado (acima de 85%). A aceitabilidade obtida em NV, neste trabalho, pode ser comparada à obtida em salas de aula naturalmente ventiladas na Índia (MISHRA; RAMGOPAL, 2015a),

superando 80% a 30 °C ou mais de temperatura interna; à aceitabilidade de 82% registrada em residências naturalmente ventiladas de Cingapura (CHEUNG et al., 2017), cujas temperaturas internas foram semelhantes às registradas nas salas de aula em São Luís; e à aceitabilidade em torno de 90% em salas de aula naturalmente ventiladas em Maceió (CÂNDIDO et al., 2010b).

Já a aceitabilidade ao movimento do ar (Figura 29) também foi grande em ambos os modos de condicionamento – e maior em ar condicionado. A porcentagem de votos para “aceitável – pouco” é relevante mesmo para ambientes condicionados. Na comparação entre a proporção de votos de movimento do ar “aceitável” e “inaceitável”, há uma grande proximidade entre os resultados deste trabalho e do estudo de Cândido et al. (2010); no entanto, analisando-se apenas os votos de movimento do ar “aceitável”, há uma notável diferença entre as proporções de “aceitável-suficiente” e “aceitável-pouco”. Neste estudo, predomina o diagnóstico de pouco movimento do ar, ao passo que naquele houve grande equilíbrio entre os quantitativos das duas opções, o que deve refletir as diferenças de temperatura interna e velocidade do ar citadas.

Figura 30 – Votos de preferência por movimento do ar (E) e de conforto térmico (F) em ambiente NV (esq.) e AC (dir.)



A preferência por movimento do ar (Figura 30) difere entre ambos os modos de condicionamento. Em ventilado naturalmente, é predominante a opção por maior movimento do ar (78%); mesmo em ar condicionado, essa porcentagem é relevante (37%). Acredita-se que haja grande influência da temperatura interna na preferência por movimento do ar, uma vez que em ambientes NV a porcentagem que preferiu “maior movimento do ar” se assemelha à porcentagem de preferência térmica por maior resfriamento, e em ambientes AC houve o registro de temperaturas mais elevadas do que o usual para esse modo de condicionamento. No estudo de Cândido et al. (2010), inclusive, é apresentada a relação entre o voto de sensação térmica e o voto de preferência por movimento do ar, na qual a preferência por “maior movimento do ar” acompanhou os votos de sensação térmica correspondentes à faixa de calor (+1 a +3).

O voto de conforto térmico (Figura 30), ao contrário do voto de aceitabilidade térmica, é bem diferente na comparação entre ambientes NV e AC; fica evidente o desconforto por calor nos ambientes naturalmente ventilados, ao passo que em ambientes climatizados se verificou desconforto por frio e por calor a depender da situação. No entanto, o que mais chama a atenção é a diferença entre a noção de aceitabilidade e de conforto por parte dos estudantes em São Luís.

Ao mesmo tempo em que a aceitabilidade térmica foi elevada nos ambientes naturalmente ventilados (85%), o percentual de conforto térmico registrado foi bem abaixo (65%), levando a crer que a aceitabilidade foi considerada algo próximo da condição térmica máxima tolerável, ao passo que o conforto, próximo à condição térmica desejada. No estudo de Mishra e Ramgopal (2015a) em salas de aula naturalmente ventiladas na Índia, foram registradas diferenças entre os percentuais de aceitabilidade e conforto térmicos nos estudos de campo, principalmente em situações nas quais a aceitabilidade foi considerada menor do que 80%.

Na comparação entre o quantitativo geral dos votos de sensação térmica e conforto térmico em ambientes naturalmente ventilados, percebeu-se que 75% das sensações registradas estão entre “levemente com frio” e “levemente com calor” (-1 a +1); no entanto, 65% das participações estão em conforto, o que indica que cerca de 10% das sensações citadas foram consideradas termicamente desconfortáveis pelos estudantes; considerando o contexto, é provável que essas sejam referentes aos votos de “Levemente com calor”, e serão investigadas adiante.

4.2 PERCEPÇÃO TÉRMICA EM AMBIENTES NATURALMENTE VENTILADOS

4.2.1 Variáveis ambientais e percepção térmica

Em busca das correlações entre variáveis ambientais (internas e externas) e os votos de percepção térmica proferidos pelos usuários em ambientes naturalmente ventilados, foram considerados os votos de sensação térmica (VST, em escala numérica que varia entre -3 e +3), aceitabilidade térmica e conforto térmico (VAT e VCT, em forma de binários 0-1), conforme é apresentado na Tabela 21.

Tabela 21 – Correlações em ambientes naturalmente ventilados, considerando os votos individuais

<i>Correlação – Coeficiente de Pearson Votos individuais (n=1650 votos)</i>	<i>VST</i>	<i>VAT</i>	<i>VCT</i>
	<i>*p-valor < 0,05 (significativo)</i>		
<i>Voto de Sensação Térmica (VST)</i>	1*		
<i>Voto de Aceitabilidade Térmica (VAT)</i>	0,59*	1*	
<i>Voto de Conforto Térmico (VCT)</i>	0,70*	0,57*	1*
<i>T_{op} interna</i>	0,26*	0,15*	0,13*
<i>UR interna</i>	-0,14*	-0,06*	-0,05*
<i>V_{ar} interna</i>	-0,16*	-0,17*	-0,09*
<i>T_{ar} externa</i>	0,28*	0,19*	0,17*
<i>T_{mpe}</i>	-0,02	-0,05	-0,04
<i>UR externa</i>	-0,20*	-0,12*	-0,11*
<i>V_{ar} externa</i>	0,23*	0,15*	0,12*

As variáveis ambientais internas exploradas na pesquisa foram a temperatura operativa (T_{op}) – esta, na realidade, é um índice usualmente explorado em pesquisas de conforto térmico em ambientes naturalmente ventilados –, a umidade relativa do ar (UR) e a velocidade do ar (V_{ar}). Considerando que coeficientes de correlação de *Pearson* com valor entre 0,4 e 0,7 representam uma correlação moderada, pode-se concluir que todas as variáveis ambientais pesquisadas, quando analisadas em relação a um voto individual de percepção térmica, apresentaram correlação fraca. Apenas a temperatura média predominante externa

(T_{mpe}) não apresentou correlação estatisticamente significativa (p-valor < 0,05, representado por um asterisco na Tabela 21).

A Tabela 22 apresenta as correlações feitas utilizando-se as médias numéricas dos votos de sensação (*AMV* – *actual mean vote* ou voto médio real, também denominado “sensação térmica média”), conforto e aceitabilidade para cada estudo de campo realizado em ambiente naturalmente ventilado. No caso dos votos de conforto e aceitabilidade, foi adotada a porcentagem do desconforto (% Desconf) e da não aceitabilidade térmica (% considerando o ambiente termicamente inaceitável –% Inac).

Tabela 22 – Correlações em ambientes naturalmente ventilados, considerando as médias de votos por estudo de campo

<i>Correlação – Coeficiente de Pearson</i> <i>Médias por estudo (n=25 estudos)</i>	<i>AMV</i>	<i>% Desconf</i>	<i>% Inac</i>
	<i>*p-valor < 0,05 (significativo)</i>		
<i>Sensação térmica média real (AMV)</i>	1*		
<i>% Desconforto térmico</i>	0,90*	1*	
<i>% Não aceitabilidade térmica</i>	0,81*	0,85*	1*
<i>T_{op} média interna</i>	0,47*	0,32	0,32
<i>UR média interna</i>	- 0,17	- 0,05	- 0,07
<i>V_{ar} média interna</i>	0,20*	0,15	0,31
<i>T_{ar} média externa</i>	0,56*	0,43*	0,49*
<i>T_{mpe}</i>	- 0,12	- 0,16	- 0,13
<i>UR média externa</i>	- 0,38	- 0,26	- 0,32
<i>V_{ar} média externa</i>	0,50*	0,41*	0,39

Os dados apresentados acima indicam que quando consideradas as médias por experimento, as correlações entre variáveis ambientais e votos são numericamente maiores, ainda que fracas em grande parte dos casos. A maioria dessas correlações, no entanto, não são estatisticamente conclusivas (p-valor < 0,05, representado por um asterisco na Tabela 22). Destacam-se a T_{op} média interna, e as médias externas de T_{ar} e V_{ar} como correlações moderadas. A primeira, inclusive, é a maior correlação entre as variáveis ambientais internas.

Analisando a tendência dos valores de coeficientes (p-valor < 0,05), observa-se que UR e V_{ar} têm relação negativa com os votos retratados, sugerindo que um aumento em seus valores absolutos tende a

reduzir a sensação térmica (de calor) e o desconforto, além de aumentar a aceitabilidade térmica. No entanto, os valores de umidade relativa mais elevados estão, no geral, associados aos menores valores de temperatura do ar (tanto internamente quanto externamente). Isso indica que, em princípio, a implicação de UR nos votos – redução da sensação de calor, redução do desconforto e aumento de aceitabilidade – vem, na verdade, da diminuição no valor de temperatura operativa.

A fim de avaliar o peso de cada variável na determinação da sensação térmica (tomada como representação da percepção dos estudantes), foram feitas regressões lineares simples e múltiplas. As regressões compostas por votos individuais em função das variáveis coletadas nos instantes dos votos tiveram coeficientes de determinação (R^2) muito baixos – abaixo de 0,2 –, ao passo que as regressões considerando as médias por estudo de campo apresentaram R^2 de moderada determinação – até 0,6. Além disso, apenas as regressões considerando os valores de médias obtiveram êxito nos testes de normalidade de resíduos, independência de variáveis e distribuição homogênea de variâncias³, necessários à validação do modelo de regressão.

A regressão linear múltipla envolvendo as três variáveis ambientais como variáveis independentes (x) e a sensação térmica média (AMV) por estudo de campo como variável dependente (y) foi comparada aos seus modelos reduzidos – subconjuntos – por meio de teste F parcial, conforme apresentado na Tabela 23.

Tabela 23 – Modelos de regressão linear para determinação da sensação térmica média em ambientes naturalmente ventilados

<i>Modelo de regressão</i>	<i>p-valor do modelo</i>	<i>R²</i>	<i>Teste F parcial (anova)</i>	<i>Conclusão</i>
$T_{op}+UR+V_{ar}$	0.0002*	0,60	-	-
$T_{op}+UR$	0.0004*	0,51	0.03862*	Hipótese nula rejeitada
$T_{op}+V_{ar}$	0.0557	0,23	0.00022*	Hipótese nula rejeitada
T_{op}	0.0173*	0,22	0.00084*	Hipótese nula rejeitada

*p-valor < 0,05 (estatisticamente significativo a 5%)

Dos modelos de regressão analisados, aquele que possui T_{op} e V_{ar} médias como variáveis x não obteve significância (p-valor > 0,05); a

³ Testes de Shapiro-Wilk, Durbin-Watson e Breusch-Pagan, respectivamente.

velocidade média do ar registrada por estudo de campo pode não ser uma medida que se relacione diretamente à sensação térmica média devido à ocasional variação de valores de V_{ar} medidos próximos a cada estudante. Ainda assim, o modelo de regressão linear denominado completo ($AMV \sim T_{op} + UR + V_{ar}$) é significativamente melhor do que os respectivos modelos reduzidos, na função de se aproximar da sensação térmica média real em ambientes naturalmente ventilados. Todos os resultados de testes rejeitaram a hipótese nula de que não há diferença significativa entre os resíduos das regressões comparadas.

Portanto, o modelo de regressão linear completo apresentou o maior coeficiente de determinação ($R^2 = 0,60$), sendo considerada uma determinação moderada no âmbito desta pesquisa. A equação que representa o modelo, aplicável dentro das condições ambientais encontradas em campo e descritas na caracterização ambiental de ambientes naturalmente ventilados, está descrita abaixo (6).

$$AMV = -26,68 + 0,74 Top + 0,08 UR - 1,07 Var \quad (6)$$

Onde:

AMV – Sensação térmica média dos usuários (sem unidade);

Top – Temperatura operativa interna média (°C);

UR – Umidade relativa do ar interna média (%);

Var – Velocidade do ar interna média durante o estudo (m/s).

A sensação térmica média tende a aumentar com o aumento da temperatura e da umidade relativa, e a reduzir com o aumento da velocidade do ar. É certo que a temperatura operativa é a variável de maior impacto na percepção térmica, tanto é que a menor variação em seu valor produz a maior alteração na sensação térmica média, em comparação às outras duas variáveis ambientais. Portanto, é o índice mais adotado na representação das condições térmicas em estudos de campo realizados em ambientes naturalmente ventilados.

A fim de visualizar o efeito da umidade relativa e da velocidade do ar nos votos de percepção térmica, essas variáveis foram analisadas por faixas, ou categorias, de temperatura operativa (Tabela 24). Dessa forma, buscou-se a princípio isolar a influência da temperatura nas respostas dos estudantes. Também foram agrupadas categorias de umidade relativa e de velocidade do ar (Tabela 25 e Tabela 26). Nessa análise, foram utilizados todos os 1650 votos obtidos em salas naturalmente ventiladas.

Tabela 24 – Categorização de temperatura operativa

<i>Cat. T_{op}</i>	<i>Valores (°C)</i>	<i>n</i>
Em torno de 28 (T_{op}28)	entre 27,3 e 28,5	360
Em torno de 29 (T_{op}29)	entre 28,6 e 29,5	327
Em torno de 30 (T_{op}30)	entre 29,6 e 30,5	494
Em torno de 31 (T_{op}31)	entre 30,6 e 31,6	469

Tabela 25 – Categorização de umidade relativa

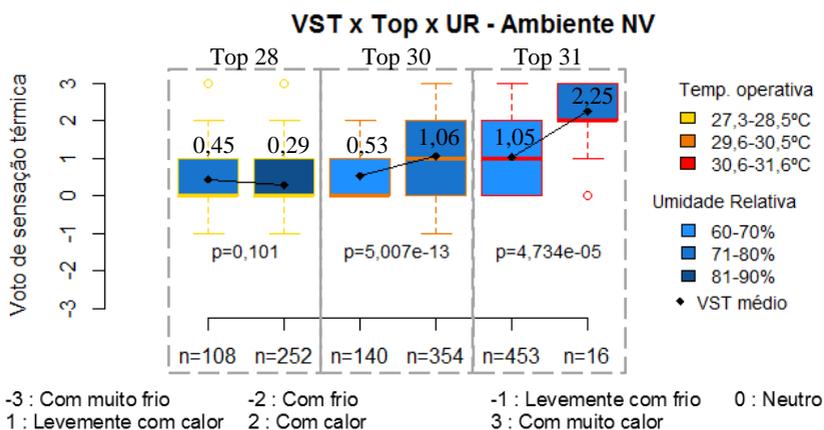
<i>Valores UR (%)</i>	<i>n</i>	<i>n T_{op}28</i>	<i>n T_{op}29</i>	<i>n T_{op}30</i>	<i>n T_{op}31</i>
entre 60 e 70%	593	-	-	140	453
entre 71 e 80%	805	108	327	354	16
entre 81 e 90%	252	252	-	-	-

Tabela 26 – Categorização de velocidade do ar

<i>Valores V_{ar} (m/s)</i>	<i>n</i>	<i>n T_{op}28</i>	<i>n T_{op}29</i>	<i>n T_{op}30</i>	<i>n T_{op}31</i>
abaixo de 0,20	775	269	223	200	83
entre 0,20 e 0,50	659	63	70	198	328
entre 0,51 e 1,00	140	21	26	72	21
entre 1,01 e 3,00	76	7	8	24	37

Os votos de sensação térmica (VST), aceitabilidade térmica (VAT) e conforto térmico (VCT), em escala numérica, foram explorados em função das categorias de T_{op} e UR, de acordo com o modelo de representação gráfica na Figura 26 (capítulo de materiais e método, 3.5.2). Nas figuras Figura 31, Figura 32 e Figura 33, são representados os valores de média, mediana, 1º e 3º intervalos interquartis, máximos e mínimos registrados, além do p-valor para comparação de médias entre amostras referentes às categorias de T_{op} e UR.

Foi adotado o teste T de Welch para comparação de amostras não associadas, ao nível de 5% de significância (p-valor < 0,05 representa uma diferença entre médias estatisticamente significativas, no âmbito desta pesquisa). A mediana da amostra divide os dados, em ordem crescente, ao meio. O 1º e o 3º intervalos interquartis são separados pela mediana, e representam os valores abaixo dos quais estão um quarto e três quartos dos dados, respectivamente. Ou seja, entre as linhas dos intervalos interquartis, estão contidos 50% dos dados de uma amostra. Os resultados são discutidos abaixo.

Figura 31 – VST *versus* UR por categoria de T_{op} 

A categoria de temperatura em torno de 29 °C não foi analisada nesse caso por trazer valores de UR restritos à faixa de “71 a 80%”. Por meio da Figura 31, percebe-se que o aumento de UR (“71 a 80%” para “81 a 90%”), dadas as temperaturas operativas em torno de 28 °C, provocou uma leve redução na sensação térmica média; no entanto, esse resultado não é estatisticamente significativo ($p = 0,101$). Acredita-se que a sensação média, nesse caso, seja produto apenas da pequena variação de T_{op} dentro da categoria na qual está enquadrada; ainda assim, não houve alterações nas medidas de posição representadas.

A situação contrária é verificada para valores de T_{op} acima dos 30 °C. Nos dois exemplos, o aumento da concentração de água no ar a uma mesma faixa de temperatura provocou o aumento na média dos votos de sensação térmica (sensação de calor), e esse resultado é significativo a 5% (p -valor < 0,05). As demais medidas de posição – mediana e intervalos interquartis – também sofreram alterações.

Quanto à aceitabilidade térmica (Figura 32) e ao conforto térmico (Figura 33), verificou-se condição semelhante àquela da sensação média: diferença entre médias não significativa para as temperaturas mais baixas (em torno de 28 °C), e significativa no caso de temperaturas em torno de 30 °C ou mais. Considerando o contexto pesquisado, verificou-se que a partir de 30 °C de temperatura operativa é possível visualizar o efeito da variação da umidade relativa do ar sobre a

percepção térmica, considerando a média das principais respostas – sensação, aceitabilidade e conforto térmicos.

Figura 32 – VAT *versus* UR por categoria de T_{op}

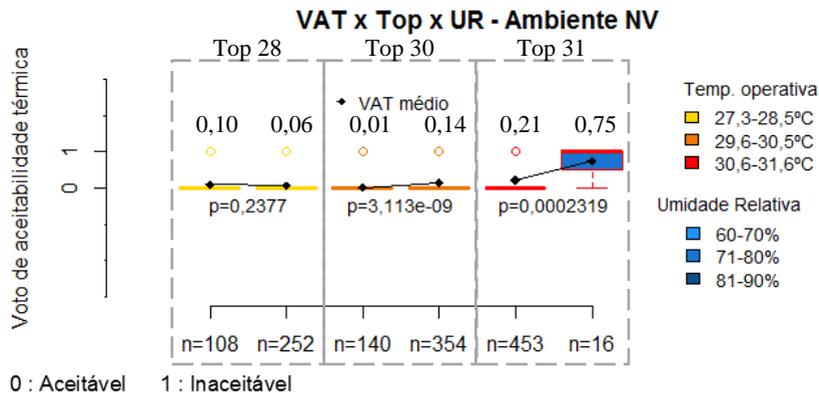
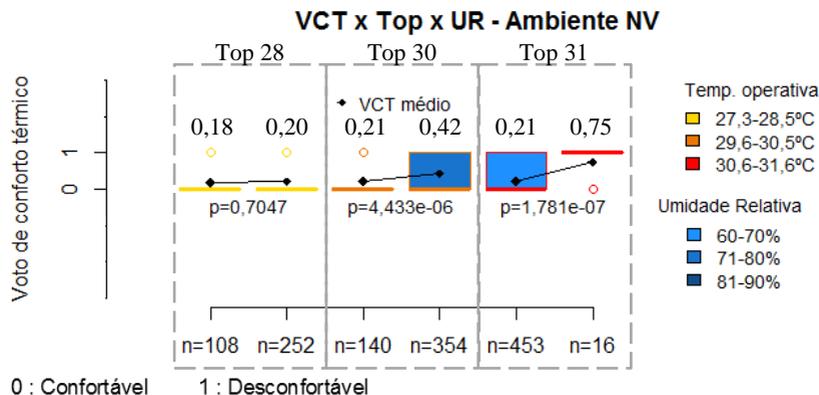


Figura 33 – VCT *versus* UR por categoria de T_{op}



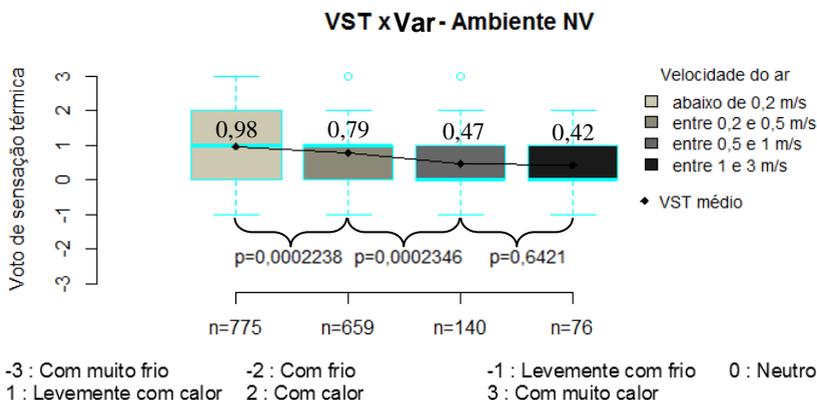
Considerando o exposto, confirma-se a influência da umidade relativa do ar sobre os principais votos de percepção térmica, com valores de UR acima de 70% agravando a sensação de calor, o desconforto térmico e reduzindo a aceitabilidade térmica média. Resultados com essa mesma tendência foram encontrados em estudos ocorridos em câmaras climáticas na China e nos Estados Unidos. As temperaturas operativas mínimas a partir das quais a umidade relativa passou a implicar maior desconforto e menor aceitabilidade, nos estudos

já realizados, variaram de acordo com o contexto: 29 °C e 70% em Guangzhou (JIN et al., 2017), 30 °C e 60% na Califórnia (ZHAI et al., 2013; ZHAI et al., 2017) e até 31 °C na região quente e úmida da Índia (MISHRA; RAMGOPAL, 2015b).

É interessante perceber como os resultados deste trabalho estão em concordância com a literatura relacionada, ainda que tenha sido realizado em um ambiente não controlado pela pesquisadora (as variáveis ambientais internas registradas são produto do clima local). Tal afirmação confere credibilidade às conclusões alcançadas sobre o impacto da umidade relativa sobre a percepção térmica.

Para a primeira análise sobre a velocidade do ar, os votos de sensação térmica (VST), aceitabilidade térmica (VAT) e conforto térmico (VCT), em escala numérica, foram explorados em função das categorias de V_{ar} (Figura 34, Figura 35 e Figura 36), independente da temperatura operativa associada a cada valor de velocidade.

Figura 34 – VST versus V_{ar}



Observou-se que todos os aumentos nos valores de velocidade do ar (categorias de V_{ar} comparadas duas a duas) ocasionaram a redução da sensação térmica média e a aproximação ao voto de sensação térmica “neutro” (Figura 34), além do aumento nas porcentagens de aceitabilidade (Figura 35) e de conforto (Figura 36), exceto para valores de V_{ar} acima de 1 m/s. Isso pode indicar que velocidades do ar muito elevadas não tiveram influência significativa na percepção térmica dos estudantes, ainda que possa estar implícito um efeito da temperatura operativa nessa representação.

A pesquisa de Huang et al. (2013) em câmara climática de Guangzhou (China) concluiu que, a temperaturas acima de 34 °C, o aumento dos valores de velocidade do ar – personalizados por ventiladores pessoais – para além de 1,50 m/s não mais interferiram positivamente sobre a sensação térmica média dos participantes, fazendo-se necessário o uso de outra estratégia de resfriamento cujo impacto seja sobre a temperatura interna.

Figura 35 – VAT versus V_{ar}

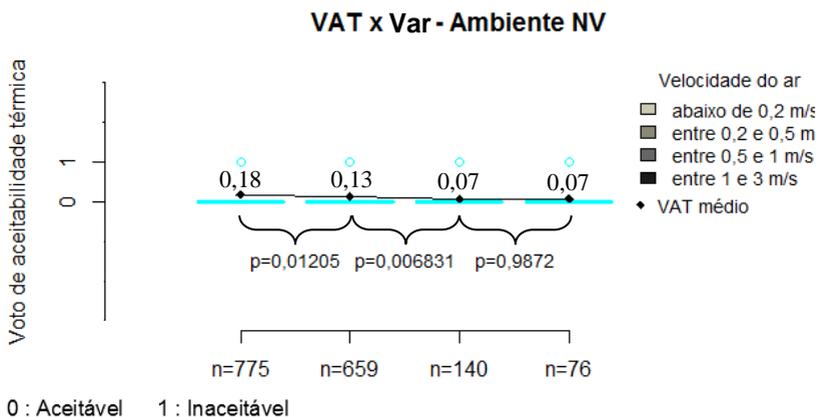
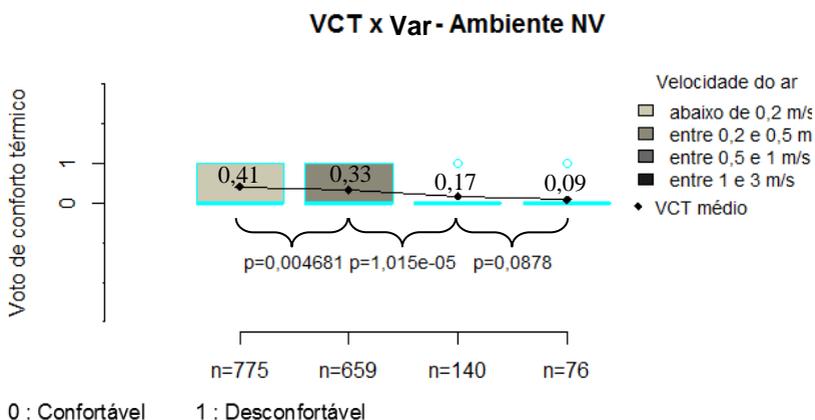


Figura 36 – VCT versus V_{ar}



De acordo com a Figura 34, a redução mais significativa na sensação térmica média se deu quando a V_{ar} mudou de “entre 0,20 e 0,50 m/s” para “entre 0,51 e 1 m/s” (numericamente, de 0,79 a 0,47); nesse caso, também houve a alteração da mediana do conjunto de votos, de “levemente com calor” para “neutro”. No caso do voto de conforto térmico (Figura 36), essa mudança proporcionou a maior redução do desconforto (de 13 para 8%). Levando em conta essa análise, o valor de velocidade do ar superior a 0,50 m/s é o mais significativo para a percepção térmica dos estudantes.

A análise sobre o voto de sensação térmica (VST) em função do aumento de V_{ar} , por categoria de T_{op} , é apresentada em detalhes nas figuras Figura 37 a Figura 40, ao passo que para os votos de aceitabilidade e conforto foram aplicados apenas os testes para comparação de médias, no intuito de complementar as primeiras informações.

Figura 37 – VST *versus* V_{ar} por categoria de T_{op} em torno de 28 °C

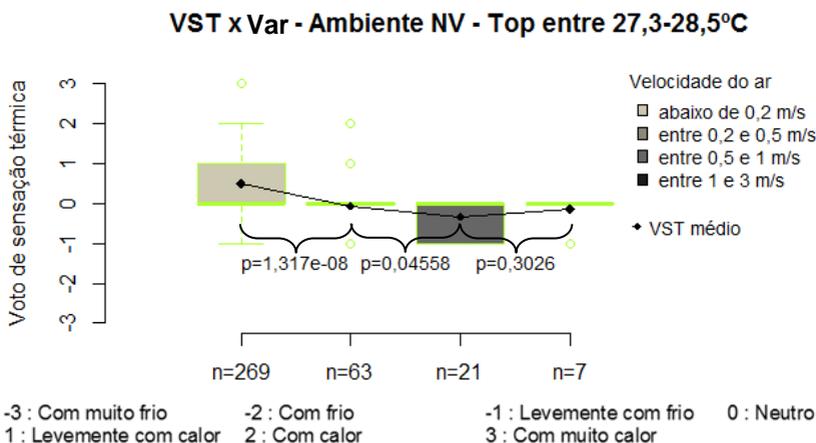
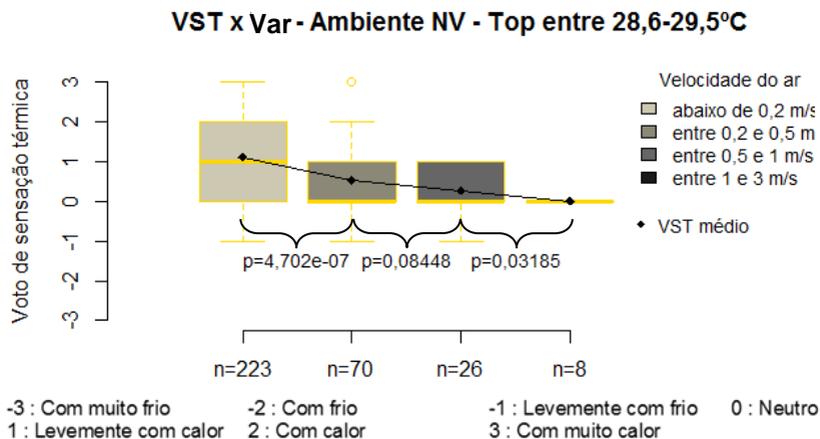
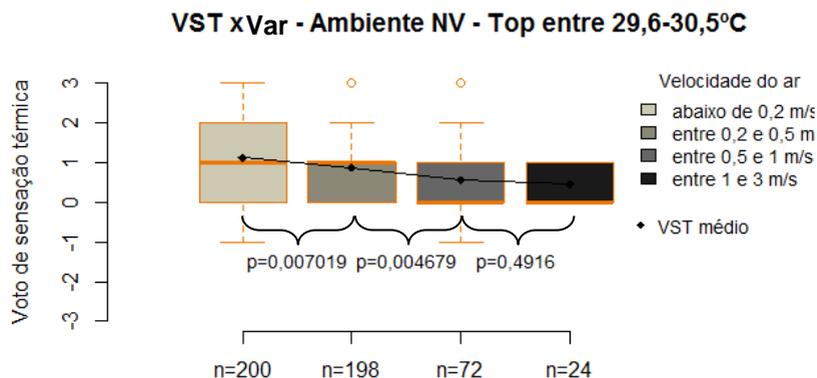


Figura 38 – VST versus V_{ar} por categoria de T_{op} em torno de 29 °C

Observa-se que, com a temperatura operativa em torno de 28 e 29 °C (Figura 37 e Figura 38), há a tendência à redução do voto médio de sensação térmica até o valor “0” por meio do aumento da velocidade do ar. As medianas, no entanto, permaneceram sobre o voto de neutralidade térmica (“0”), exceto a uma combinação de T_{op} em torno de 29 °C e V_{ar} abaixo de 0,20 m/s, cuja mediana é o voto “levemente com calor”. Pode-se concluir que, a essas temperaturas operativas, o aumento da velocidade do ar foi suficiente para aproximar a sensação térmica da neutralidade e aumentar o percentual de conforto térmico, mas não teve impacto significativo sobre a aceitabilidade térmica.

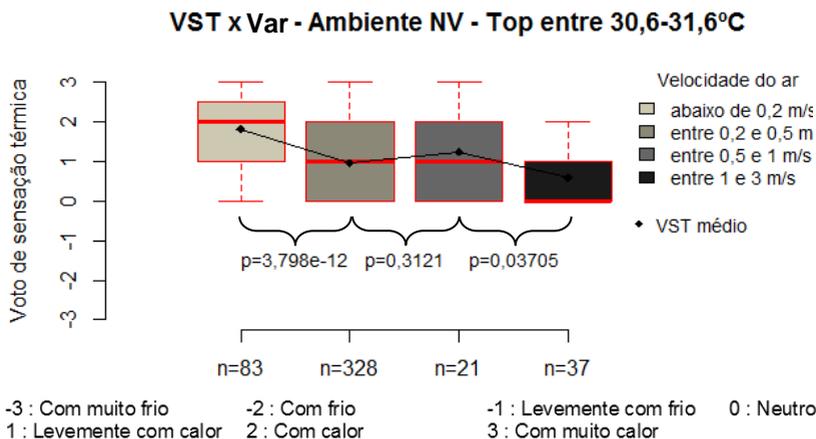
Figura 39 – VST versus V_{ar} por categoria de T_{op} em torno de 30 °C

-3 : Com muito frio -2 : Com frio -1 : Levemente com frio 0 : Neutro
 1 : Levemente com calor 2 : Com calor 3 : Com muito calor

Com a temperatura operativa em torno dos 30 °C (Figura 39), o aumento de V_{ar} proporcionou leve redução na sensação térmica média, ao passo que em torno dos 31 °C (Figura 40) valores de V_{ar} acima de 0,50 m/s já não a influenciam efetivamente. Como a tendência da sensação térmica média é de se manter estável à medida em que se aumentam os valores de V_{ar} , sugere-se que, a partir de temperaturas operativas na casa dos 30 °C, outras estratégias bioclimáticas sejam necessárias para atenuar a constante sensação de calor nesses ambientes.

A partir do exposto na Figura 40, constatou-se que uma mudança de velocidade de “abaixo de 0,20 m/s” para “entre 0,20 e 0,50 m/s” foi a que mais impactou sobre a sensação térmica dos estudantes, quando T_{op} estava em torno de 31 °C. O fato de haver maior influência, no entanto, não representa necessariamente a condição térmica ideal para os estudantes. Com o aumento da temperatura operativa, as médias dos votos de sensação térmica não se aproximam significativamente do “neutro” mesmo com o aumento de V_{ar} , o que era esperado em função das temperaturas internas alcançarem valores elevados.

Figura 40 – VST versus V_{ar} por categoria de T_{op} em torno de 31 °C



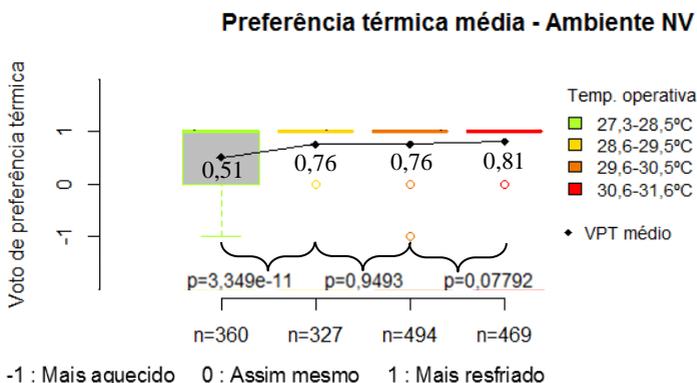
Os testes para comparação de médias dos votos de aceitabilidade e conforto ratificaram os indicativos encontrados para a sensação térmica média. A partir de temperaturas operativas em torno de 30 °C, o

aumento nos valores de V_{ar} para além de 1 m/s não tem influência sobre o voto médio de conforto, e não produz alteração significativa na aceitabilidade média. Aceitabilidade térmica e velocidade do ar estão, de fato, pouco associadas, com alterações significativas apenas quando a V_{ar} passou de “abaixo de 0,20 m/s” para “entre 0,20 e 0,50 m/s”. Provavelmente, esse efeito provocado por um valor tão baixo de velocidade do ar (calmaria) é mais perceptível por conta das condições extremas de temperatura interna, fazendo com que o mínimo aumento no movimento do ar seja desejável.

A preferência térmica dos estudantes foi estudada em função das categorias de T_{op} (Figura 41). Observou-se que a mudança de temperatura operativa de 28 para 29 °C provocou a maior mudança no cenário de preferência térmica – aumento significativo da percentagem anseando por maior resfriamento ($p < 0,05$). Acima dos 29 °C, a média de preferência térmica por resfriamento praticamente não se altera em função do aumento de temperatura, mantendo-se sempre acima de 75%.

É provável que o conhecimento das condições internas de calor por parte dos estudantes esteja por trás da “estagnação” desses percentuais, a tal ponto que o aumento de temperatura operativa não é mais significativo sobre a preferência térmica. Com temperaturas operativas em torno dos 28 °C, o percentual de votos “assim mesmo” foi o maior registrado (44%), apesar de ter sido superado pela preferência por maior resfriamento (53%).

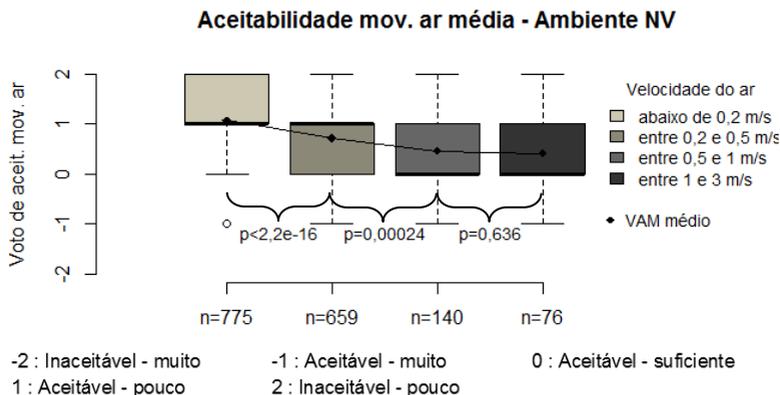
Figura 41 – Preferência térmica (VPT) *versus* T_{op}



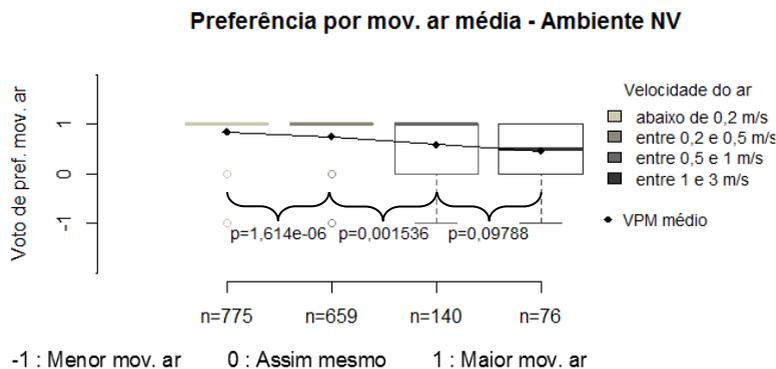
Os votos diretamente relacionados ao movimento do ar – aceitabilidade e preferência – foram abordados em função das categorias

de V_{ar} e de T_{op} . A aceitabilidade de movimento do ar em relação às faixas de V_{ar} está representada na Figura 42. Observa-se que mais uma vez a mudança para valores de V_{ar} acima de 1 m/s não obteve significância se comparada à categoria anterior (entre 0,51 e 1 m/s). Os valores médios tendem ao zero – aceitável e suficiente movimento do ar – mas não o alcançam. Observa-se que a mediana passa a ser o voto de “aceitável-suficiente” a partir dos 0,50 m/s, mesmo valor destacado na análise entre velocidade do ar e os votos de sensação e conforto térmicos. Vale destacar que até mesmo valores superiores a 1 m/s não foram considerados “muito movimento do ar” pelos estudantes, em sua maioria. Para descartar a influência direta do aumento de temperatura operativa no diagnóstico de movimento do ar, foi feita a mesma análise para cada categoria de T_{op} , e o resultado com relação aos valores de V_{ar} acima de 1 m/s foi o mesmo.

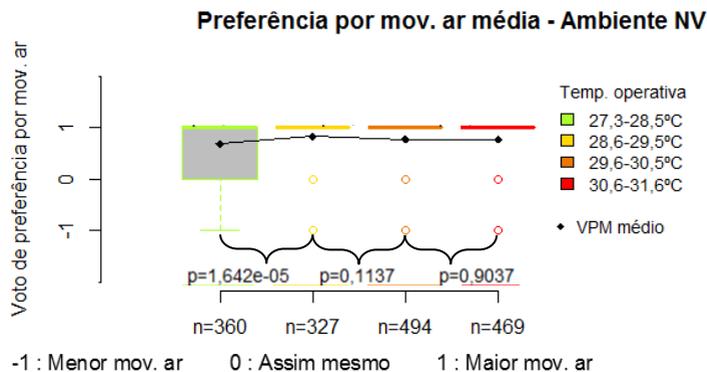
Figura 42 – Aceitabilidade mov. ar (VAM) *versus* V_{ar}



O comportamento observado para os votos de preferência quanto ao movimento do ar (Figura 43) segue a mesma tendência do que foi verificado sobre os votos de aceitabilidade. Velocidades do ar acima de 1 m/s não alteraram significativamente a preferência média em relação àquela correspondente aos valores entre 0,51 e 1 m/s, e a tendência é o aumento do percentual de votos para “manter assim mesmo” o movimento do ar.

Figura 43 – Preferência por mov. ar (VPM) *versus* V_{ar} 

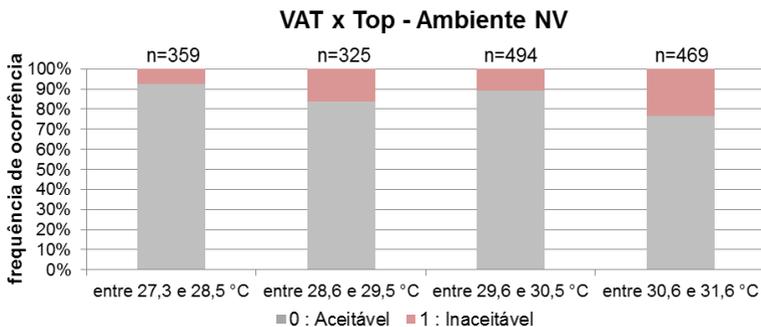
Na análise da preferência quanto ao movimento do ar por categoria de T_{op} (Figura 44), concluiu-se que o aumento da temperatura operativa não teve influência maior do que o aumento da velocidade do ar na preferência por movimento do ar: o voto médio de preferência não se aproxima do valor 1 (“maior movimento”) à medida em que os valores de T_{op} aumentam, e o p-valor da estatística a partir de 29 °C de T_{op} não é significativo (p-valor > 0,05). Em todas as categorias de T_{op} , a preferência por maior movimento do ar prevaleceu; essa preferência é representada pela aproximação ao valor “1” na escala de preferência por movimento do ar (Figura 44).

Figura 44 – Preferência por mov. ar (VPM) *versus* T_{op} 

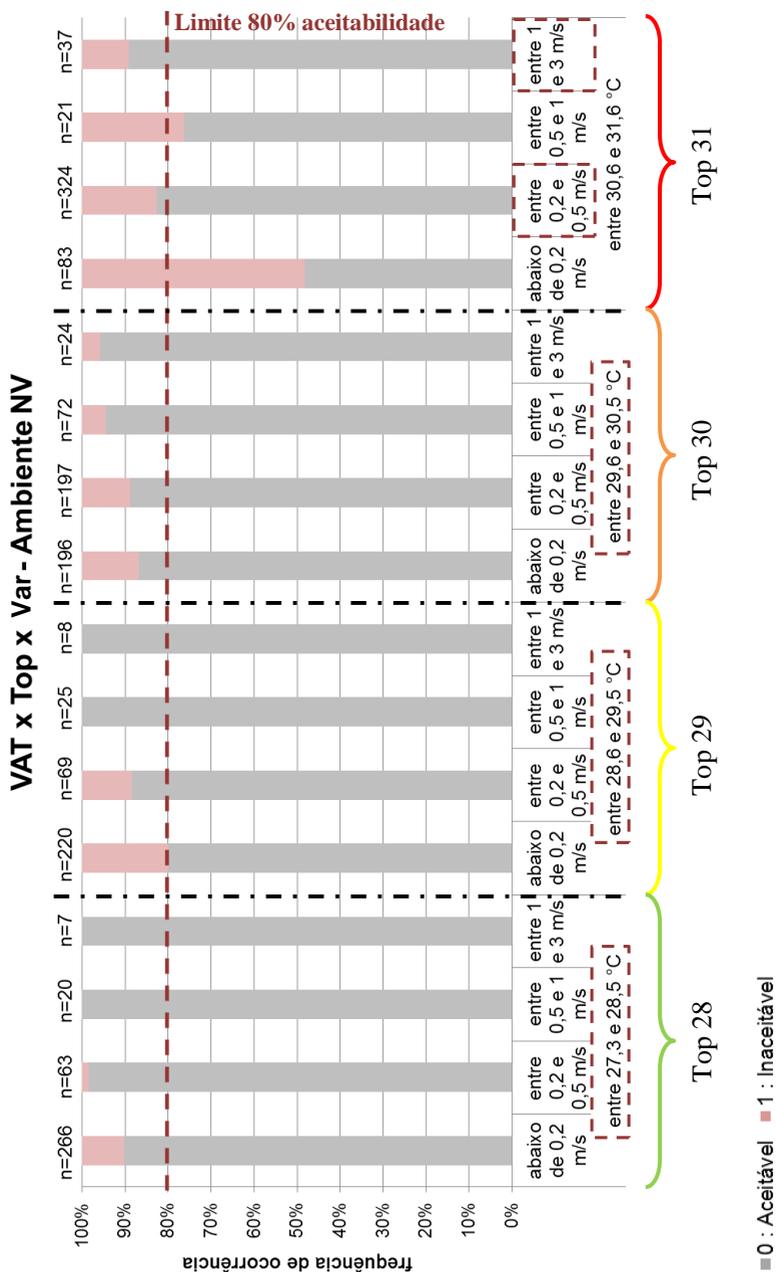
Tendo em vista o exposto, pode-se afirmar que o aumento do movimento do ar possui importante influência sobre os votos de sensação, conforto, aceitabilidade do movimento de ar e preferência por movimento de ar proferidos pelos estudantes, com destaque para as maiores alterações na percepção quando o valor de velocidade do ar superou os 0,50 m/s. É interessante observar, no entanto, o impacto predominante da temperatura operativa nas respostas de percepção térmica. Quando T_{op} esteve abaixo de 30 °C, maior foi a atenuação do desconforto devido ao aumento progressivo de V_{ar} . A partir de 31 °C de T_{op} , esse aumento passa a ser insignificante, não mais suficiente para amenizar as condições de calor.

Quanto aos votos sobre o movimento do ar (aceitabilidade e preferência), percebeu-se que o aumento de V_{ar} foi determinante para o crescimento dos percentuais de movimento “aceitável-suficiente” e de preferência por manter o movimento do ar “assim mesmo”. No entanto, é muito provável que esses percentuais não se alterariam significativamente caso houvesse mais registros de V_{ar} superiores a 1 m/s, assim como não se alteraram dada a mudança de “entre 0,51 a 1 m/s” para “entre 1 a 3 m/s” (p-valor > 0,05). Nesse caso, a questão sobre a percepção do movimento do ar não está mais relacionada à velocidade do ar propriamente dita, mas sim à temperatura operativa como fator decisivo para a mudança de percepção quanto ao movimento do ar e quanto ao ambiente térmico.

Concluindo a análise sobre a relação entre as variáveis ambientais estudadas e as respostas dos estudantes quanto ao ambiente térmico, foram delineadas as condições de aceitabilidade e conforto nas salas de aula naturalmente ventiladas. Na Figura 45, percebe-se que a maior porcentagem de aceitabilidade térmica ocorreu quando a temperatura operativa esteve em torno dos 28 °C (acima de 90%). Há uma diferença inesperada de aceitabilidade entre as T_{op} em torno de 29 e 30 °C, nas quais a aceitabilidade à 30 °C é maior que à 29 °C; essa diferença pode ser atribuída ao aumento de valores de V_{ar} entre 0,20 e 0,50 m/s e à diminuição dos valores abaixo de 0,20 m/s que ocorreram na categoria de T_{op} em torno de 30 °C.

Figura 45 – VAT versus T_{op} em ambiente naturalmente ventilado

O percentual de aceitabilidade térmica relativo à T_{op} foi abordado em estudos realizados em salas de aula naturalmente ventiladas, no contexto do clima quente e úmido, nos quais foram encontradas tendências semelhantes. Em Maceió, a aceitabilidade esteve em torno de 90% em todas as categorias de temperatura, até mesmo a 31 °C (CÂNDIDO et al., 2011). Na cidade indiana de Kharagpur, os resultados indicam que o percentual de 80% de aceitabilidade corresponde à T_{op} de 31 °C (MISHRA; RAMGOPAL, 2014a). Outro estudo em Kharagpur teve como resultado a aceitabilidade térmica acima de 80% em todos os estudos de campo nos quais T_{op} beirou os 30 °C (MISHRA; RAMGOPAL, 2015a).

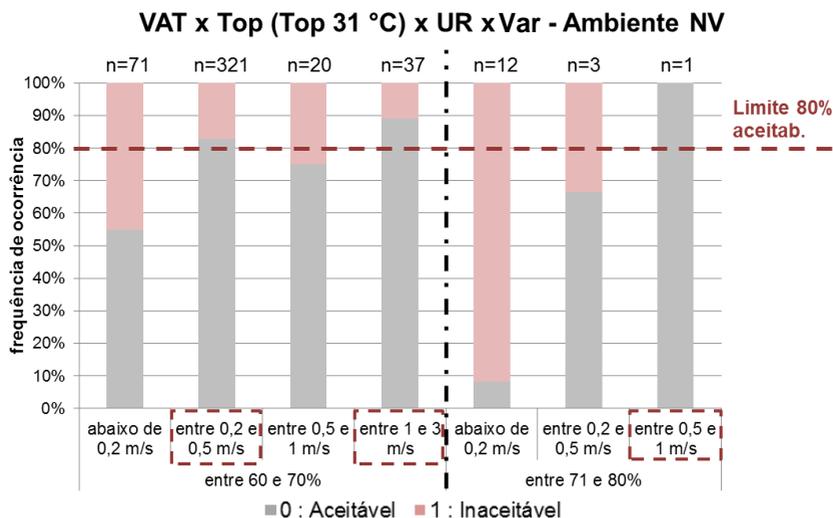
Figura 46 – VAT versus V_{ar} por categoria de T_{op} 

A condição de aceitabilidade e conforto térmico adotada nesta análise foi de no mínimo 80%, conforme referência da ASHRAE *Standard* 55 (2013) para ambientes naturalmente ventilados – limite normativo. Devido à estratificação da amostra por categorias de T_{op} , UR e V_{ar} , necessárias a essa análise, os testes estatísticos não puderam ser aplicados em determinadas situações nas quais o número da amostra (n) é muito pequeno.

Pela Figura 46, percebe-se que a condição de aceitabilidade é satisfeita em todos os casos para T_{op} em torno dos 28, 29 e 30 °C, independente de UR e V_{ar} – apesar de que a aceitabilidade média se eleva a partir do aumento de V_{ar} , e tal aumento é estatisticamente significativo (Figura 35). A 31 °C, nem todas as condições mínimas de aceitabilidade por categoria de V_{ar} foram atingidas, sendo que as situações mais relevantes (n maior) são de valores de V_{ar} “abaixo de 0,20 m/s” e “entre 0,20 e 0,50 m/s”. A menor porcentagem de aceitabilidade térmica, portanto, foi encontrada nas condições de T_{op} em torno de 31 °C e V_{ar} abaixo de 0,20 m/s, e a diferença em relação à categoria seguinte de V_{ar} é relevante (de 50% para 80% de aceitabilidade). O impacto da mudança de abaixo 0,20 m/s para acima 0,20 m/s já havia sido destacado na análise do voto de sensação térmica médio em função do aumento de V_{ar} quando T_{op} está em torno de 31 °C (Figura 40).

A fim de ponderar o efeito da umidade relativa na aceitabilidade térmica, foram dispostas as duas categorias de UR registradas (“entre 60 a 70%” e “entre 71 e 80%”) a 31 °C na Figura 47. Para temperaturas abaixo deste valor, verificou-se que a porcentagem de aceitabilidade foi superior a 80% em todas as categorias de V_{ar} e UR. O tamanho da amostra apresentada na (Figura 47), no entanto, não permitiu uma conclusão sobre os valores de UR e V_{ar} que têm impacto sobre a aceitabilidade térmica mínima de 80%.

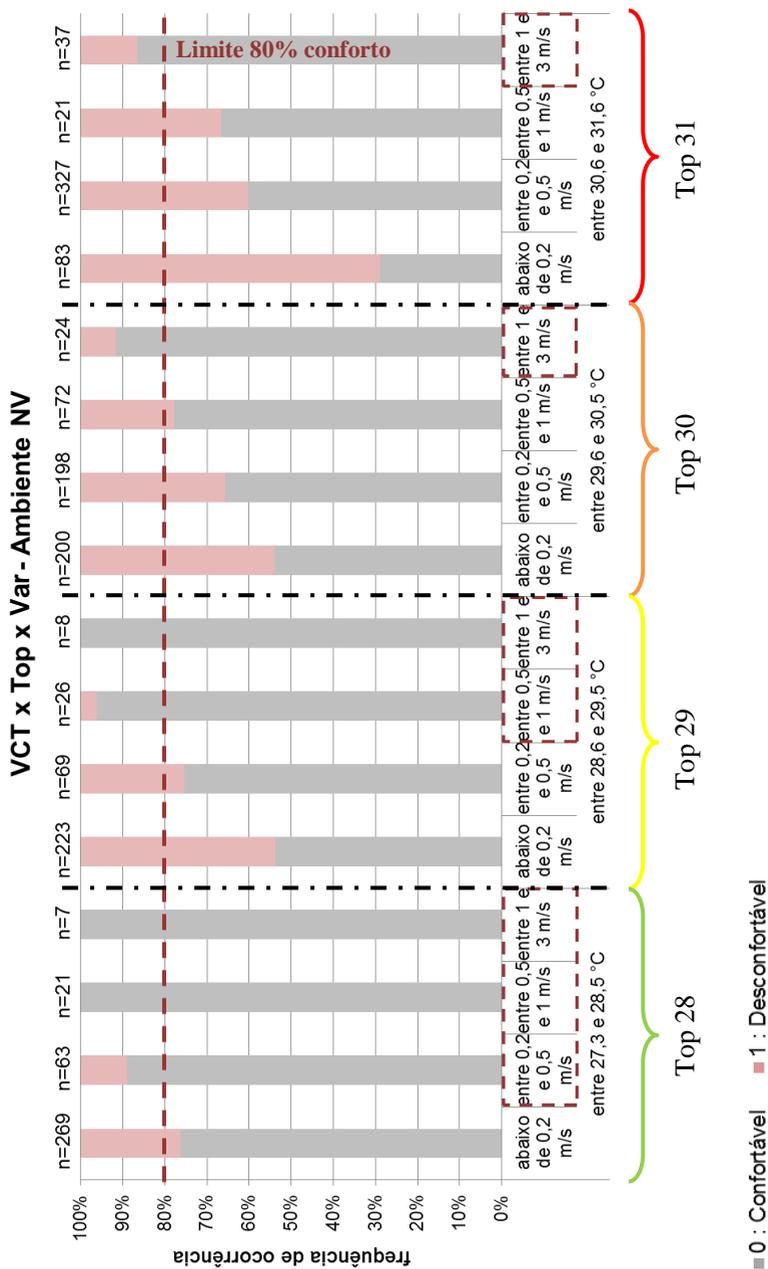
A velocidade do ar mínima necessária para atingir o limite normativo de aceitabilidade térmica, quando UR é inferior a 70%, é de 0,20 m/s; quando UR é superior a 70%, é muito provável que esse valor mínimo seja superior a 0,50 m/s. Porém, a pequena quantidade de dados com as condições de variáveis ambientais citadas dificulta a investigação acerca dos valores mínimos de velocidade do ar. Há a tendência, no entanto, de efeito positivo do movimento do ar sobre a umidade do ar ambiente, amenizando as condições de calor.

Figura 47 – VAT *versus* UR e V_{ar} para T_{op} em torno de 31 °C

A análise dos votos de conforto térmico por categorias de T_{op} e de V_{ar} (Figura 48) indica que a condição mínima de conforto térmico (80%) foi satisfeita por valores de V_{ar} acima de 0,20 m/s, quando T_{op} está em torno dos 28 °C. Com a elevação de T_{op} , o valor mínimo requerido de V_{ar} para que se atinja 80% de conforto térmico é maior: no mínimo 0,50 m/s para T_{op} em torno dos 29 °C, e 1 m/s para T_{op} acima de 30 °C.

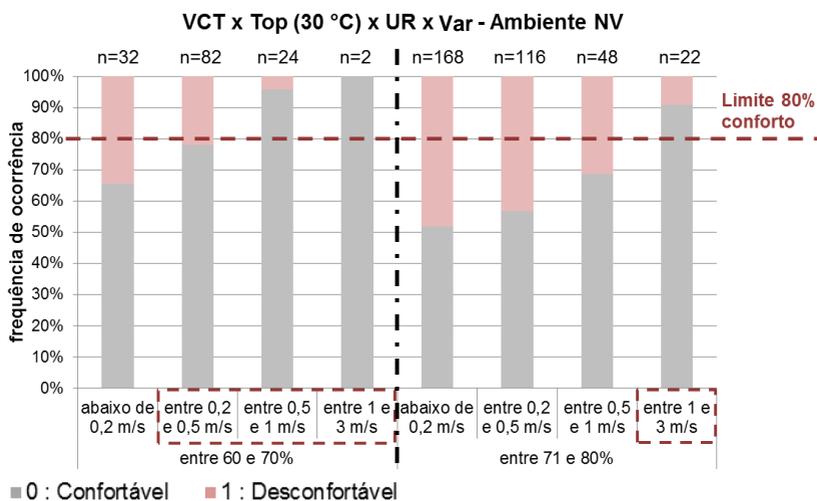
Em comparação à aceitabilidade térmica declarada pelos estudantes, percebe-se que as condições de conforto são mais restritas, no que se refere às variáveis ambientais estudadas. Sob as mesmas condições de temperatura operativa, foram necessários maiores valores de velocidade do ar a fim de garantir não apenas 80% de aceitabilidade, mas também 80% de conforto térmico, no mínimo. Um exemplo é a condição de T_{op} em torno de 28 °C, na qual o ambiente foi considerado aceitável por mais de 80% dos pesquisados, independentemente de UR e V_{ar} (Figura 46), mas foi considerado confortável por mais de 80% dos estudantes quando o valor de V_{ar} superou 0,20 m/s (Figura 48).

Figura 48 – VCT versus V_{ar} por categoria de T_{op}



Na Figura 49, observa-se a comparação dos votos de conforto térmico por UR e V_{ar} , à temperatura operativa em torno de 30 °C. Quando os valores de UR estão abaixo de 70%, há a tendência de aumento do percentual de conforto à medida em que se aumentam os valores de V_{ar} . Apesar da limitação na quantidade de observações sob essas condições de variáveis ambientais, percebeu-se que o aumento nos valores de V_{ar} , quando UR supera os 70%, não foi efetivo para elevar o percentual de conforto térmico até o limite normativo de 80%, sugerindo a necessidade de outras estratégias de climatização tendo em vista a satisfação dos estudantes quanto ao ambiente térmico.

Figura 49 – VCT *versus* UR e V_{ar} para T_{op} em torno de 30 °C



A partir dessa análise, é possível visualizar o efeito positivo da velocidade do ar sobre a aceitabilidade e o conforto. Nesse contexto, elevações de temperatura operativa da ordem de 3 °C (de 28 a 31 °C) foram atenuadas, dentro dos limites sugeridos, por aumento de velocidade do ar na ordem de 1 m/s ou mais. O trabalho realizado por Indraganti et al. (2014) obteve resultados similares em edificações de escritórios naturalmente ventilados na região quente e úmida da Índia, da ordem de 2,7 °C para o mesmo acréscimo médio de velocidade do ar.

É importante frisar que foram registrados poucos valores de velocidade do ar superiores a 1 m/s, em comparação às demais categorias de V_{ar} estudadas (ocasionando insignificância em alguns testes estatísticos aplicados). Tal situação é produto da disponibilidade,

funcionamento e localização (pontual) dos ventiladores de parede nas salas de aula, o que reduz a oferta de maior movimento do ar para os estudantes.

No geral, a dimensão da expectativa pode ser exemplificada por alguns dos votos de percepção térmica. O fato de a sensação, a preferência, a aceitabilidade e o conforto térmicos pouco sofrerem alterações a partir de certo patamar (no caso, a mudança de T_{op} de 28 para 29 °C) deve indicar conformismo – no sentido de grande aceitação independente da variação nas condições ambientais internas – por parte dos estudantes em relação ao ambiente com o qual estão acostumados a frequentar. Ou seja, as expectativas quanto ao ambiente térmico das salas de aula são, no geral, modestas.

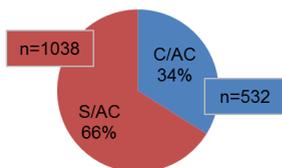
Considerando que os votos de percepção térmica aqui apresentados explicitaram grande percentual de desconforto térmico e enorme preferência por maior resfriamento em ambientes caracterizados por elevadas temperaturas ao longo de todo o ano, procurou-se obter informações sobre variáveis ambientais e percepções térmicas também em ambientes com ar condicionado. Toda a análise das condições de aceitabilidade e conforto nesses ambientes será apresentada no sub-item 4.4.

4.2.2 Influência da exposição ao ar condicionado

A exposição dos estudantes aos ambientes internos com ar condicionado ativo foi abordada nesta pesquisa de duas maneiras: perguntou-se sobre o modo de condicionamento ao qual estavam expostos uma hora antes do estudo de campo (denominada exposição prévia ao ar condicionado, ou apenas exposição prévia), e sobre a vivência cotidiana em ambientes com ar condicionado (chamada de exposição rotineira). Os votos de percepção térmica foram relacionados a cada forma de exposição, e os resultados são apresentados a seguir.

Figura 50 – Distribuição da amostra por exposição prévia em ambiente NV

Exposição prévia ao ar condicionado (n=1570)

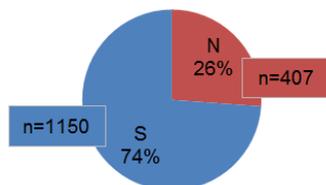


Na Figura 50 é ilustrada a distribuição da amostra de pesquisados por tipo de exposição prévia (C/AC significa com exposição ao ar condicionado uma hora antes do estudo de campo, e S/AC, sem exposição). Constatou-se que a proporção entre estudantes com e sem ar condicionado na hora anterior ao estudo de campo é de aproximadamente 1:2 – a maioria dos alunos não esteve em ambientes com ar condicionado ativo no intervalo horário anterior ao estudo de campo.

O teste de qui quadrado para independência foi aplicado em relação às categorias de variáveis estudadas, a fim de verificar o quantitativo de cada categoria por tipo de exposição. Nesse teste, o resultado do p-valor maior do que 0,05 (nível de significância adotado nesta pesquisa) indica independência entre as categorias de variáveis analisadas. Apenas a variável T_{op} resultou em p-valor maior do que 0,05, garantindo a independência entre os dois critérios de agrupamentos. Tal resultado foi considerado satisfatório, uma vez que T_{op} é a variável ambiental de maior peso na percepção térmica dos estudantes. Ou seja, as diferenças entre os votos de percepção térmica entre os grupos com e sem exposição não são oriundas da influência da temperatura operativa interna.

Figura 51 – Distribuição da amostra por exposição rotineira em ambiente NV

Exposição rotineira ao ar condicionado (n=1557)



Na Figura 51 é ilustrada a distribuição da amostra de pesquisados por tipo de exposição rotineira (S representa o grupo com exposição rotineira ao ar condicionado, e N representa o grupo sem a exposição em questão). Nesse caso, a proporção entre estudantes que não possuem vivência e que possuem vivência em ambientes com ar condicionado é próxima de 1:3 – a maioria usa ar condicionado na dia-a-dia. Em relação ao teste de qui quadrado, a independência entre agrupamentos de exposição rotineira e categorias de variáveis ambientais foi confirmada para todas elas (p-valor > 0,05).

Na análise da distribuição dos votos de percepção térmica em função dos agrupamentos de exposição, foram utilizados o teste de qui quadrado para tabela de contingência (Qui qua) e o teste T de Welch para médias (valor numérico dos votos) de duas amostras não associadas. Os resultados de p-valor dos testes realizados estão descritos na Tabela 27. O p-valor < 0,05 indica a dependência (associação) entre as categorias de exposição ao ar condicionado e o voto de percepção térmica em questão, pelo teste de qui quadrado. E indica que a diferença entre médias numéricas do voto de percepção térmica analisado é estatisticamente significativa, no caso do teste T de Welch.

Tabela 27 – Testes estatísticos relacionando exposição e percepção em ambiente NV

	Exposição Prévia		Exposição Rotineira	
	Qui qua	Teste T	Qui qua	Teste T
Sensação	0,11	0,21	0,01*	0,001*
Aceitabilidade	0,61	0,55	0,29	0,24
Conforto	0,28	0,25	0,007*	0,005*
Preferência térmica	0,02*	0,03*	0,31	0,69
Pref. mov. ar	0,005*	0,001*	0,008*	0,001*
Pref. por um modo de condicionamento	0,22	-	3,8e-07*	-

*p-valor < 0,05

Observou-se que a exposição prévia ao ar condicionado teve influência sobre as preferências questionadas ao longo do horário de aula (térmica e quanto ao movimento do ar). Na Figura 52 está representada a diferença percentual entre as duas amostras (C/AC e S/AC), nas quais se percebe o aumento da preferência por resfriamento e por maior movimento do ar no grupo sem exposição prévia, ou, em outras palavras, a diminuição da preferência por resfriamento no grupo com exposição prévia. Os demais votos analisados não tiveram alterações significativamente estatísticas em função da exposição prévia.

Já a exposição rotineira ao ar condicionado influenciou os votos de sensação e conforto térmicos, além da preferência por movimento do ar e da preferência por um modo de condicionamento – questionados sobre qual escolheriam para o ambiente em questão, com opções entre ar condicionado (AC), ventilação natural (VN) e ventilação natural + ventiladores (VN + VENT).

Figura 52 – Preferências em função da exposição prévia em ambiente NV

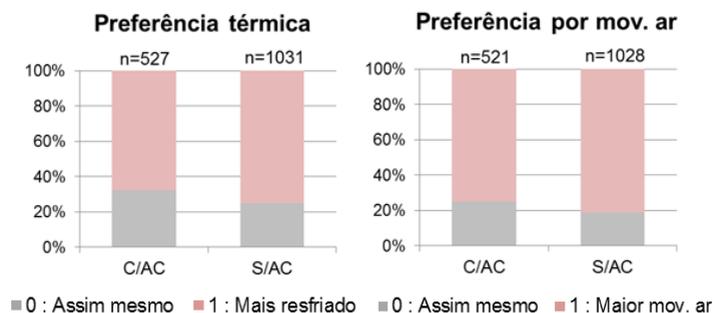
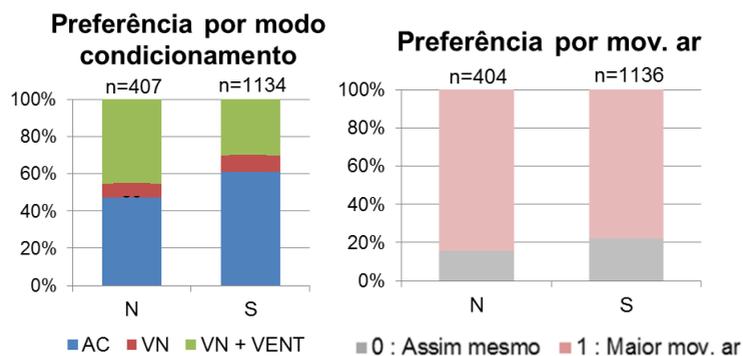


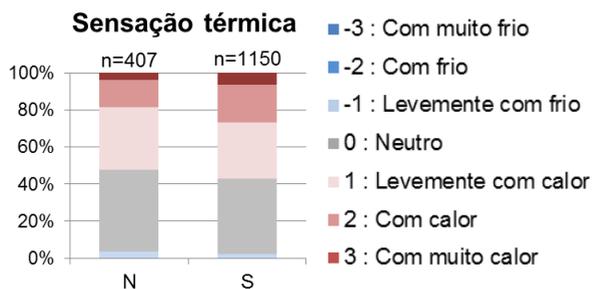
Figura 53 – Preferências em função da exposição prolongada em ambiente NV



Na Figura 53 são ilustradas as preferências afetadas pela exposição rotineira ao ar condicionado. É bem claro o aumento no percentual de preferência por utilizar o ar condicionado como estratégia de condicionamento das salas de aula, com o propósito do resfriamento, quando analisada a amostra S. Assim como ocorreu com a exposição prévia, a preferência por maior movimento do ar no grupo sem exposição rotineira (N) foi percentualmente maior. Esses resultados estão de acordo com os do estudo de Kalmár (2016), no qual se percebeu que pessoas não habituadas ao uso constante do ar condicionado preferiram temperaturas internas menores e maior movimento do ar durante o verão. A preferência por maior movimento do ar nesse grupo foi atribuída ao costume de operar janelas durante o verão, na ausência de equipamentos condicionadores de ar (KALMÁR, 2016).

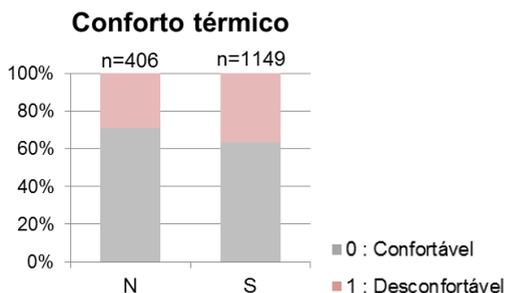
A distribuição dos votos de sensação térmica foi diferente entre as duas amostras, apesar de que as variáveis ambientais não diferiram entre ambas. A principal diferença é o aumento do percentual de votos de extremo calor (+2 e +3) e a diminuição da quantidade de votos próximos à “neutralidade” (0 e +1) para o grupo com exposição rotineira ao ar condicionado (Figura 54). É provável, portanto, que a exposição prolongada provoque a redução da tolerância térmica em relação às sensações de calor. Os resultados da pesquisa de Cândido et al. (2010b), realizada em salas de aula naturalmente ventiladas em Maceió, apresentaram tendências similares em relação aos votos de sensação térmica e de preferência por um modo de resfriamento, proferidos pelos estudantes.

Figura 54 – Sensação térmica em função da exposição prolongada em ambiente NV



Para os votos de conforto térmico, evidenciou-se o aumento do percentual de votos de desconforto na amostra com exposição rotineira (Figura 55). Considerando que as condições ambientais são as mesmas para ambos os grupos – com e sem exposição rotineira –, e que as variáveis têm influência comprovada sobre os votos de percepção térmica, verificou-se que a exposição rotineira a ambientes internos com ar condicionado ativo teve impacto sobre os principais votos de percepção térmica abordados. Tal exposição pode vir a alterar as interpretações sobre o que é conforto e desconforto, e sobre o que representam as sensações descritas pela escala sétima (neutro, levemente com calor, com calor e com muito calor), no entendimento de cada indivíduo.

Figura 55 – Conforto térmico em função da exposição prolongada em ambiente NV



A aceitabilidade térmica não teve relação com nenhuma das duas categorias de exposição ao ar condicionado. Com base na discussão sobre variáveis ambientais internas e votos de percepção térmica feita até o momento, tal afirmação contribui para o pensamento de que o julgamento da aceitabilidade térmica por parte dos estudantes tem influência de fatores não apenas relacionados à dimensão ambiental das salas de aula, mas também relativos às expectativas e a contextos específicos não mensurados (por exemplo, insatisfação por razões extra classe), dos quais não se descarta um impacto sobre os votos de percepção térmica ao longo da pesquisa.

No geral, percebeu-se que o impacto da exposição prévia sobre a percepção térmica dos estudantes refletiu uma condição de momento – sobre as preferências para o horário de aulas – ao passo que a exposição rotineira traz uma espécie de ação a longo prazo, sobre os referenciais e opiniões individuais, influenciando as escalas de percepção do ambiente térmico com impacto sobre os limites toleráveis para sensações de calor. A análise da influência das categorias de exposição sobre os votos de percepção térmica também foi feita com a amostra de estudos de campo realizados em ambientes com ar condicionado (sub-item 4.4).

4.2.3 Temperatura operativa neutra da amostra pesquisada

Na Figura 56, é representado o voto de preferência térmica (VPT) por cada categoria de sensação térmica votada em ambientes naturalmente ventilados. A preferência por estar “mais aquecido” foi desconsiderada nesta representação devido à pequena amostra.

Percebe-se que a maior porcentagem de votos para manter o ambiente térmico “assim mesmo” é encontrada na sensação de

“levemente com frio”, apesar de que a amostra para essa sensação é bem pequena. O voto “neutro” apresentou uma porcentagem elevada de preferência por maior resfriamento (em torno de 40%), reforçando a tendência de preferência pelo frio dado o contexto climático externo vivenciado. A sensação térmica de “levemente com calor”, a segunda mais presente, teve maciça preferência por maior resfriamento. Ou seja, a sensação de calor, mesmo que leve, não agradou os estudantes habituados às condições do clima quente e úmido – e possivelmente acostumados ao ambiente térmico proporcionado pelo ar condicionado.

O cenário ilustrado na Figura 56 indica que, no entendimento dos estudantes, a neutralidade térmica não implica necessariamente em preferência por permanecer “assim mesmo”. O estudo de Kumar et al. (2016), realizado em diversos ambientes naturalmente ventilados de cidades indianas, chegou a um percentual de 51% de votos de preferência por “não mudar” o ambiente térmico, dentro do grupo de votos de sensação térmica classificados como “neutro”, bem próximo ao percentual registrado neste trabalho (56%).

Figura 56 – VPT *versus* VST em ambiente NV

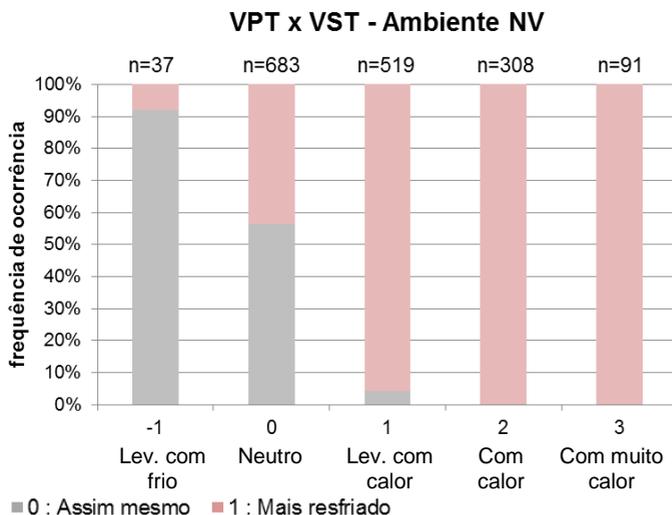
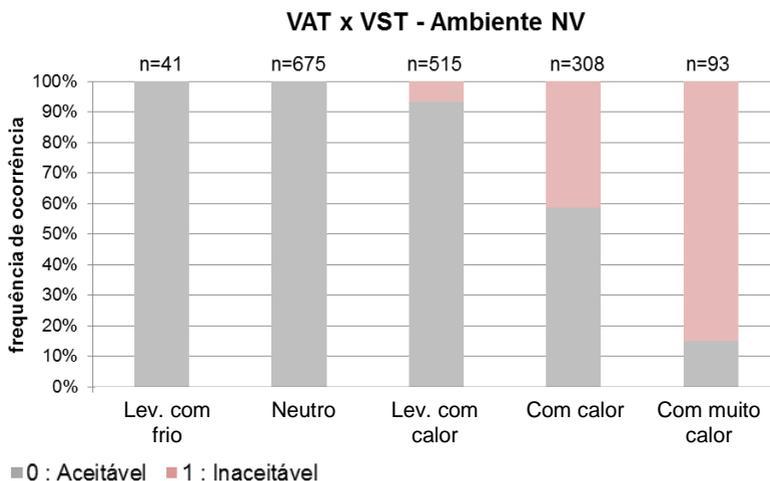


Figura 57 – VAT *versus* VST em ambiente NV

Na Figura 57, destaca-se que aproximadamente 60% dos estudantes consideraram a sensação térmica “com calor” aceitável. O estudo de Mishra e Ramgopal (2014), realizado em laboratórios universitários naturalmente ventilados na Índia, utilizou diferentes métodos para a avaliação da aceitabilidade térmica, sendo que pelo voto de aceitabilidade térmica (“aceitável” ou “inaceitável”), o percentual total foi de 78% em condições de temperaturas operativas que alcançam os 35 °C. Em ambas as situações observa-se grande aceitação das condições internas de calor.

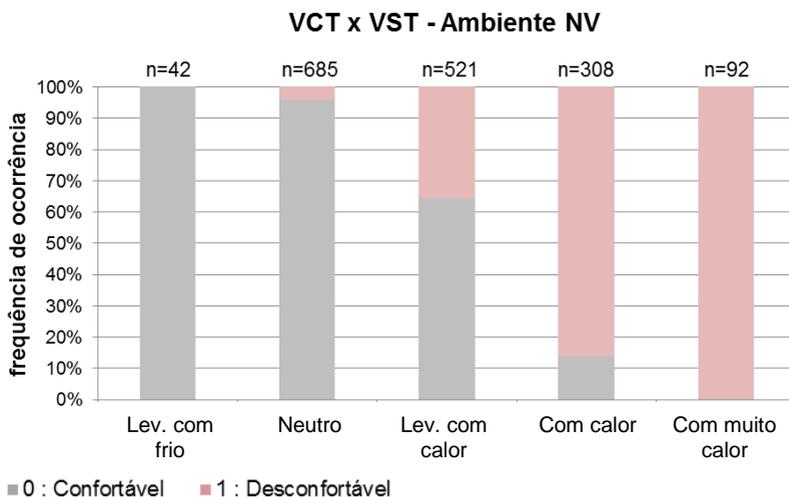
Ainda sobre o estudo indiano, os três votos centrais na escala sétima da ASHRAE *Standard 55* (2013), que vão de “levemente com frio” a “levemente com calor”, representaram 70% dos votos de sensação térmica (em São Luís, foram 75%), ao passo que a preferência por “não mudar” o ambiente térmico correspondeu a 33% dos votos (27% em São Luís). Nesse contexto, avaliar a aceitabilidade térmica em um ambiente por meio do voto de preferência térmica foi considerado extremamente restritivo, uma vez que a preferência parece estar mais relacionada às aspirações das pessoas do que às condições aceitáveis para o momento pesquisado (MISHRA; RAMGOPAL, 2014a).

Os percentuais de conforto térmico por categoria de sensação térmica estão representados na Figura 58. Mais uma vez em destaque, as sensações “levemente com frio” e “neutro” tiveram as maiores porcentagens de conforto. A taxa de desconforto entre os votos de

“neutro” a “com muito calor” cresce significativamente, alcançando 100% no mais extremo voto de sensação térmica.

O cenário ilustrado na Figura 58 difere da maioria dos estudos de campo presentes na literatura (FANGER, 1970), nos quais a condição de conforto térmico está associada, via de regra, às três escalas centrais de sensação térmica (“levemente com frio” a “levemente com calor”). Xavier (2000), em sua tese de doutorado, discutiu o percentual de insatisfeitos com relação ao ambiente térmico interno em função do voto de sensação térmica (VST) proferido em ambientes reais, ressaltando a subjetividade da insatisfação térmica. Quando analisados os percentuais reais de insatisfação em função do VST, obteve-se o melhor ajuste quando consideradas insatisfeitas 50% das pessoas que votaram +1 e -1 (“levemente com calor” e “levemente com frio”, respectivamente) na escala de sensação térmica. Ou seja, a interpretação desses votos deve variar em função de diversos aspectos, mas aqui se destaca a característica do clima externo como determinante para o percentual de desconforto dos estudantes que declararam sentir “leve calor” (37%).

Figura 58 – VCT *versus* VST em ambiente NV



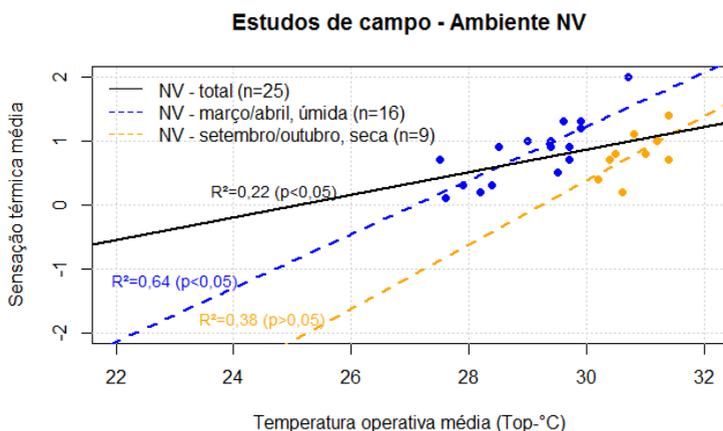
No contexto pesquisado, as sensações de frio e calor não são interpretadas sob a mesma medida, ou seja, não possuem a mesma receptividade, mesmo quando equivalentes em intensidade na escala de sensação térmica. Logo, destaca-se a clara assimetria existente entre os

votos de “levemente com frio” e “levemente com calor”, intermediados pelo “neutro”. As respostas à preferência, aceitabilidade e conforto térmicos são muito mais positivas para a sensação de “levemente com frio”, do que para “levemente com calor”. Tal constatação pode ser interpretada, mais uma vez, como uma resposta à condição do clima externo: calor ao longo de todo o ano e ausência de uma estação de inverno típico brasileiro (frio e seco).

Com base nas análises, é possível concluir que o voto de sensação “neutro” cumpre os requisitos mínimos de aceitabilidade (90%) e conforto (80%) propostos, bem como o voto de “levemente com frio”. Este, no entanto, atendeu melhor às preferências dos estudantes, indicando que uma sensação mais próxima de leve frio é a mais desejável. Tal constatação certamente está relacionada ao contexto climático de calor em São Luís, com o acréscimo do efeito da exposição prolongada aos ambientes condicionados artificialmente.

A discussão sobre a temperatura operativa neutra da amostra pesquisada em ambientes naturalmente ventilados considerou como referência, portanto, os votos de sensação térmica classificados como “neutro” pelos participantes da pesquisa. Foram feitas regressões lineares entre temperatura operativa média e sensação térmica média (ambas por estudo de campo), as quais cumpriram todos os requisitos de validação dos modelos de regressão (testes de normalidade de resíduos, de independência de variáveis e de distribuição homogênea de variâncias - Tabela 12).

Figura 59 – Regressão linear entre temperatura operativa média e sensação térmica média



Na Figura 59 é ilustrada a regressão com todos os dados (total de estudos de campo) e as regressões por estação (março/abril em azul, setembro/outubro em laranja). A regressão total, considerando os dados de ambas as estações pesquisadas, obteve o menor coeficiente de determinação (R^2) a um nível de significância $p < 0,05$, o que faz com que esse valor de R^2 (considerada uma determinação fraca, menor do que 0,40) não seja devido ao mero acaso. Esse modelo indicou sensação térmica média neutra a uma temperatura operativa média de 25,1 °C, valor que não foi registrado ao longo das pesquisas de campo.

Estudos de campo realizados em edificações naturalmente ventiladas de Douala, em Camarões, cujo clima é tropical quente e úmido com duas estações distintas, chegaram a resultados de temperatura neutra similares: 25 °C em edificações não residenciais (NEMATCHOUA; TCHINDA; OROSA, 2014), e 26,5 °C em residências (NEMATCHOUA; TCHINDA; RICCIARDI; et al., 2014).

Ao se observar as regressões por estação, constata-se que os valores de R^2 são maiores do que aquele apresentado pela regressão total, e que as inclinações das retas são similares, distanciadas por aproximadamente 2 °C de T_{op} média. No entanto, o modelo para os meses de setembro/outubro – estação seca – apresentou ajuste R^2 considerado fraco ($0,40 < R^2 < 0,70$) e não obteve significância estatística (p -valor $> 0,05$), provavelmente por conta da pequena amostra. A temperatura operativa neutra, nesse caso, foi de 29,2 °C. Já o modelo para os meses de março/abril – estação chuvosa – apresentou o maior valor de R^2 , considerado moderado, e é estatisticamente significativo (p -valor $< 0,05$), com temperatura operativa neutra de 27,1 °C.

É provável que a diferença de temperatura neutra entre as estações seja produto da adaptação fisiológica ocorrida em função da mudança de estação (da chuvosa para a seca), uma vez que a temperatura neutra da amostra aumentou quando as temperaturas externas se elevaram na estação seca. Outro aspecto que reforça a ideia dessa adaptação são as médias de sensação térmica por estudo de campo, as quais estão localizadas, em sua maioria, entre 0 e 1 (eixo y – sensação térmica média), independentemente da estação do ano. Em outras palavras, tanto em março quanto em setembro a sensação térmica média esteve naquela faixa, ao passo que as temperaturas operativas médias por estudo de campo aumentaram em setembro.

Existem referências de estudos de campo em ambientes naturalmente ventilados no clima quente e úmido que obtiveram

temperaturas neutras mais elevadas. No contexto indiano, essas temperaturas tendem a acompanhar o regime externo de acordo com a sazonalidade. Portanto, durante a estação mais quente, quando as temperaturas externas ficam em torno dos 35 °C, a temperatura operativa neutra supera os 29 °C (MISHRA; RAMGOPAL, 2015a; DHAKA et al., 2015; KUMAR et al., 2016). O estudo de De Dear et al. (1991) em ambientes residenciais naturalmente ventilados de Cingapura teve como resultado uma temperatura operativa neutra de 28,5 °C.

Em que pese as diferenças socioculturais entre a cidade de São Luís e as localidades citadas (que são de domínio climático semelhante), e considerando as condições térmicas encontradas nas salas de aula utilizadas nesta pesquisa, é possível afirmar que os valores de temperaturas neutras para as respectivas amostras específicas por estação são coerentes e refletem a adaptação fisiológica ocorrida ao longo do ano. Os percentuais de votos de sensação térmica neutros relativos às T_{op} mais próximas de 27,1 e 29,2 °C são, respectivamente, de 60 e 52% – os maiores de cada estação.

É importante destacar que não foram registrados valores de temperatura interna menores do que 27 °C nos ambientes naturalmente ventilados, justamente o valor de T_{op} mais próximo da neutralidade térmica pelo modelo de regressão para março/abril. As discussões anteriores, no entanto, sugerem que os estudantes têm preferência por temperaturas internas mais baixas, o que ocorreu apenas nos ambientes com ar condicionado. Portanto, a análise da percepção térmica nesses ambientes (sub-item 4.4 Ambientes com ar condicionado ativo) pode oferecer uma melhor ideia das condições térmicas internas que mais se aproximam do ideal para os participantes da pesquisa.

4.3 ABORDAGEM ADAPTATIVA DE CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES NATURALMENTE VENTILADOS

A avaliação do ambiente térmico das salas de aula naturalmente ventiladas utilizadas nesta pesquisa foi feita por meio do método “Determinando as condições térmicas aceitáveis em ambientes naturalmente ventilados controlados pelos usuários” – conforme ASHRAE *Standard* 55 (2013) e Lamberts et al. (2013). Os requisitos de aplicação do método (os quais estão descritos no sub-item 3.5.2) foram cumpridos, exceto pela delimitação do valor de isolamento da vestimenta (clo) entre 0,5 e 1 unidades clo, por norma. Os valores de clo encontrados ao longo da pesquisa de campo são, na sua grande maioria, menores do que 0,5,

devido à flexibilização do padrão de vestimenta no ambiente do curso superior. No entanto, procedeu-se à análise mesmo sob essa condição.

Figura 60 – Diagrama adaptativo para médias de estudos de campo

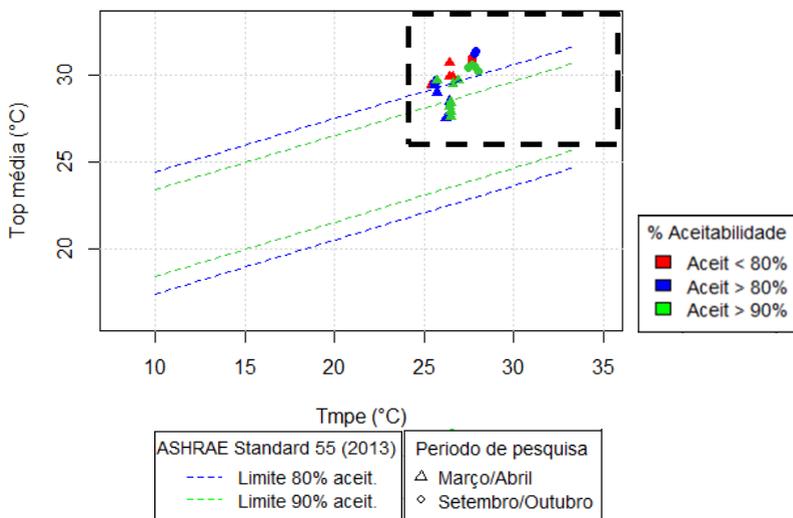
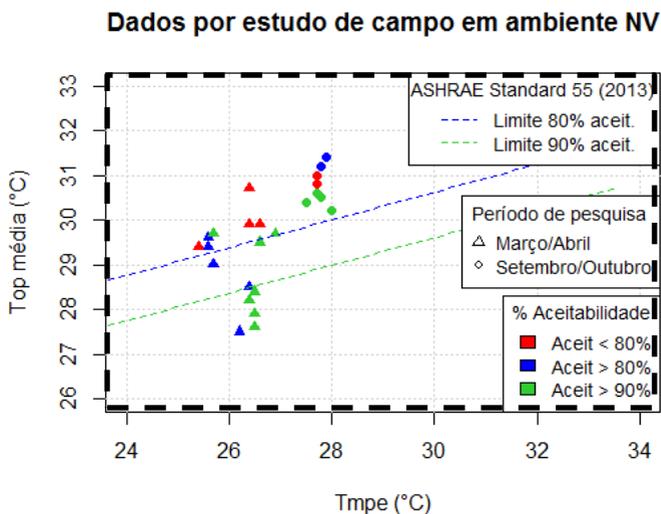


Figura 61 – Ampliação do diagrama adaptativo para médias de estudos de campo



A princípio, foram utilizados os dados de médias por estudo de campo: temperatura média predominante externa (T_{mpe}) e temperatura operativa interna média (T_{op}); cada estudo de campo corresponde a um par de valores de temperaturas médias. Posteriormente, a análise do efeito do movimento do ar sobre a aceitabilidade térmica foi feita com todos os votos proferidos pelos estudantes em ambientes naturalmente ventilados, por meio do agrupamento em faixas de velocidade do ar conforme estipuladas pela normativa ASHRAE *Standard 55* (2013).

Na Figura 60 é mostrado o diagrama do modelo adaptativo em sua totalidade; a ampliação do recorte em destaque está na Figura 61. Em ambas as figuras, estão representados os dados por médias de estudos de campo ($n=25$), categorizados por período de pesquisa (estação) e por porcentagem de aceitabilidade térmica obtida a cada estudo. Pode-se perceber a delimitação de T_{mpe} por estação, sendo que aos meses de março/abril correspondem os valores abaixo de 27 °C, e aos meses de setembro/outubro, os valores acima de 27 °C. Dito isso, nota-se também a variação de T_{op} média por estação, com as menores temperaturas registradas nos meses de março/abril (estação chuvosa). Ainda assim, todos os dados coletados ocupam a zona do diagrama que representa sensação térmica de calor.

Considerando a aceitabilidade térmica média por estudo de campo, analisada em relação aos limites estabelecidos pela ASHRAE *Standard 55* (linhas tracejadas em azul e em verde, na Figura 61), pode-se dizer que a maioria dos estudos de campo se enquadrou nos limites de aceitabilidade mínima, enquanto alguns dos estudos tem percentuais de aceitabilidade que são superiores ao esperado (predito pelo modelo), considerando a relação entre temperaturas internas e externas.

Dentre as possíveis componentes com influência na aceitabilidade térmica, além das temperaturas, citam-se a umidade relativa do ar e a velocidade do ar (as quais serão investigadas adiante), além de outras questões observadas ao longo do desenvolvimento da pesquisa. Afinal, verificou-se que a percepção térmica dos estudantes – em especial a aceitabilidade térmica – não foi explicada apenas pelas variáveis ambientais em um cômodo com ventilação natural. Tal constatação levou à listagem de ocorrências observadas in loco que poderiam ter exercido alguma influência sobre a percepção térmica.

Percebeu-se, por exemplo, uma associação entre a aceitabilidade e o turno no qual as aulas ocorreram. Considerando que grande parte das aulas do curso ocorrem no turno vespertino, a maioria dos estudos de campo cujo percentual de aceitabilidade superou os 90% e cuja posição

no diagrama é acima do respectivo limite (símbolos em verde/azul e linha tracejada em verde/azul na Figura 61) ocorreram nas aulas realizadas pela manhã, pelo fim de tarde ou início de noite. Em alguns desses estudos (a exemplo das aulas no início do período noturno), as variáveis ambientais correspondentes não diferiram significativamente daquelas registradas em aulas ao longo do turno vespertino.

A ocorrência de chuva nos meses de março e abril esteve relacionada à aceitabilidade média por estudo de campo, embora não se tenha mensurado essa componente referente à dimensão da expectativa em ambiente naturalmente ventilado. Em dias predominantemente nublados e/ou com registro de chuva durante a realização dos estudos de campo, a aceitabilidade média registrada foi superior à esperada tendo como referência o diagrama adaptativo (triângulos em verde/azul e linha tracejada em verde/azul na Figura 61).

A fim de visualizar o efeito do movimento do ar sobre a aceitabilidade térmica e verificar a aplicação dos limites superiores de temperatura operativa interna por categoria de velocidade do ar, todos os votos de aceitabilidade (n=1632) foram agrupados entre “aceitável” e “inaceitável” e colocados no diagrama adaptativo. Os percentuais de aceitabilidade e conforto referentes às amostras também estão representados nos diagramas a seguir. Há um diagrama para cada categoria de velocidade do ar, e a nova categorização é baseada nos valores de velocidade do ar definidos na ASHRAE *Standard* 55 (2013). Os dados utilizados estão resumidos na Tabela 28.

Tabela 28 – Resumo dos dados de V_{ar} por voto de aceitabilidade

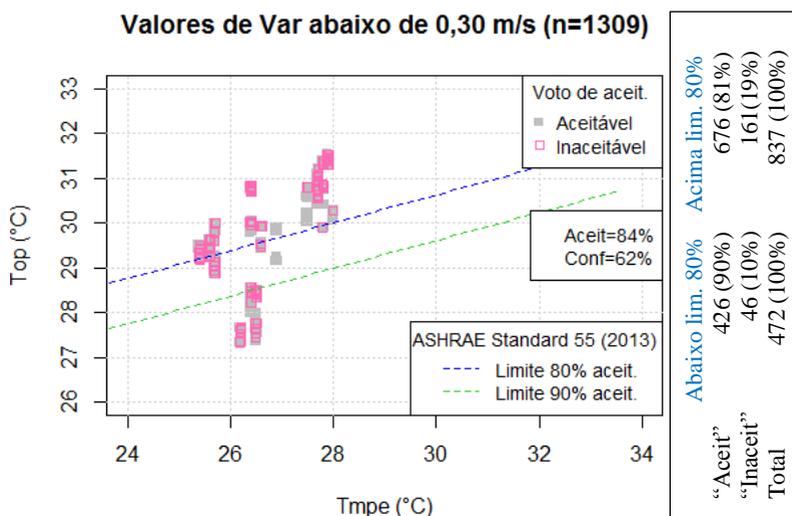
<i>Voto</i>	$V_{ar} \leq 0,30$	$0,31 < V_{ar} \leq 0,60$	$0,61 < V_{ar} \leq 0,90$	$V_{ar} > 0,91$
Aceit.	1102	177	42	71
Inaceit.	207	24	4	5
Total	1309	201	46	76

Os limites superiores de aceitabilidade dos diagramas (linhas tracejadas) foram adaptados conforme as recomendações da ASHRAE *Standard* 55 (2013). Os acréscimos foram de 1,2, 1,8 e 2,2 °C de temperatura operativa para V_{ar} abaixo de 0,60, 0,90 e 1,20 m/s, respectivamente. Considerou-se as medições de V_{ar} acima de 1,20 m/s, obtidas em campo, como parte da categoria “ $V_{ar} > 0,91$ m/s” (pela norma, a categoria é “entre 0,91 e 1,20 m/s”).

Para valores de V_{ar} menores ou iguais a 0,30 m/s (Figura 62), os limites de aceitabilidade são os mesmos apresentados no diagrama por

médias dos estudos de campo. Naquela análise (Figura 61), seria inconclusivo avaliar o efeito do movimento do ar como um valor médio por estudo de campo, uma vez que dentro do mesmo estudo de campo os valores de V_{ar} medidos próximos a cada estudante variaram entre si, em alguns casos – devido, principalmente, ao uso dos ventiladores de parede. Sob as mesmas condições de movimento do ar (V_{ar} menor ou igual a 0,30 m/s) e condições diversas de T_{op} e UR, a aceitabilidade média desses votos foi de 84%.

Figura 62 – Diagrama adaptativo para V_{ar} menor ou igual a 0,30 m/s

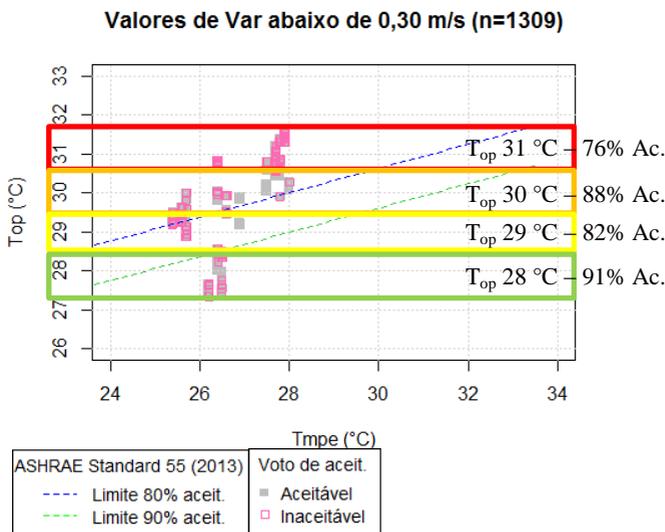


Na Figura 63 estão representadas as categorias de T_{op} previamente utilizadas na análise de percepção térmica (sub-item 4.2, Tabela 24), acompanhadas dos respectivos percentuais de aceitabilidade térmica. Nas faixas de temperaturas operativas de 28 °C e 31 °C, os percentuais de aceitabilidade estiveram acima de 90% e abaixo de 80%, respectivamente, indicando o efeito da temperatura média interna sobre a aceitabilidade geral do ambiente térmico. As categorias de T_{op} a 29 e 30 °C, as quais contém pontos plotados dentro e fora dos limites de aceitabilidade, foram exploradas em detalhe mais adiante.

Isolando-se os dados de T_{op} em torno de 29 °C que corresponderam a valores de V_{ar} abaixo de 0,30 m/s (Figura 64), notou-se duas condições distintas de T_{mpe} , separadas pelo limite de 26 °C. Essas condições estão ligadas às características do clima externo vigente

ao longo dos sete dias que antecederam o registro dessas variáveis ambientais. É provável que no caso de T_{mpe} abaixo de 26 °C tenha ocorrido maior quantidade de dias predominantemente nublados e/ou chuvosos, em relação aos casos em que T_{mpe} superou os 26 °C.

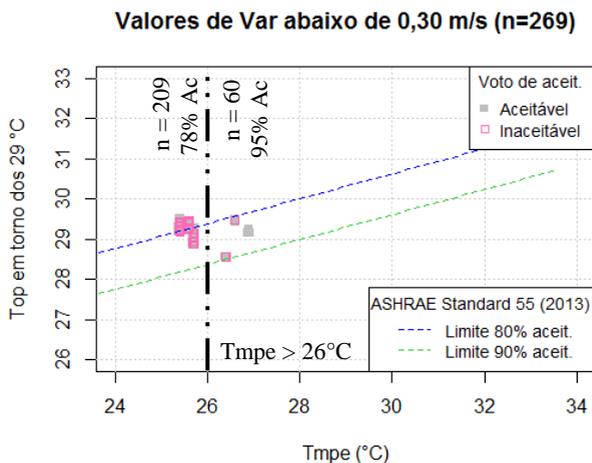
Figura 63 – Diagrama adaptativo para V_{ar} menor ou igual a 0,30 m/s, com destaque para as categorias de T_{op}



Na comparação entre a predição do modelo adaptativo (localização dos pontos no diagrama e sua relação com os limites de aceitabilidade estabelecidos) e o percentual real de aceitabilidade média (indicado por condição de T_{mpe} na Figura 64), constatou-se boa correspondência dos dados coletados ao modelo adaptativo estudado neste trabalho.

Isolando-se os dados de T_{op} em torno de 30 °C que corresponderam a valores de V_{ar} abaixo de 0,30 m/s, é possível perceber três condições distintas de T_{mpe} , separadas pelos limites de 26 e 27 °C (Figura 65). Os dados de T_{mpe} acima de 27 °C, nessa representação, correspondem à estação seca (setembro/outubro), caracterizada por temperaturas médias mais elevadas. A porcentagem de aceitabilidade de 98% foi maior do que aquelas obtidas ao longo da estação chuvosa (86 e 84%), a valores de T_{mpe} menores, fato que leva à discussão sobre as diferenças entre as estações com possível impacto sobre a aceitabilidade térmica nessa representação.

Figura 64 – Diagrama adaptativo para V_{ar} menor ou igual a 0,30 m/s e T_{op} em torno de 29 °C

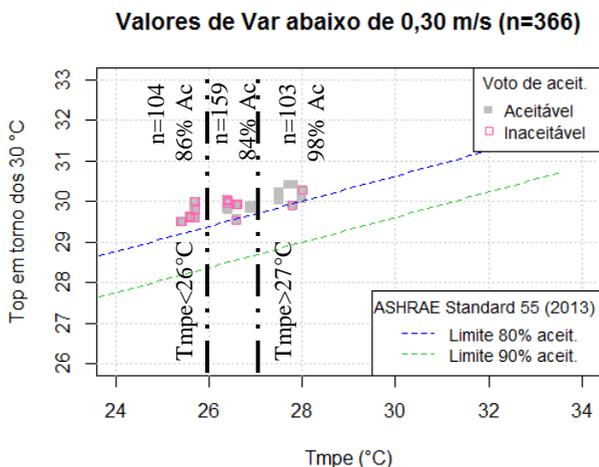


Na faixa de T_{op} a 30 °C (Figura 65), foi detectada a maior variação de umidade relativa, com os valores de UR variando entre 60 a 80%. Como visto anteriormente (sub-item 4.2.1), a maior quantidade de água no ar teve influência direta na redução do percentual de aceitabilidade térmica, quando a temperatura operativa esteve em torno de 30 °C. Tendo em vista que a saturação de água no ar é inversamente proporcional à temperatura externa (correlação R entre T_{mpe} e UR interna foi igual a -0,76), supõe-se que o efeito de UR sobre a aceitabilidade térmica, no âmbito deste estudo, já esteja contemplado no modelo adaptativo para avaliação de conforto térmico em ambientes naturalmente ventilados. De certa forma, as condições de UR interna e externa estão muito relacionadas às temperaturas externas, e isso se refletiu nos valores de T_{mpe} por estação.

Em estudos de campo que abordam a aplicabilidade do modelo adaptativo às condições do clima tropical quente e úmido, é comum se questionar sobre a necessidade de considerar a umidade relativa interna no diagrama do modelo, o qual é composto por temperaturas interna e externa e por velocidade do ar. Mishra e Ramgopal (2015b) ponderam que para os usuários aclimatados às condições de maior umidade, como é o caso da Índia durante a estação de monção, a noção do que seria considerado umidade relativa elevada, por parte dessas pessoas, é discutível.

Toe e Kubota (2013), de posse de dados obtidos em diversos climas quente secos e quente úmidos (médias de UR nas amostras iguais a 67,6 e 40,5%, respectivamente), afirmam que a umidade relativa teve influência significativa no modelo obtido para os dados de climas quente secos, mas não para os de climas quente úmidos. Considerando os dados obtidos ao longo dos estudos de campo em São Luís, nos quais o valor de umidade relativa foi sempre superior a 60%, conclui-se que o diagrama do modelo adaptativo satisfaz a avaliação das condições térmicas internas aceitáveis sem a necessidade de alterações em função dos níveis de umidade relativa.

Figura 65 – Diagrama adaptativo para V_{ar} menor ou igual a 0,30 m/s e T_{op} em torno de 30 °C



O efeito do aumento da velocidade do ar para valores de V_{ar} entre 0,31 e 0,60 m/s é representado na Figura 66. Os novos limites de aceitabilidade térmica estão representados em linhas cheias, ao passo que os limites para a condição de V_{ar} menor ou igual a 0,30 m/s, em linhas tracejadas. Considerado o novo limite mínimo de 80% de aceitabilidade térmica (linha cheia em azul na Figura 66), todos os pontos associados a um valor de V_{ar} entre 0,31 e 60 m/s, juntos, apresentaram aceitabilidade média de 88%, maior que o limite mínimo levando em conta as condições de temperatura interna e externa.

Figura 66 – Diagrama adaptativo para V_{ar} entre 0,31 a 0,60 m/s

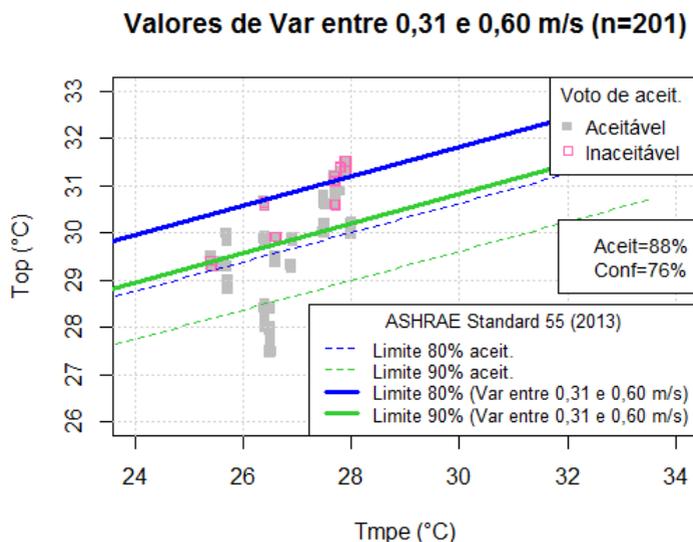
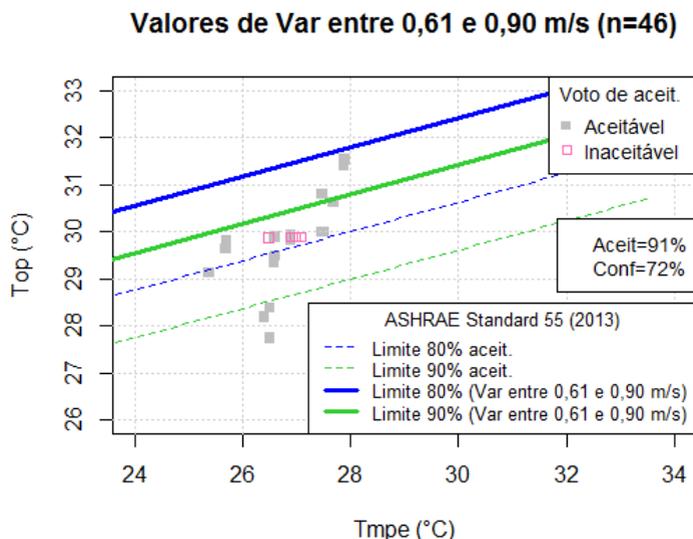


Figura 67 – Diagrama adaptativo para V_{ar} entre 0,61 a 0,90 m/s

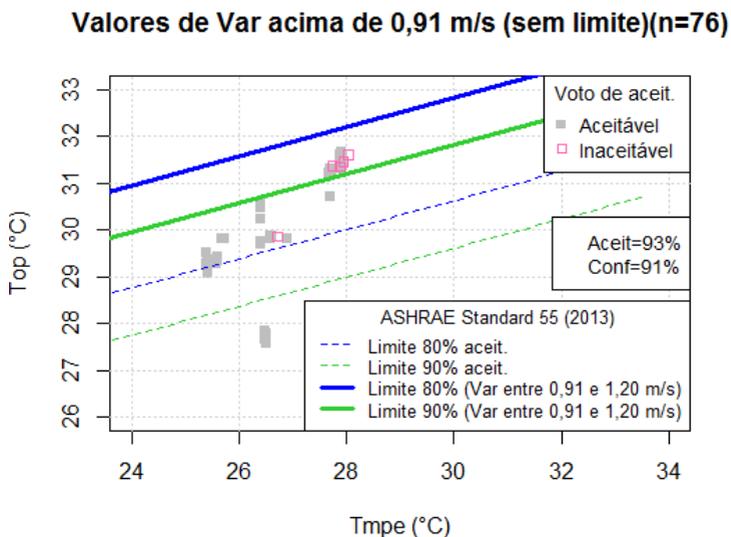


O efeito do aumento da velocidade do ar para valores de V_{ar} entre 0,61 e 0,90 m/s é representado na Figura 67. Em que pese a pequena

amostra, a maioria dos pontos plotados na representação, para essa categoria de velocidade do ar, estão dentro do limite de 90% de aceitabilidade e apresentaram aceitabilidade média de 91%. Consta-se, portanto, que os referenciais de aceitabilidade para velocidades do ar mais elevadas foram aplicáveis nesse caso, e que o percentual de aceitabilidade térmica cresceu devido ao aumento do movimento do ar.

Para V_{ar} acima de 0,91 m/s (Figura 68), foram aplicados os limites designados para valores entre 0,91 e 1,20 m/s (de acordo com a norma), obtendo-se boa correspondência (93% de aceitabilidade térmica e a maioria dos pontos plotados graficamente abaixo do limite de 90% – linha cheia em verde na Figura 68) independentemente dos valores máximos de V_{ar} obtidos na pesquisa de campo. Inclusive, o uso de velocidades mais elevadas (até 2,50 m/s) não foi motivo de reclamação por parte dos estudantes, mesmo por possíveis razões não térmicas tais como movimento indesejado de papeis, cabelos etc.

Figura 68 – Diagrama adaptativo para V_{ar} acima de 0,91 m/s



Ao fim da análise dos dados obtidos em salas de aula naturalmente ventiladas sob as premissas do modelo adaptativo, concluiu-se que o método para ambientes naturalmente ventilados controlados pelos usuários contido na ASHRAE *Standard* 55 (2013) e em Lamberts et al. (2013) foi aplicável ao contexto abordado neste

trabalho. A aplicabilidade dos limites superiores de aceitabilidade térmica, quando ampliados em função do aumento da velocidade do ar, também foi confirmada.

Apesar do requisito de isolamento da vestimenta mínimo para a utilização do método, constatou-se a aplicabilidade mesmo para valores de clo inferiores a 0,5, indicando que a diminuição no valor de clo não interfere na percepção térmica (para a tendência a sentir frio), mas um aumento em seu valor certamente influenciaria essa percepção em relação aos extremos de calor, no contexto climático estudado. Não foram verificadas diferenças dos padrões de vestimenta entre as duas estações, apesar de que na estação chuvosa ocorrem temperaturas um pouco mais baixas do que o usual.

O modelo adaptativo avalia, conceitualmente, as condições térmicas aceitáveis em ambientes naturalmente ventilados. No entanto, há que se destacar a aparente diferença semântica entre “aceitabilidade” e “conforto” no entendimento dos participantes da pesquisa. Percebeu-se, inclusive, que a diferença entre os percentuais de aceitabilidade e conforto é maior quanto menores os valores de velocidade do ar analisados, reforçando a relação existente entre movimento do ar e conforto térmico em climas quente-úmidos. O distanciamento entre as condições térmicas consideradas “aceitáveis” e “confortáveis”, no contexto estudado, pode representar a necessidade de cautela na adoção do modelo adaptativo para a definição de condições térmicas internas, especialmente em relação às sensações de calor.

4.3.1 Ações realizadas pelos estudantes em ambientes naturalmente ventilados

As ações realizadas pelos estudantes durante as aulas, com a finalidade de reestabelecer ou buscar melhorias em seu ambiente térmico, foram quantificadas e estão apresentadas na Figura 69. Existem limitações de ordem estrutural (deficiências na estrutura física do prédio em oferecer maior leque de soluções para o ambiente térmico) como, por exemplo, a inexistência de equipamentos condicionadores de ar e o não funcionamento provisório de alguns ventiladores, as quais possivelmente restringem a dimensão comportamental da adaptação (ajustes) por parte dos estudantes. Apesar disso, não foi notada qualquer espécie de limitação relativa à hierarquia entre professores e estudantes nas salas naturalmente ventiladas.

A conclusão mais evidente é que os estudantes se valeram, principalmente, de alternativas não relacionadas ao que o prédio poderia

oferecer (equipamentos climatizadores ou movimentadores de ar), devido às falhas de planejamento e operação de recursos para controle e melhoria do ambiente térmico. As ações mais praticadas foram, nessa ordem: ingerir bebidas (no caso, água mineral natural ou gelada), movimentar o corpo a fim de se resfriar (ação de abano) e utilizar acessórios tais como leques, lenços e prendedores de cabelo. Não houveram diferenças significativas entre as ações praticadas em função das estações.

Figura 69 – Ações realizadas pelos estudantes em ambientes NV

Categorização de ações - ambiente NV (n=369)



A operação de janelas e de ventiladores chama a atenção devido ao pequeno percentual. No entanto, considerando o contexto do funcionamento do prédio, é possível elencar alguns motivos para a pequena demanda: o não funcionamento de parte dos ventiladores e a rotina de abertura de janelas (em geral, são abertas por algum estudante ou colaborador no turno anterior, e permanecem abertas até o término de todas as atividades do dia). Foram constantes as reclamações dos estudantes em favor do conserto dos ventiladores existentes e da instalação de mais desses equipamentos, em um contexto no qual se esperava maior demanda pela instalação de equipamentos de ar condicionado.

Nesse sentido, é importante destacar que, no âmbito das salas de aula pesquisadas, dois fatores podem estar relacionados à quantidade percentual de preferência absoluta pelo ar condicionado como estratégia de climatização (58% preferiram o ar condicionado, e 42% optaram pela ventilação natural com o auxílio de ventiladores). O primeiro deles é a formação acadêmica dos estudantes em Arquitetura e Urbanismo, a qual pode direcionar a mentalidade de parte dos estudantes em favor das estratégias passivas de climatização. Nesse caso, a preferência pela

ventilação natural foi justificada no espaço do questionário destinado aos comentários dos estudantes.

O segundo fator, relacionado ao primeiro, é a relação existente entre os estudantes e a edificação do curso, a qual está inserida em um sítio histórico tombado. A dificuldade em realizar alterações de ordem estrutural no prédio, tais como a abertura de novos vãos (e a consequente alteração de fachada) para favorecer a ventilação natural e a instalação de um sistema de climatização nas salas de aula, foram citadas pelos estudantes em alguns dos comentários presentes nos questionários. A essas dificuldades estão associadas questões não apenas arquitetônicas, mas possivelmente burocráticas e financeiras. Apesar disso, destaca-se a quantidade de comentários mencionando a preferência pela ventilação natural, principalmente em salas de aula com maior potencial para tal, o que demonstra a preocupação dos estudantes em usufruir do recurso da ventilação, quando disponível.

4.4 AMBIENTES COM AR CONDICIONADO ATIVO

Os estudos de campo foram realizados também em ambientes de salas de aula com ar condicionado ativo (AC), tendo como objetivo o delineamento das condições de aceitabilidade e conforto térmicos em outra situação de condicionamento. Em termos de variáveis ambientais internas (sub-item 4.1.3), os valores de temperaturas, umidade relativa do ar e de velocidade do ar registrados nas salas de aula com ar condicionado operante são menores, em relação aos registros em salas de aula naturalmente ventiladas.

As médias numéricas dos votos de sensação, conforto e aceitabilidade térmicos estão correlacionados à variável temperatura do ar (T_{ar}) interna e aos índices de conforto térmico PMV (*predicted mean vote* ou voto médio predito) e SET (*standard effective temperature* ou temperatura efetiva padrão) – índices utilizados na avaliação de conforto térmico em ambientes internos. O voto de sensação térmica é representado pelo AMV (*actual mean vote* ou voto médio real, também denominado “sensação térmica média”). No caso dos votos de conforto e aceitabilidade, foi adotada a porcentagem do desconforto (% Desconf) e da não aceitabilidade térmica (% considerando o ambiente termicamente inaceitável – % Inac) – Tabela 29.

A temperatura do ar interna foi a variável ambiental de maior correlação aos votos de sensação térmica (0,80, considerada uma correlação forte). Apesar dos índices PMV e SET considerarem a temperatura do ar interno em seu método de cálculo, além de outras

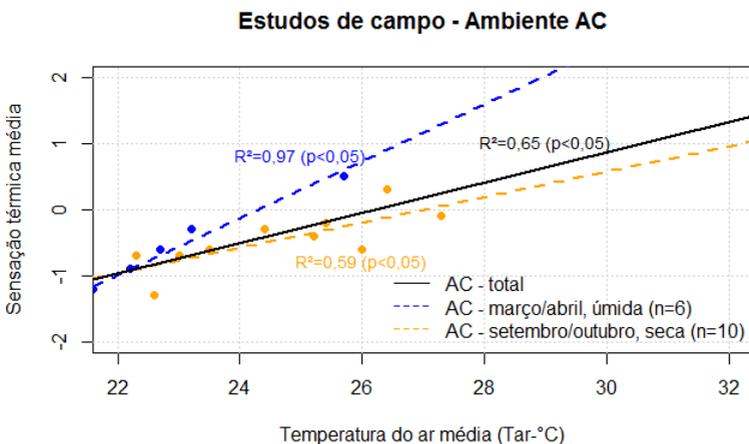
variáveis ambientais e pessoais, a temperatura média do ar teve a maior correlação ao voto médio de sensação térmica por estudo de campo. As porcentagens de estudantes em desconforto e que consideram o ambiente inaceitável, aparentemente, não possuem relação linear estatisticamente significativa com os índices e a variável citados (p -valor $> 0,05$).

Tabela 29 – Correlações em ambientes com ar condicionado ativo, considerando as médias de votos por estudo de campo

Correlação – Coeficiente de Pearson Médias por estudo (n=16 estudos)	AMV	% Desconf	% Inac
Sensação térmica média real (AMV)	1*		
% Desconforto térmico	0,13	1*	
% Não aceitabilidade térmica	-0,18	0,78*	1*
T_{ar} interna média	0,80*	0,05	-0,34
PMV (voto médio predito)	0,73*	-0,08	-0,47
SET (temperatura efetiva padrão)	0,71*	-0,10	-0,50

* p -valor $< 0,05$ (significativo)

Figura 70 – Regressão linear entre temperatura do ar média e sensação térmica média



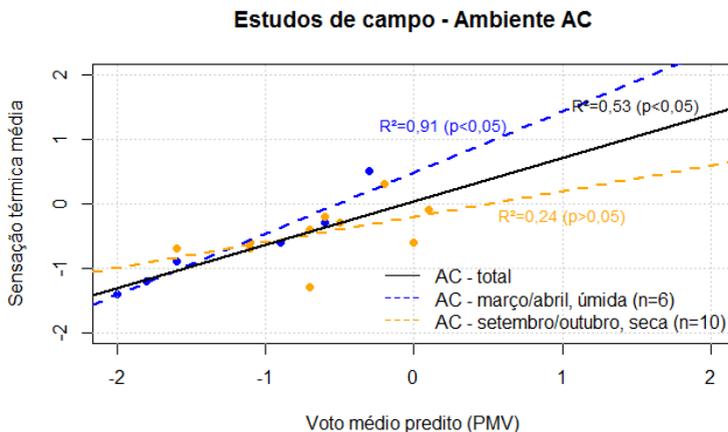
Regressões lineares com os dados de médias por estudo de campo foram feitas para a predição da sensação térmica média, em função da temperatura média do ar (Figura 70) e do índice PMV (Figura 71).

Ambas as regressões foram validadas pelo cumprimento dos pré-requisitos: testes de normalidade de resíduos, de independência de variáveis e de distribuição homogênea de variâncias.

Os modelos de regressão linear entre T_{ar} e sensação térmica apresentaram coeficientes de determinação considerados moderados, no âmbito dessa pesquisa, para o total de estudos de campo e para estudos realizados em setembro (Figura 70). No entanto, o modelo para os meses de março/abril possui determinação muito forte ($R^2 = 0,97$). A principal diferença entre os períodos de pesquisa que pode se refletir nessa representação são as temperaturas externas e internas, mais elevadas durante o período de setembro/outubro.

É provável que as temperaturas internas mais elevadas sejam a razão para o ajuste menos adequado do modelo que contém o PMV como variável independente (Figura 71). Nesse caso, o modelo para os meses de março/abril (período no qual foram registrados menores valores de temperatura do ar) também possui determinação muito forte ($R^2 = 0,91$). Já a regressão para os meses de setembro/outubro não teve significância estatística (p -valor $> 0,05$).

Figura 71 – Regressão linear entre PMV e sensação térmica média

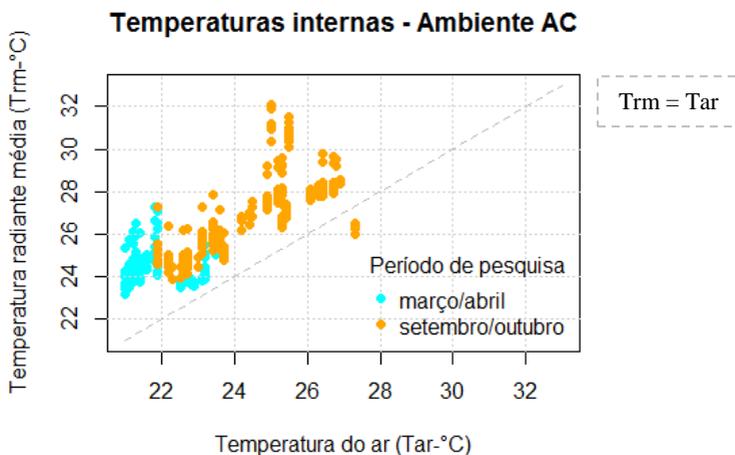


Considerando o elevado coeficiente de determinação e a significância estatística, o modelo de regressão para o período março/abril indica que o índice PMV subestimou o voto médio de sensação térmica em aproximadamente 0,5 unidades na escala sétima (Figura 71). Ou seja, à predição de neutralidade do índice PMV,

corresponde um voto médio real de +0,5, ao passo que o voto médio real de neutralidade é predito como -0,5 (levemente com frio) pelo PMV.

Observou-se, assim como em ambientes naturalmente ventilados, um coeficiente de determinação (R^2) mais baixo para o conjunto de estudos de campo realizados em setembro/outubro (estação seca). Nesse período, foram utilizadas duas salas de aula que não estavam sendo ocupadas ao longo da primeira campanha de medição, por conta do não funcionamento dos equipamentos de ar condicionado naquela ocasião. Pode-se considerar que essas salas estão mais expostas à radiação solar – apresentam paredes externas voltadas ao poente – do que as demais salas ocupadas ao longo do ano, ainda que em praticamente todos os registros de variáveis ambientais internas, a diferença entre temperaturas radiante média e do ar seja relevante (Figura 72). A elevada carga térmica recebida por esses ambientes contribui para a ineficiência do resfriamento pelos equipamentos condicionadores de ar, os quais não conseguem proporcionar menores temperaturas de ar interno.

Figura 72 – Relação entre T_{ar} e T_{rm} em ambiente AC



Considerando o exposto, optou-se pela análise das condições de aceitabilidade e conforto térmicos em função da temperatura do ar interno (T_{ar}). Para tanto, os valores de temperatura do ar registrados em ambientes com ar condicionado ativo foram categorizados conforme a Tabela 30. Valores de T_{ar} em torno de 26 e 27 °C foram agrupados em uma só categoria a fim de aumentar o tamanho da amostra por categoria

e de facilitar a interpretação dos dados, considerando que são valores atípicos em um ambiente com ar condicionado.

Os valores de umidade relativa do ar (UR) e velocidade do ar (V_{ar}) registrados também foram agrupados, variando entre 40 a 75% e entre 0,05 a 1 m/s, respetivamente. Verificou-se que a mudança de categoria de UR, quando em uma mesma categoria de T_{ar} , não teve impacto sobre a sensação, a aceitabilidade e o conforto térmicos dos estudantes nas temperaturas analisadas, o que leva a crer que o efeito da umidade relativa do ar sobre a percepção térmica é significativo apenas à temperaturas mais elevadas (em torno dos 30 °C, conforme resultados obtidos em ambientes naturalmente ventilados).

Tabela 30 – Categorização de T_{ar} em ambiente AC

<i>Cat. T_{ar}</i>	<i>Valores (°C)</i>	<i>n</i>
Em torno de 21	entre 21 e 21,5	123
Em torno de 22	entre 21,6 e 22,5	169
Em torno de 23	entre 22,6 e 23,5	341
Em torno de 24	entre 23,6 e 24,5	92
Em torno de 25	entre 24,6 e 25,5	150
Em torno de 26/27	entre 25,6 e 27,3	155

Os valores de umidade relativa do ar (UR) e velocidade do ar (V_{ar}) registrados também foram agrupados, variando entre 40 a 75% e entre 0,05 a 1 m/s, respetivamente. Verificou-se que a mudança de categoria de UR, quando em uma mesma categoria de T_{ar} , não teve impacto sobre a sensação, a aceitabilidade e o conforto térmicos dos estudantes nas temperaturas analisadas, o que leva a crer que o efeito da umidade relativa do ar sobre a percepção térmica é significativo apenas à temperaturas mais elevadas (em torno dos 30 °C, conforme resultados obtidos em ambientes naturalmente ventilados).

Em relação à velocidade do ar, constatou-se que o aumento nos valores de V_{ar} provocou a redução na sensação térmica média numérica, ou seja, intensificou a sensação de frio, para temperaturas do ar até a casa dos 23 °C. Acima desse valor de T_{ar} , nenhuma influência significativa do aumento de V_{ar} na sensação térmica média foi encontrada. As médias dos votos de aceitabilidade e conforto térmicos, por sua vez, não foram afetadas pela mudança de V_{ar} em uma mesma categoria de T_{ar} .

Notadamente, a mudança de temperatura do ar ocasiona alterações nos votos de percepção térmica proferidos em ambientes

condicionados artificialmente. Na Figura 73 é ilustrada a distribuição dos votos de sensação térmica (VST) por categoria de T_{ar} . Percebe-se que a distribuição dos votos de sensação térmica para temperaturas em torno de 21 e 22 °C é diferente das demais, no que se refere aos votos correspondentes à sensação de frio. O aumento de T_{ar} para 26/27 °C, por sua vez, alterou a configuração dos votos em relação às sensações de neutro/leve calor. Na Figura 74 é ilustrada a distribuição das categorias de V_{ar} por categoria de T_{ar} , na qual se percebe o aumento percentual dos valores de V_{ar} mais elevados (“entre 0,2 a 0,5 m/s” e “entre 0,5 a 1 m/s”) a partir dos 25 °C de T_{ar} . Ou seja, às maiores temperaturas do ar, estiveram associados os maiores valores de velocidade do ar, nos ambientes com ar condicionado utilizados durante a pesquisa.

Figura 73 – VST *versus* T_{ar} em Ambiente AC

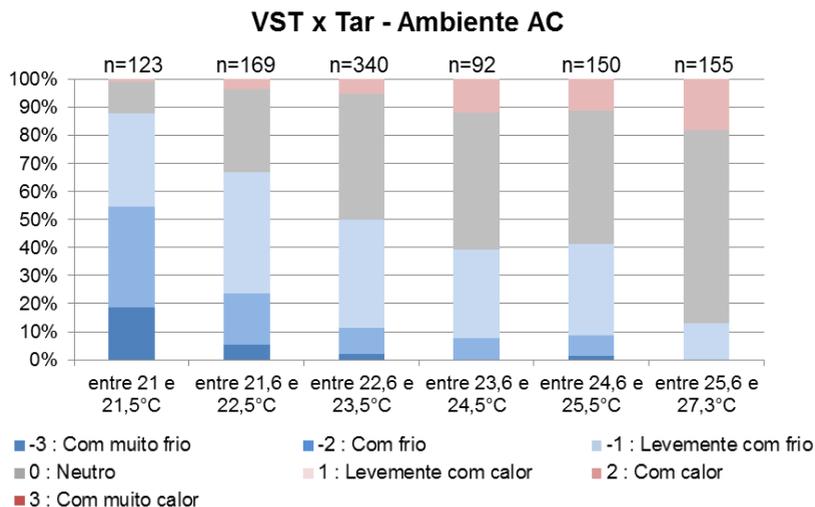
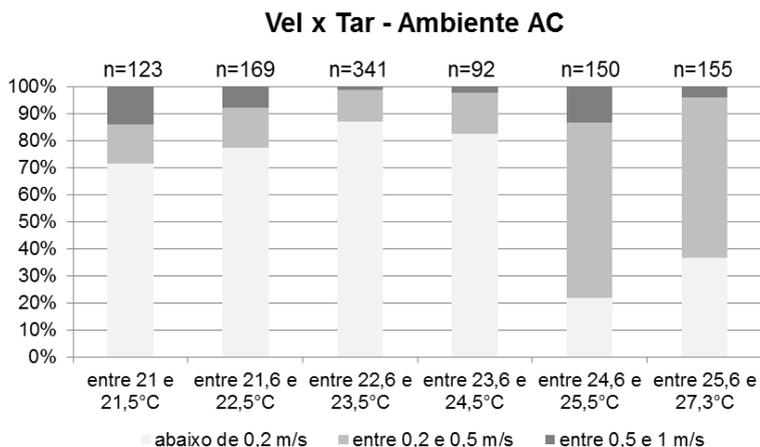


Figura 74 – V_{ar} versus T_{ar} em Ambiente AC

A distribuição dos votos de aceitabilidade térmica (VAT) por categoria de T_{ar} é representada na Figura 75. A menor porcentagem de aceitabilidade ocorreu em torno dos 21 °C, independentemente da velocidade do ar, indicando a insatisfação por motivo de frio.

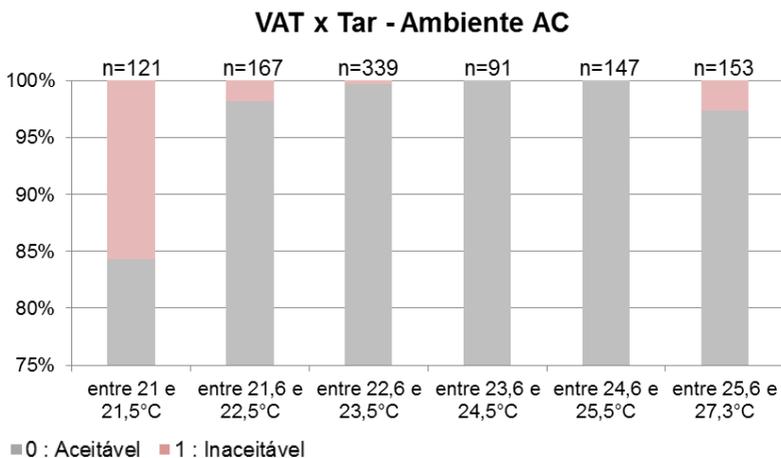
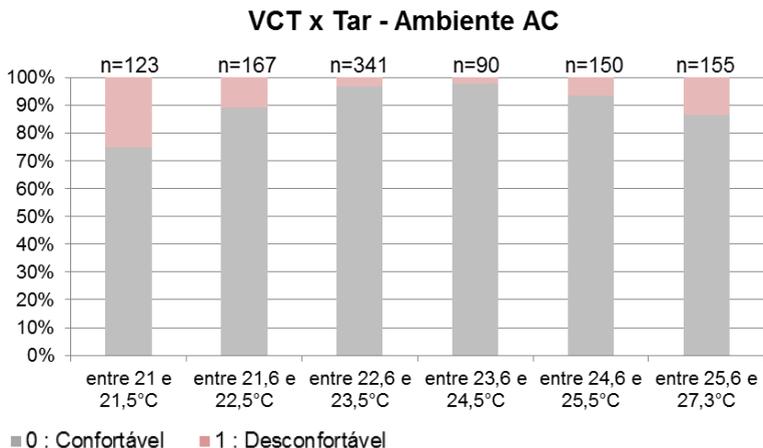
Figura 75 – VAT versus T_{ar} em Ambiente AC

Figura 76 – VCT *versus* T_{ar} em Ambiente AC

A maior porcentagem de aceitabilidade ocorreu em torno de 24 e 25 °C ($\approx 100\%$); no entanto, a amostra para T_{ar} em torno dos 23 °C apresentou, na prática, essa mesma porcentagem, sendo uma amostra bastante representativa por ser a mais numerosa entre todas. Apesar de a aceitabilidade mínima de 90% não ocorrer apenas em torno de 21 °C, todas as categorias de Tar registradas apresentaram mais de 80% de aceitabilidade térmica.

Os votos de conforto térmico (VCT) por categoria de T_{ar} estão representados na

Figura 76. Possuem distribuição semelhante à dos votos de aceitabilidade, exceto pelos valores de T_{ar} em torno de 25 °C, os quais apresentam porcentagem de conforto abaixo do esperado – ou porcentagem de aceitabilidade superestimada. O melhor retrospecto de conforto térmico foi encontrado a temperaturas entre 23 e 24 °C, e o limite mínimo de 80% não foi cumprido apenas para T_{ar} em torno de 21 °C.

A distribuição dos votos de sensação térmica foi analisada em relação às respostas de preferência, aceitabilidade e conforto térmicos, assim como feito para ambientes naturalmente ventilados. Na Figura 77, são representadas as respostas de preferência térmica (VPT) no eixo x. A preferência por manter o ambiente térmico “assim mesmo” contém quantidades equilibradas de votos de sensação “neutro” e “levemente com frio”, o que indica que os pesquisados se sentem bem ao declararem estar com leve sensação de frio.

Figura 77 – VPT versus VST em ambiente AC

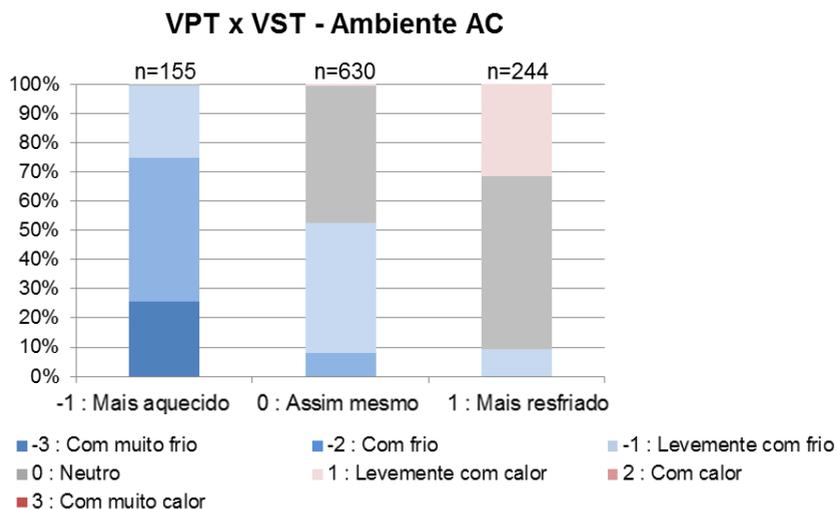


Figura 78 – VAT versus VST em ambiente AC

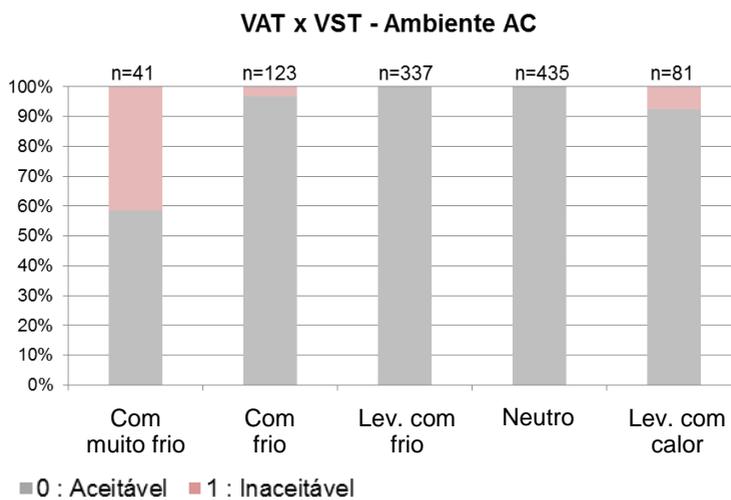
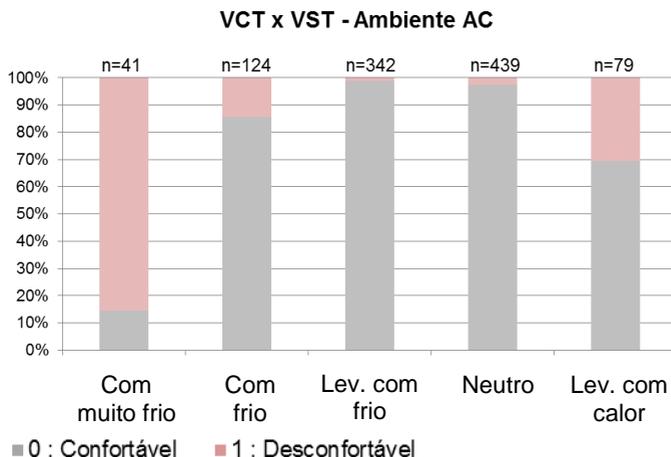


Figura 79 – VCT *versus* VST em ambiente AC

Na Figura 78, estão ilustradas as respostas de aceitabilidade por cada categoria de voto de sensação térmica. Verificou-se que os votos “neutro” e “levemente com frio” são os que possuem 100% de aceitação entre os pesquisados, além de serem as maiores amostras de análise. Na

Figura 79, são representadas as respostas de conforto térmico em função das categorias de sensação térmica. Os votos “neutro” e “levemente com frio” obtiveram o maior percentual de conforto térmico, acima de 95%.

Considerando o exposto, é possível concluir que a sensação térmica mais próxima à preferência geral dos estudantes está entre a neutralidade térmica e a leve sensação de frio (fato também verificado em ambientes naturalmente ventilados), às quais correspondem os maiores percentuais de aceitabilidade e conforto térmicos. À essas percepções, estão associadas as temperaturas do ar interno em torno de 23 e 24 °C, suficientes para garantir as melhores condições térmicas internas no contexto estudado.

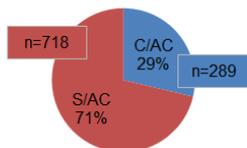
4.4.1 Influência da exposição ao ar condicionado

A percepção térmica dos estudantes em ambientes com ar condicionado ativo também foi investigada em função das exposições prévia e rotineira ao ar condicionado. Na Figura 80 é ilustrada a

distribuição da amostra de pesquisados por tipo de exposição prévia (C/AC significa com exposição ao ar condicionado uma hora antes do estudo de campo, e S/AC, sem exposição).

Figura 80 – Distribuição da amostra por exposição prévia em ambiente AC

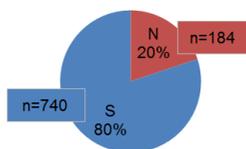
Exposição prévia ao ar condicionado (n=1007)



A proporção entre estudantes com e sem ar condicionado na hora anterior ao estudo de campo realizado em ambiente com ar condicionado ativo é próxima àquela encontrada em salas de aula naturalmente ventiladas (1:2). O teste de qui quadrado entre categorias qualitativas resultou em dependência da variável T_{ar} (categorias de T_{ar}) e independência com relação às categorias de V_{ar} . Ou seja, dentro das amostras C/AC e S/AC, a distribuição das categorias de T_{ar} é estatisticamente diferente, e não se deve descartar uma influência da temperatura do ar interno sobre os resultados dos testes executados.

Figura 81 – Distribuição da amostra por exposição prolongada em ambiente AC

Exposição rotineira ao ar condicionado (n=924)



Na Figura 81 é ilustrada a distribuição da amostra dos pesquisados por tipo de exposição rotineira (S representa o grupo com exposição rotineira ao ar condicionado, e N representa o grupo sem a exposição em questão). A proporção entre estudantes que não possuem vivência e que possuem vivência em ambientes com ar condicionado é de 1:4, diferente daquela encontrada nos estudos de campo em salas naturalmente ventiladas (1:3). Apesar disso, é notável a experiência da maioria dos estudantes em algum ambiente com climatização artificial. Os resultados do teste de qui quadrado para independência foram os mesmos encontrados em relação à exposição prévia.

Tabela 31 – Testes estatísticos relacionando exposição e percepção em ambiente AC

	Exposição Prévia		Exposição Rotineira	
	Qui qua	Teste T	Qui qua	Teste T
Sensação	0,13	0,04	0,10	0,08
Aceitabilidade	0,58	0,41	-	0,03*
Conforto	0,16	0,15	0,01*	0,0008*
Preferência térmica	0,44	0,62	0,02*	0,03*
Pref. mov. ar	0,0004*	7,787e-05*	0,02*	0,47
Pref. por um modo de condicionamento	0,06	-	0,002*	-

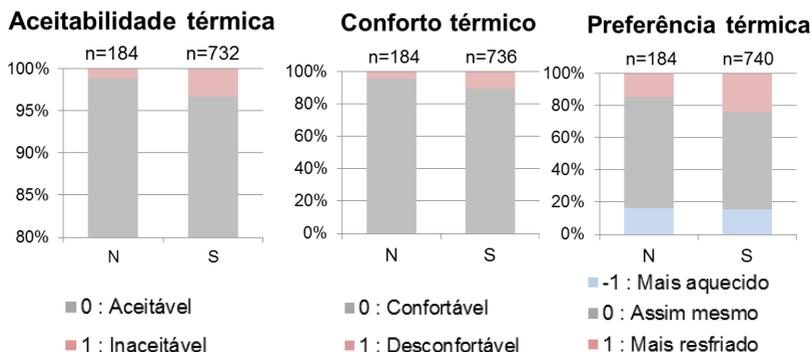
*p-valor < 0,05

Na análise da distribuição dos votos de percepção térmica em função dos agrupamentos de exposição, foram utilizados o teste de qui quadrado para tabela de contingência e o teste T de Welch para médias (valor numérico dos votos) de duas amostras não associadas. Percebeu-se que, assim como ocorre na amostra NV, a exposição prévia ao ar condicionado possui menor influência sobre a percepção térmica dos estudantes em ambiente AC, em relação à exposição rotineira (Tabela 31).

A exposição rotineira ao ar condicionado teve impacto estatisticamente significativo sobre todas as questões de percepção térmica analisadas, exceto a sensação térmica. No entanto, a amostra sem exposição rotineira (“N”) apresentou sensação média menor, indicando uma tendência de maior sensibilidade térmica das pessoas sem vivência em ambientes AC às condições internas de frio em um contexto climático no qual predomine o calor.

Os votos de aceitabilidade, conforto e preferência térmicos estão em função dos grupos de exposição prolongada (“N” e “S”) na Figura 82. Curiosamente, a aceitabilidade e o conforto diminuíram entre os estudantes com exposição prolongada em ambientes com ar condicionado. Acredita-se que isso se deva às expectativas dos estudantes em relação aos espaços condicionados do curso, nos quais se espera ter, em geral, sensações térmicas de frio. As elevadas temperaturas do ar interno (para os padrões de um ambiente com ar condicionado) encontradas em algumas ocasiões contrapõem essas expectativas, apesar de não representarem, necessariamente, desconforto ou não aceitação térmicos.

Figura 82 – Aceitabilidade, conforto e preferência térmica em função da exposição prévia para estudos de campo em AC

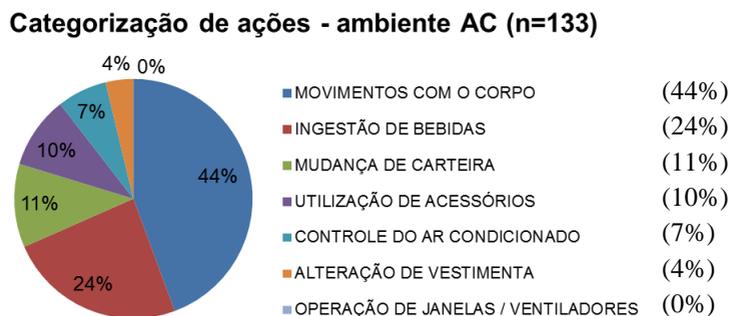


Como esperado, a maior preferência por resfriamento e pelo ar condicionado como estratégia de condicionamento estão presentes na amostra que declarou ter vivência em ambientes AC. Os resultados obtidos dos estudos de campo em ambos os modos de operação permitem concluir que a crescente exposição ao ar condicionado tem impacto relevante sobre a percepção térmica de usuários aclimatados às condições do clima quente e úmido brasileiro.

4.4.2 Ações realizadas pelos estudantes em ambientes condicionados artificialmente

As ações praticadas pelos estudantes durante as aulas em salas com ar condicionado, tendo como objetivo ajustar o próprio ambiente térmico, estão categorizadas na Figura 83.

Figura 83 – Ações realizadas pelos estudantes em ambientes AC



A ação de movimentar o corpo obteve o maior percentual, com grande diferença para a ingestão de bebidas; as demais ações tiveram menor expressão. Considerando as condições de temperatura do ar, no que se refere à amplitude dos valores, sugere-se que a ação de movimentar o corpo – por exemplo, causar atrito por meio dos braços – teve como principal motivação a sensação de frio (especialmente sob elevadas velocidades do ar), mas uma motivação por sensação de calor não deve ser descartada – ação de abano com as mãos. A ingestão de bebidas, por sua vez, deve estar mais relacionada às questões não térmicas, já que não é corriqueira a ingestão de bebidas quentes como atenuante ao desconforto por frio, no contexto estudado.

Assim como observado nas salas naturalmente ventiladas, não é usual que os estudantes recorram à alteração de vestimentas (no caso, o acréscimo de peças de roupa), mesmo quando frequentam as salas de aula com ar condicionado em funcionamento. Acredita-se que esse aspecto esteja fortemente relacionado às condições do clima externo, o qual possui pouca variação ao longo do ano.

Por fim, destaca-se a pequena porcentagem de estudantes que recorreram ao controle do sistema de condicionamento do ar, mesmo havendo a possibilidade de se contornar o desconforto térmico no ambiente, seja por calor ou por frio, por meio desse sistema. A percepção, por parte dos estudantes, de liberdade de controle sobre os recursos disponíveis parece diferente entre os ambientes NV e AC.

Provavelmente, a necessidade de consenso para a operação do equipamento de ar condicionado tem influência não apenas sobre a menor recorrência a esse controle, mas também sobre a maior quantidade de ações de ajuste pessoal – a exemplo do movimento de atrito entre os braços em uma situação de desconforto por frio. Situações como essa continuam a ocorrer em um contexto no qual pessoas estão aclimatadas às condições de calor externas, mas uma parte delas reporta o desconforto por frio em ambientes internos, fomentando discussões sobre o resfriamento excessivo e os ajustes consensuais em ambientes térmicos coletivos.

5 CONCLUSÕES

A percepção térmica dos usuários de ambientes naturalmente ventilados e condicionados artificialmente foi investigada em um contexto climático tropical equatorial (quente e úmido), por meio de uma pesquisa de campo realizada em salas de aula na cidade de São Luís, Maranhão. O trabalho de campo envolveu o registro de variáveis ambientais internas e a coleta de respostas dos estudantes quanto às condições térmicas vivenciadas nas salas de aula. Considerando a amostra pesquisada, avaliaram-se as condições de aceitabilidade e conforto térmico em função das variáveis ambientais internas medidas, e verificou-se a influência da exposição aos ambientes condicionados artificialmente e da adaptação desenvolvida pelos estudantes sobre a percepção térmica relatada.

5.1 ACEITABILIDADE TÉRMICA E CONFORTO TÉRMICO

As respostas dos estudantes às questões de aceitabilidade e conforto térmico foram diferentes em função do modo de climatização ao qual estavam expostos. Os resultados obtidos indicam grande aceitação das condições térmicas vivenciadas nas instalações do curso, mesmo sob temperaturas consideradas extremas – para frio e para calor. Em salas de aula naturalmente ventiladas (NV), a aceitabilidade geral foi de 85% sob temperaturas que variaram entre 27 a 31,5 °C, ao passo que em ambientes com ar condicionado ativo (AC), foi de 97% sob temperaturas que variaram entre 21 a 27 °C.

Em ambientes naturalmente ventilados e com ar condicionado, obtiveram-se, respectivamente, 65% e 91% de conforto térmico geral; porcentagens inferiores às de aceitabilidade térmica, especialmente em NV. Entende-se que os estudantes expressaram opiniões diferentes para as questões de aceitabilidade e de conforto, e que isso ocorreu, geralmente, quando a temperatura interna figurou entre os valores extremos registrados. Ou seja, quando há uma condição extrema de temperatura, o ambiente é considerado desconfortável e uma parcela dos estudantes aceita esse cenário.

A análise dos votos de percepção térmica em função das variáveis ambientais internas, no contexto pesquisado, indica que há 80% de aceitabilidade térmica a uma combinação de 31 °C de temperatura operativa interna (T_{op}) e a partir de 0,20 m/s de velocidade do ar interna (V_{ar}) em ambientes NV. A condição de no mínimo 80% de conforto térmico foi atingida com: (1) T_{op} em torno de 28 °C e V_{ar} acima de

0,20 m/s; (2) T_{op} em torno de 29 °C e V_{ar} acima de 0,50 m/s; e (3) T_{op} em torno de 30 °C e V_{ar} acima de 1 m/s. Logo, percebe-se a importante influência do movimento do ar sobre as respostas de percepção térmica dos estudantes nesses ambientes. A umidade relativa do ar (UR), por sua vez, teve impacto negativo sobre os votos de sensação, aceitabilidade e conforto térmico quando T_{op} foi superior a 30 °C e UR superou os 70%.

Em ambientes com ar condicionado ativo, a preferência dos estudantes por maior resfriamento foi melhor atendida, uma vez que o uso dos ventiladores em salas NV nem sempre foi suficiente para suprir o desconforto por calor. Descobriu-se que a condição térmica interna ideal – maiores percentuais de aceitabilidade e de conforto, acima de 95% – dentre as registradas se caracteriza pela temperatura do ar interno entre 23 e 24 °C. Além disso, percebeu-se que a sensação térmica mais próxima à preferência geral dos estudantes está entre a neutralidade térmica e a leve sensação de frio, tanto em ambientes NV quanto em AC. Esse cenário era esperado em função do contexto climático externo com predomínio de calor, o que certamente tem influência sobre a preferência por maior resfriamento em ambientes internos.

5.2 EXPOSIÇÃO AOS AMBIENTES CONDICIONADOS ARTIFICIALMENTE

A influência da exposição aos ambientes condicionados artificialmente sobre a percepção térmica dos estudantes foi investigada nas amostras das salas NV e AC. A exposição foi categorizada em dois tipos: prévia ao estudo de campo (uma hora antes da realização do estudo) e rotineira (que diz respeito à vivência cotidiana em ambientes com ar condicionado, em casa, no trabalho, no curso ou no meio de transporte).

Constatou-se que a exposição rotineira possui impacto sobre mais questões relacionadas ao ambiente térmico e ao movimento do ar, em comparação à exposição prévia. Em salas de aula NV, a sensação térmica, o conforto térmico, a preferência por movimento do ar e a preferência por um modo de condicionamento foram influenciadas pela exposição rotineira: os estudantes expostos expressaram maior quantidade de sensações de extremo calor, maior desconforto e maior preferência pelo ar condicionado como modo de climatização. A exposição prévia teve impacto sobre as preferências térmica e por movimento do ar: os estudantes sem exposição prévia preferiram estar mais resfriados e ter maior movimento do ar.

Em ambientes AC, a preferência por movimento do ar foi influenciada por ambas as categorias de exposição. A exposição rotineira teve impacto sobre todas as respostas de percepção térmica, exceto a sensação térmica. Os percentuais de “inaceitável”, “desconfortável” e de preferência por estar “mais resfriado” foram maiores entre os estudantes continuamente expostos aos ambientes com ar condicionado. Concluiu-se, com base na amostra estudada, que a influência da exposição rotineira é mais relevante e tende a ser cada vez maior, quanto mais tempo as pessoas passem em ambientes internos condicionados artificialmente.

5.3 INDÍCIOS DE ADAPTAÇÃO AO AMBIENTE TÉRMICO

A avaliação térmica das salas de aula NV por meio do método designado para ambientes naturalmente ventilados e controlados pelos usuários se mostrou dentro do esperado, considerando os limites mínimos de aceitabilidade a 80% e 90% da ASHRAE *Standard 55* (2013) com e sem velocidade do ar. As componentes fisiológica, psicológica e comportamental da adaptação foram observadas nessa análise.

Constatou-se a relação entre temperaturas internas e externas por meio da mudança de estação, o que também foi observado na regressão de temperatura neutra da amostra (27,1 °C para a estação chuvosa e 29,2 °C para a estação seca). A adaptação fisiológica pôde ser identificada quando diferentes condições ambientais internas e externas (reflexo da mudança de estação) provocaram respostas iguais ou muito similares por parte dos estudantes.

As expectativas quanto ao ambiente térmico das salas de aula também se fizeram presentes. Foram observadas situações nas quais a porcentagem de aceitabilidade térmica por estudo de campo foi superior ou inferior à porcentagem predita pelo modelo adaptativo, e à essas situações foram associados alguns fatores, tais como: a ocorrência de chuva (quebra de expectativa positiva), o turno de ocorrência do estudo de campo e a lotação das turmas.

A adaptação comportamental, por sua vez, foi registrada pelos estudantes no questionário, quando perguntados a respeito de alguma ação realizada sobre o ambiente térmico. A grande quantidade de ações de ajuste pessoal, no contexto da pesquisa, se deve principalmente às limitações de ordem física (estrutura da edificação em questão). Além disso, refletem uma característica da população brasileira como um todo: a grande aceitação das condições térmicas verificadas nos

ambientes internos, e a consequente diminuição de expectativas quanto à essas condições. Os estudantes que compuseram a amostra pesquisada se mostraram, em geral, bastante conformados em relação ao ambiente térmico das salas de aula naturalmente ventiladas.

5.4 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Foram elencadas as principais limitações desta pesquisa, as quais podem restringir a aplicabilidade dos resultados encontrados. O cumprimento dos itens a seguir poderia contribuir para o enriquecimento da pesquisa como um todo, o que não ocorreu em função de questões logísticas e relativas ao cronograma / planejamento propostos.

1. Inicialmente, o planejamento da pesquisa incluía salas de aula de outras instituições públicas de ensino (priorizadas devido à provável maior diversidade de estudantes). No entanto, a inexistência de ambientes naturalmente ventilados nos quais os estudantes desenvolvessem atividades sedentárias foi determinante para que se desenvolvesse o estudo apenas nas instalações do CAU/UEMA, as quais possuem salas naturalmente ventiladas e com ar condicionado instalado. A restrição do estudo a apenas um curso pode ter impacto sobre a heterogenidade social da amostra pesquisada.
2. Ainda sobre a restrição do estudo à uma edificação, supõe-se que o ambiente térmico naturalmente ventilado encontrado nas salas de aula do CAU apresente particularidades relacionadas ao sistema construtivo do conjunto histórico, em comparação aos sistemas construtivos adotados em edificações contemporâneas. É possível que a inércia térmica da envoltória impeça a diminuição nos valores de temperaturas e de umidade relativa do ar internas, o que não ocorre em edificações não históricas – embora não tenha sido feita uma medição experimental em outro ambiente naturalmente ventilado e não residencial, para comparação. Dessa forma, deve-se ponderar que as variáveis ambientais internas mínimas registradas nas salas de aula (temperaturas a 27 °C e 60% de UR em horário de ocupação) podem não representar a característica de naturalmente ventilado, em São Luís, em sua totalidade. Consequentemente, as respostas de percepção térmica associadas a temperaturas internas inferiores a 27 °C em NV poderiam ser mais diversificadas.

3. A realização dos estudos de campo durante o horário de aulas esteve sempre vinculada à disponibilidade de participação dos estudantes e à permissão dos respectivos professores, consultados previamente à realização da pesquisa. Assim sendo, a ocorrência de imprevistos (cancelamento ou interrupção das aulas por motivos de força maior, mudança de sala de aula etc.) foi determinante para a redução do volume de dados coletados em relação ao que poderia ser obtido. Também não foi possível estender o período de medições em função do calendário do curso de Arquitetura e Urbanismo.

5.5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando a experiência obtida por meio da realização de estudos de campo sobre conforto térmico em ambientes naturalmente ventilados controlados pelos ocupantes, sugerem-se possíveis abordagens para futuros trabalhos nesse âmbito.

1. A exploração das características do movimento do ar interno e suas implicações sobre a percepção dos ocupantes de edificações naturalmente ventiladas, quando o enfoque do estudo for a ventilação. Além da intensidade do fluxo de ar (velocidade do ar), podem ser abordadas a qualidade da brisa – se constante ou oscilante – e a medição da variável em diferentes alturas, quando possível.
2. A investigação dos valores de isolamento de vestimenta aplicáveis aos trajes tipicamente brasileiros, por meio de testes com manequim térmico, tendo em vista as prováveis diferenças entre peças de vestimenta no contexto brasileiro e no contexto estadunidense, representado pela *ASHRAE Standard 55* (2013).
3. A análise da percepção em função da possibilidade de controle sobre o ambiente térmico, sem a interferência externa de um pesquisador, considerando a disponibilidade ou não de recursos para esse controle em ambientes naturalmente ventilados de climas quente-úmidos (com e sem ventilação mecânica, por exemplo). A disponibilização de mecanismos de controle pessoal e a consequente avaliação de receptividade / uso efetivo por parte dos ocupantes também é uma oportunidade de aumento da satisfação dessas pessoas. Tais análises permitiriam a investigação acerca do papel da adaptação na percepção térmica dos usuários.

4. A investigação das condições de aceitabilidade e conforto térmico em ambientes residenciais, no contexto do clima quente-úmido, utilizando-se de métodos para coleta de dados à distância (questionário no celular). Uma vez que a presença de equipamentos de ar condicionado é cada vez maior, é possível explorar também as circunstâncias associadas ao seu acionamento, bem como à operação de esquadrias e de ventiladores.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724**: informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. Rio de Janeiro, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.
- ASHRAE. **Performance measurement protocols for commercial buildings**. Atlanta, Georgia: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2010.
- ASHRAE Standard 55 - 2013. **Thermal environmental conditions for human occupancy**. Atlanta, Georgia: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2013
- BRAGER, G. S.; PALIAGA, G.; DEAR, R. DE. Operable Windows, Personal Control and Occupant Comfort. **ASHRAE Transactions**, v. 110, p. 1–20, 2004.
- CÂNDIDO, C. **ACEITABILIDADE DO MOVIMENTO DO AR E CONFORTO TÉRMICO EM CLIMAS QUENTES E ÚMIDOS**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. 180 f.
- CÂNDIDO, C.; DEAR, R. DE; LAMBERTS, R. Combined thermal acceptability and air movement assessments in a hot humid climate. **Building and Environment**, v. 46, n. 2, p. 379–385, 2011.
- CÂNDIDO, C.; DEAR, R. DE; LAMBERTS, R.; BITTENCOURT, L. Cooling exposure in hot humid climates: Are occupants “addicted”? **Architectural Science Review**, v. 53, n. 1, p. 59–64, 2010a.
- CÂNDIDO, C.; DEAR, R. DE; LAMBERTS, R.; BITTENCOURT, L. Air movement acceptability limits and thermal comfort in Brazil’s hot humid climate zone. **Building and Environment**, v. 45, n. 1, p. 222–229, 2010b.
- CÂNDIDO, C.; LAMBERTS, R.; DEAR, R. DE. **Base Brasileira de Dados em Conforto Térmico**. 2008.
- CEN Standard EN15251. **Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and**

acoustics. Paris, France: Thermal Environment, Lighting and Acoustics, AFNOR; 2007.

CHEUNG, T. C. T.; SCHIAVON, S.; GALL, E. T.; JIN, M.; NAZAROFF, W. W. Longitudinal assessment of thermal and perceived air quality acceptability in relation to temperature, humidity, and CO₂ exposure in Singapore. **Building and Environment**, v. 115, p. 80–90, 2017.

DAMIATI, S. A.; ZAKI, S. A.; RIJAL, H. B.; WONORAHARDJO, S. Field study on adaptive thermal comfort in office buildings in Malaysia, Indonesia, Singapore, and Japan during hot and humid season. **Building and Environment**, v. 109, p. 208–223, 2016.

DE DEAR, R.; BRAGER, G. Thermal Adaptation in the Built Environment: a Literature Review. **Energy and Buildings**, v. 27, p. 83–96, 1998.

DE DEAR, R.; BRAGER, G. S. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. **ASHRAE Trans.**, v. 104, n. 1A, p. 145–167, 1998.

DE DEAR, R.; BRAGER, G. S.; COOPER, D. **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference: Final Report on ASHRAE RP - 884.** Sydney: MRL, 1997.

DE DEAR, R.; FOLDVARY, V.; ZHANG, H.; et al. Comfort is in the mind of the beholder: a review of progress in adaptive thermal comfort research over the past two decades. **The Fifth International Conference on Human-Environment System. Nagoya, Japan. October 29-November 2., 2016.**

DE DEAR, R.; LEOW, K. G.; FOO, S. C. Thermal Comfort in the Humid Tropics - Field Experiments in Air-Conditioned and Naturally Ventilated Buildings in Singapore. **International Journal of Biometeorology**, v. 34, n. 4, p. 259–265, 1991.

DE VECCHI, R. **CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO E ACEITABILIDADE DA VELOCIDADE DO AR EM SALAS DE AULA COM VENTILADORES DE TETO PARA O CLIMA DE FLORIANÓPOLIS/SC.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011. 120 f.

DE VECCHI, R. **AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES COMERCIAIS QUE OPERAM SOB SISTEMAS**

MISTOS DE CONDICIONAMENTO AMBIENTAL EM CLIMA TEMPERADO E ÚMIDO. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. 237 f.

DE VECCHI, R.; SORGATO, M. J.; PACHECO, M.; CÂNDIDO, C.; LAMBERTS, R. ASHRAE 55 adaptive model application in hot and humid climates: the Brazilian case. **Architectural Science Review**, v. 58, n. 1, p. 93–101, 2015.

DHAKA, S.; MATHUR, J.; BRAGER, G.; HONNEKERI, A. Assessment of thermal environmental conditions and quantification of thermal adaptation in naturally ventilated buildings in composite climate of India. **Building and Environment**, v. 86, p. 17–28, 2015.

DJAMILA, H. Indoor thermal comfort predictions: Selected issues and trends. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 74, p. 569–580, 2017.

ENESCU, D. A review of thermal comfort models and indicators for indoor environments. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 79, p. 1353–1379, 2017.

FANGER, P. O. **Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering.** Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.

GOOGLE. Google Maps 2014. Disponível em <<http://maps.google.com/>>. Acesso em: 07 jun. 2017.

HALAWA, E.; HOOFF, J. VAN. The adaptive approach to thermal comfort: A critical overview. **Energy and Buildings**, v. 51, p. 101–110, 2012.

HAMZAH, B.; ISHAK, M. T.; BEDDU, S.; OSMAN, M. Y. Thermal comfort analyses of naturally ventilated university classrooms. **Structural Survey**, v. 34, n. 4/5, p. 427–445, 2016.

HUANG, L.; OUYANG, Q.; ZHU, Y.; JIANG, L. A study about the demand for air movement in warm environment. **Building and Environment**, v. 61, p. 27–33, 2013.

INDRAGANTI, M.; OOKA, R.; RIJAL, H. B.; BRAGER, G. S. Adaptive model of thermal comfort for offices in hot and humid climates of India. **Building and Environment**, v. 74, p. 39–53, 2014.

INMET (2017). Disponível em:

<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home2/index>> Acesso em: 15 mai. 2017.

ISO. Ergonomics of the thermal environments - instruments for measuring physical quantities, ISO 7726:1998. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 1998.

ISO. Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, ISO 7730:2005. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2005.

JIN, L.; ZHANG, Y.; ZHANG, Z. Human responses to high humidity in elevated temperatures for people in hot-humid climates. **Building and Environment**, v. 114, p. 257–266, 2017.

JUNTA DE ANDALUCIA. Consejería de Obras Públicas e Transportes. **São Luís Ilha do Maranhão e Alcântara: guia de arquitetura e paisagem = San Luis Isla de Marañón y Alcántara: guía de arquitectura y paisaje.** Sevilla: Ed.bilingüe, 2008.

KALMÁR, F. Investigation of thermal perceptions of subjects with diverse thermal histories in warm indoor environment. **Building and Environment**, v. 107, p. 254–262, 2016.

KARYONO, T. H. Report on thermal comfort and building energy studies in Jakarta - Indonesia. **Building and Environment**, v. 35, n. 1, p. 77–90, 2000.

KARYONO, T. H.; HERYANTO, S.; FARIDAH, I (2015). Air conditioning and the neutral temperature of the Indonesian university students. **Architectural Science Review**, DOI: 10.1080/00038628.2014.1002828

KUMAR, S.; SINGH, M. K.; LOFTNESS, V.; MATHUR, J.; MATHUR, S. Thermal comfort assessment and characteristics of occupant's behaviour in naturally ventilated buildings in composite climate of India. **Energy for Sustainable Development**, v. 33, p. 108–121, 2016.

LAMBERTS, R. et al. **Towards a brazilian standard on thermal comfort.** Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pes>

quisa/RP_Towards_a_Brazilian_Standard_Complete_Version2013.pdf>
. Acesso em: 16 mai. 2017.

LU, S.; PANG, B.; QI, Y.; FANG, K. Field study of thermal comfort in non-air-conditioned buildings in a tropical island climate. **Applied Ergonomics**, v. 66, p. 89–97, 2018.

MAPAS de São Luís – MA. Disponível em:
<<http://mapasblog.blogspot.com.br/2012/06/mapas-de-sao-luis-ma.html>>. Acesso em: 19 mai. 2017.

MISHRA, A. K.; RAMGOPAL, M. Thermal comfort in undergraduate laboratories - A field study in Kharagpur, India. **Building and Environment**, v. 71, p. 223–232, 2014a.

MISHRA, A. K.; RAMGOPAL, M. Thermal comfort field study in undergraduate laboratories - An analysis of occupant perceptions. **Building and Environment**, v. 76, p. 62–72, 2014b.

MISHRA, A. K.; RAMGOPAL, M. A thermal comfort field study of naturally ventilated classrooms in Kharagpur, India. **Building and Environment**, v. 92, p. 396–406, 2015a.

MISHRA, A. K.; RAMGOPAL, M. An adaptive thermal comfort model for the tropical climatic regions of India (Koppen climate type A). **Building and Environment**, v. 85, p. 134–143, 2015b.

NEMATCHOUA, M. K.; TCHINDA, R.; OROSA, J. A. Adaptation and comparative study of thermal comfort in naturally ventilated classrooms and buildings in the wet tropical zones. **Energy & Buildings**, v. 85, p. 321–328, 2014.

NEMATCHOUA, M. K.; TCHINDA, R.; RICCIARDI, P.; DJONGYANG, N. A field study on thermal comfort in naturally-ventilated buildings located in the equatorial climatic region of Cameroon. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 39, p. 381–393, 2014.

NGUYEN, A. T.; SINGH, M. K.; REITER, S. An adaptive thermal comfort model for hot humid South-East Asia. **Building and Environment**, v. 56, p. 291–300, 2012.

PIRES, M. O.; WESTPHAL, F. S. **VENTILAÇÃO NATURAL EM AMBIENTES DE ESCRITÓRIOS NA CIDADE DE FLORIANÓPOLIS: abordagem adaptativa e influência da**

velocidade do ar. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. 196 f.

RUPP, R. F. **CONFORTO TÉRMICO HUMANO EM EDIFICAÇÕES DE ESCRITÓRIOS LOCALIZADAS NO CLIMA SUBTROPICAL ÚMIDO DE FLORIANÓPOLIS/SC.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. 289 f.

RUPP, R. F.; VASQUEZ, N. G.; LAMBERTS, R. A review of human thermal comfort in the built environment. **Energy and Buildings**, v. 105, p. 178–205, 2015.

SÃO Luís (Maranhão). Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%A3o_Lu%C3%ADs_\(Maranh%C3%A3o\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%A3o_Lu%C3%ADs_(Maranh%C3%A3o))>. Acesso em: 19 mai. 2017.

SCHIAVON, S.; UME, B. Y.; DONNER, Y.; CHANG, V. W. C.; NAZAROFF, W. W. Thermal comfort, perceived air quality and cognitive performance when personally controlled air movement is used by tropically acclimatized persons. **Indoor Air**, 2016. DOI: 10.1111/ina.12352

SCHWEIKER, M.; BRASCHE, S.; BISCHOF, W.; et al. Development and validation of a methodology to challenge the adaptive comfort model. **Building and Environment**, v. 49, n. 1, p. 336–347, 2012.

SHAHZAD, S.; BRENNAN, J.; THEODOSSOPOULOS, D.; HUGHES, B.; CALAUTIT, J. K. Energy and comfort in contemporary open plan and traditional personal offices. **Applied Energy**, v. 185, p. 1542–1555, 2017.

SILVA, A. S.; LAMBERTS, R.; GHISI, E. **Algoritmos em linguagem R para análises de conforto térmico de acordo com os métodos da ASHRAE Standard 55.** Florianópolis, 2016.

TANABE, S.; KIMURA, K. Effect of air temperature ,humdity,and air movement on thermal comfort under hot and humid conditions. **ASHRAE Transactions**, v. 100, n. 2, p. 14, 1994.

TOE, D. H. C.; KUBOTA, T. Development of an adaptive thermal comfort equation for naturally ventilated buildings in hot – humid climates using ASHRAE RP-884 database. **Frontiers of Architectural Research**, v. 2, n. 3, p. 278–291, 2013.

TRINTA, P. V. ANÁLISE BIOCLIMÁTICA DO BAIRRO DO RENASCENÇA II - SÃO LUÍS - MA : realidade e perspectiva do conforto térmico em espaços externos. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007. 197 f.

VELLEI, M.; HERRERA, M.; FOSAS, D.; NATARAJAN, S. The influence of relative humidity on adaptive thermal comfort. **Building and Environment**, v. 124, p. 171–185, 2017.

XAVIER, A. **PREDIÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES INTERNOS COM ATIVIDADES SEDENTÁRIAS - TEORIA FÍSICA ALIADA A ESTUDOS DE CAMPO**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000. 251 f.

ZAKI, S. A.; DAMIATI, S. A.; RIJAL, H. B.; HAGISHIMA, A.; ABD RAZAK, A. Adaptive thermal comfort in university classrooms in Malaysia and Japan. **Building and Environment**, v. 122, p. 294–306, 2017.

ZHAI, Y.; ARENS, E.; ELSWORTH, K.; ZHANG, H. Selecting air speeds for cooling at sedentary and non-sedentary office activity levels. **Building and Environment**, v. 122, p. 247–257, 2017.

ZHAI, Y.; ZHANG, H.; ZHANG, Y.; et al. Comfort under personally controlled air movement in warm and humid environments. **Building and Environment**, v. 65, p. 109–117, 2013.

ZHANG, H.; ARENS, E.; ZHAI, Y. A review of the corrective power of personal comfort systems in non-neutral ambient environments. **Building and Environment**, v. 91, n. March, p. 15–41, 2015.

ZHANG, Y.; CHEN, H.; WANG, J.; MENG, Q. Thermal comfort of people in the hot and humid area of China - impacts of season, climate, and thermal history. **Indoor Air**, v. 26, n. 5, p. 820–830, 2016.

ZHANG, Y.; LIU, Q.; MENG, Q. Airflow utilization in buildings in hot and humid areas of China. **Building and Environment**, v. 87, p. 207–214, 2015.

ZHANG, Y.; MAI, J.; ZHANG, M.; WANG, F.; YONGCHAO, Z. Adaptation-based indoor environment control in a hot-humid area. **Building and Environment**, v. 117, p. 238–247, 2017.

ZHANG, Y.; ZHANG, J.; CHEN, H.; DU, X.; MENG, Q. Effects of step changes of temperature and humidity on human responses of people in hot-humid area of China. **Building and Environment**, v. 80, p. 174–183, 2014.

ZOMORODIAN, Z. S.; TAHSILDOOST, M.; HAFEZI, M. Thermal comfort in educational buildings: A review article. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 59, p. 895–906, 2016.

APÊNDICE A – CALIBRAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

As estações de medição de variáveis microclimáticas, denominadas SENSU, foram desenvolvidas pelo Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas (LMPT/UFSC – Campus Trindade), associado ao Departamento de Engenharia Mecânica. Para a utilização nesta pesquisa, fez-se necessário submetê-las a um procedimento de calibração, ou seja, aferição dos valores medidos para as variáveis: temperatura do ar (T_{ar} - °C), temperatura de globo negro (T_{globo} - °C), umidade relativa do ar (UR - %) e velocidade do ar (V_{ar} - m/s).

Figura 84 – Componentes do túnel de vento: túnel (esq.) e controlador de intensidade do vento (dir.)



O procedimento foi realizado nos dias 14 e 15 de fevereiro de 2017, no ambiente do Laboratório de Ciências Térmicas (LabTermo), localizado no Bloco B da Engenharia Mecânica; neste local, está o túnel de vento, utilizado na calibração das estações (Figura 84). A operação consistiu em posicionar os três sensores – respectivos às três estações SENSU – no túnel de vento, ao lado de um sensor de extrema precisão para temperatura do ar e outro para velocidade do ar (Testo, linha profissional 735). Os dados lidos foram passados para um software (também desenvolvido pelo LMPT) e as diferenças entre os valores medidos pelos SENSU e medidos pelo sensor Testo foram anotados e utilizados para reconfigurar as leituras (Tabela 32).

Tabela 32 – Exemplos de Delta Variáveis calculados para efetuar a calibração das estações

Tar Testo - Tar SENSU 1 = Delta Tar1	Var Testo - Var SENSU 1 = Delta Var1
Tar Testo - Tar SENSU 2 = Delta Tar2	Var Testo - Var SENSU 2 = Delta Var2
Tar Testo - Tar SENSU 3 = Delta Tar3	Var Testo - Var SENSU 3 = Delta Var3

No primeiro dia de calibração (14/02/2017), conforme a Figura 85, foram analisadas apenas as temperaturas registradas, uma vez que o sensor Testo para a velocidade do ar não estava no local. Outro equipamento a ter o sensor posicionado ao lado desse conjunto foi o termo anemômetro portátil AIRFLOW TA 35, pertencente ao Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE/UFSC), para comparação dos valores de temperatura do ar lidos em relação ao sensor mais preciso (Figura 86).

Figura 85 – Posicionamento dos equipamentos no túnel de vento



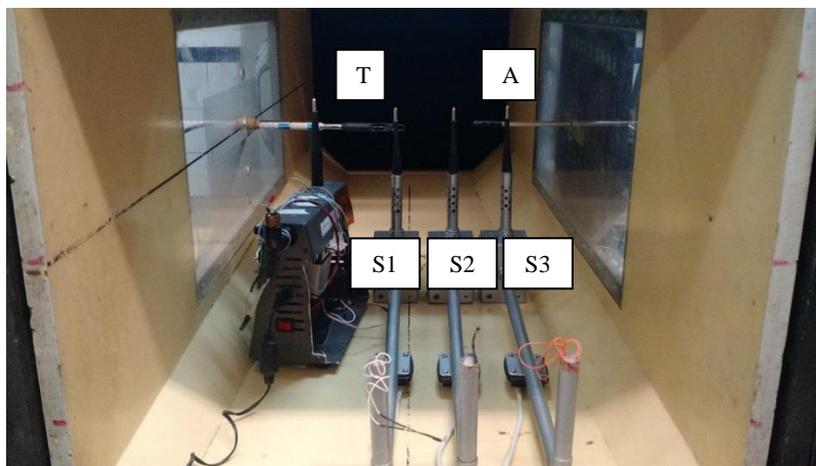
Figura 86 – Sensor Testo (esq.) e a comparação de T_{ar} entre Testo e AIRFLOW



No segundo dia de calibração, a montagem foi repetida (Figura 85), tendo sido substituído o sensor de referência Testo para temperatura do ar pelo sensor de velocidade do ar, da mesma marca. Para o

procedimento, foram determinadas algumas intensidades de movimento do ar no controle do túnel de vento, que geraram velocidades padrão (0 / 0,1 / 0,2 / 0,4 / 0,8 / 1,3 / 1,8 / 2,5 m/s) por um período de 5 minutos em cada; os valores para cada estação SENSU foram anotados e os respectivos deltas de velocidade, calculados. Na ocasião, a mesma comparação entre o AIRFLOW e o Testo deveria ter sido feita para os valores de velocidade do ar; no entanto, um problema com a bateria daquele prejudicou a precisão das medições, e demandou que um novo teste fosse feito mais adiante.

Figura 87 – Sensores posicionados no túnel de vento: Testo (T), AIRFLOW (A) e SENSU (S1, S2 e S3)



Durante o procedimento de controle da velocidade do ar no túnel, a baixas velocidades do ar (< 1 m/s), fez-se necessária a utilização de uma tábua rente ao gerador mecânico, como forma de evitar qualquer tipo de retorno no movimento do ar que pudesse distorcer a medição. Nessa mesma linha de pensamento, foi utilizada uma lona de modo a vedar a extremidade do túnel na qual são colocados os objetos, quando da medição da velocidade “zero” (pelo sensor de maior precisão, Testo, atinge valores muito próximos, mas nunca iguais, à zero).

Devido à necessidade de se verificar a precisão do equipamento AIRFLOW, que seria utilizado nas pesquisas de campo em conjunto com as estações microclimáticas SENSU, procedeu-se a um experimento no qual os sensores dos equipamentos Testo (de maior precisão e menor tempo de resposta) e AIRFLOW foram posicionados

próximos um ao outro no túnel de vento (Figura 88). Novamente, no painel de controle do túnel foram definidos padrões de intensidade do movimento do ar que geraram velocidades do ar padrão em m/s, mantidas ao longo de cinco minutos cada. Durante esse período, observaram-se as leituras de ambos os sensores, e as faixas de valores lidos estão registradas na Tabela 33.

Figura 88 – Sensores posicionados no túnel: Testo (T) e AIRFLOW (A)

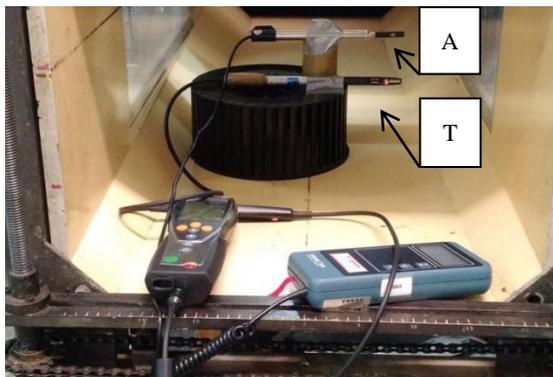


Tabela 33 – Comparação entre os valores de velocidade do ar registrados pelos sensores Testo e AIRFLOW

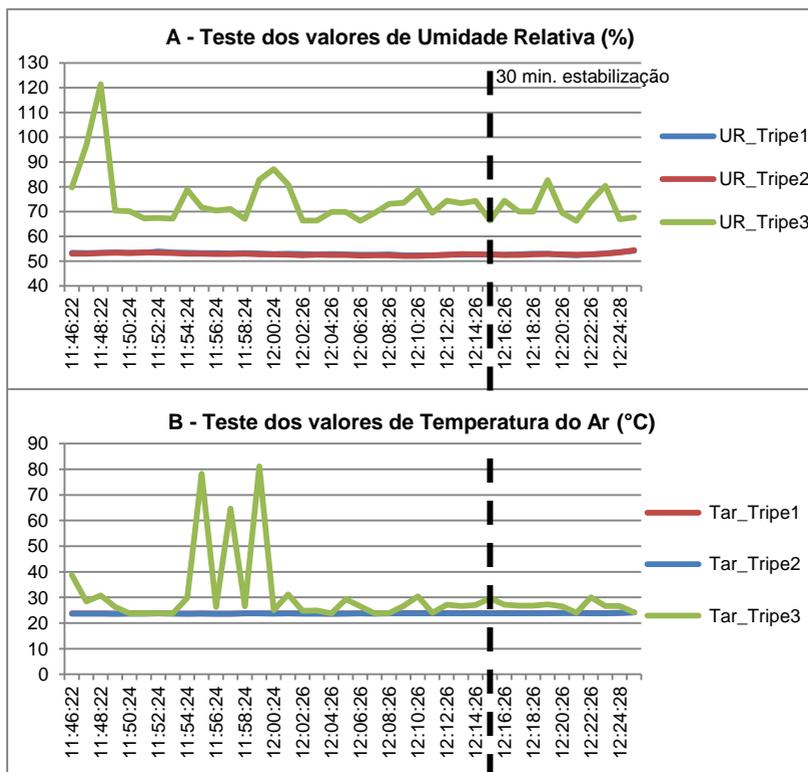
Faixa de leituras – Testo (m/s)	Faixa de leituras – AIRFLOW (m/s)
0,06	0,01
0,15	0,12
0,30	0,25
0,36 – 0,39	0,33 – 0,34
0,47 – 0,49	0,44 – 0,45
0,61 – 0,67	0,60 – 0,62
0,70 – 0,73	0,66 – 0,67
1,24	1,20
2,05 – 2,21	2,20 – 2,22
0,01 (“zero” – túnel desligado)	0

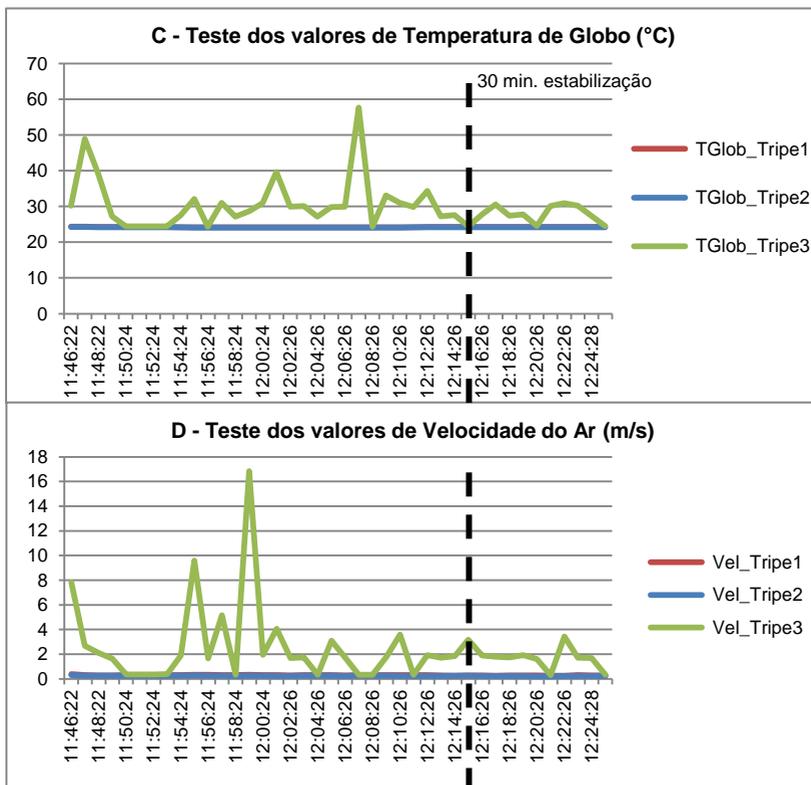
Observou-se que há uma diferença de até 0,05 m/s, em média, entre as leituras – o AIRFLOW lê os menores valores – a ser considerada no trabalho de campo: foi necessário o acréscimo de 0,05 m/s nos valores lidos pelo AIRFLOW nos estudos de campo. Tal correção foi possível devido ao comportamento linear da diferença de leituras observado durante os testes do túnel de vento. Apesar da faixa

de medição do AIRFLOW começar a partir de 0,25 m/s, de acordo com o fabricante, constatou-se que aquela relação linear também se aplicou a velocidades do ar inferiores a esse valor.

Por fim, após o procedimento de calibração, verificou-se como estavam as leituras das estações SENSU entre si, em um ambiente real. Esse teste foi realizado no ambiente do LMPT (climatizado), com os tripés posicionados conforme mostrado na Figura 91. Foram gravadas duas seqüências de dados: teste1, referente aos 30 primeiros minutos de funcionamento dos tripés (e também o tempo referente à estabilização do termômetro de globo negro), e teste2, compreendendo os 10 minutos de medição seguintes. Os resultados estão ilustrados nas figuras Figura 89 e Figura 90.

Figura 89 – Gráficos contendo os testes com os valores de variáveis (A – D)

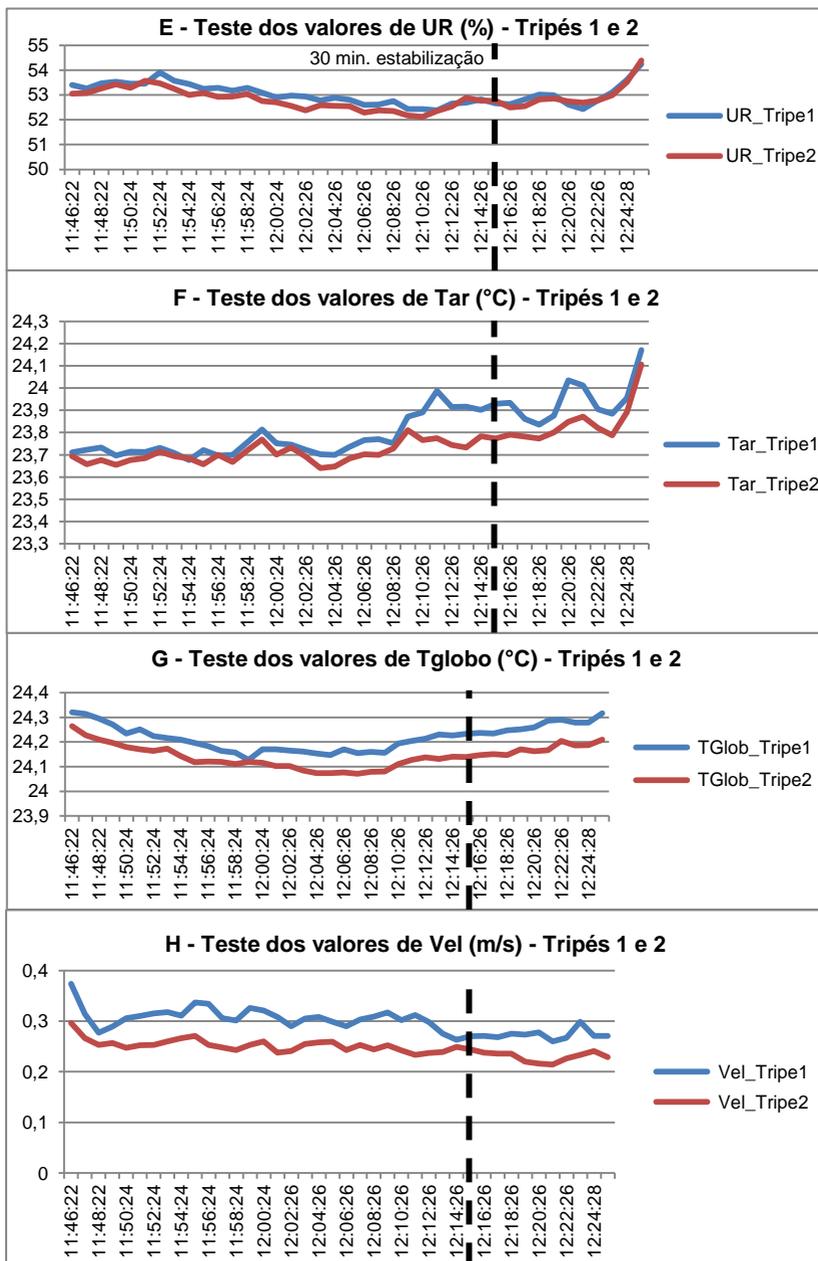




Por meio dos gráficos de A-D (Figura 89), é possível verificar que os valores das variáveis lidos pelo tripé 3 estavam completamente diferentes dos lidos pelos demais tripés, alguns fora da faixa de medição esperada (valores de UR acima de 100%) e apresentando uma variação não lógica, oscilante. Esse tripé não foi utilizado nos estudos de campo e, portanto, os tripés 1 e 2 foram deslocados para a realização da pesquisa.

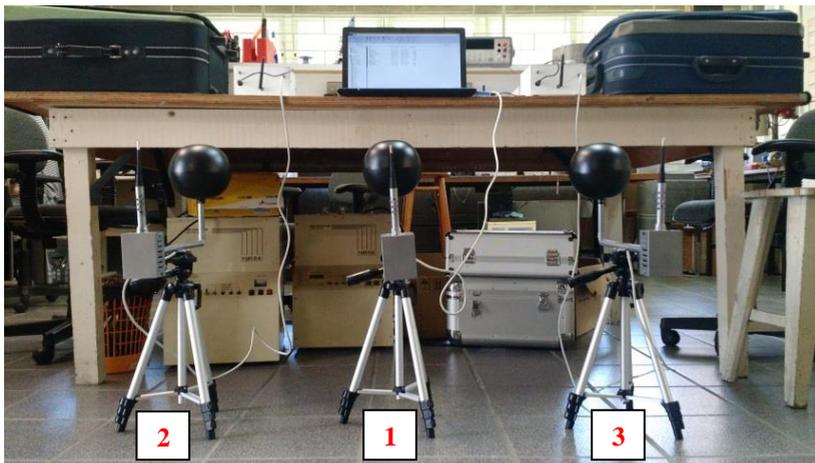
Em uma escala comparativa mais amíúde entre os tripés 1 e 2 (gráficos E, F, G e H na Figura 90), observou-se que a diferença entre ambos não ultrapassou $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ para T_{ar} e T_{globo} , e $0,25\%$ para UR (dentro dos limites de incerteza propostos pela NBR 16401-2, item 6.5.3., e pela ISO 7726 – 1998), quando consideradas as medições pós-estabilização dos sensores (após 30 min).

Figura 90 – Gráficos contendo os testes com os valores de variáveis (E – H)



Para a velocidade do ar, é mais complicado analisar a comparação de valores por conta da maior dificuldade na medição (precisão, tempo de resposta do sensor e grande variação ao longo do tempo e do espaço); ainda assim, nota-se que a diferença entre os valores medidos pelos tripés 1 e 2 após os 30 minutos não ultrapassa 0,05 m/s – a mesma diferença máxima percebida na comparação entre Testo e AIRFLOW.

Figura 91 – Teste das estações microclimáticas SENSU



É importante ressaltar que ao término das medições em São Luís, os tripés 1 e 2 foram transportados de volta a Florianópolis e, no mês de janeiro de 2018, os três tripés foram submetidos a um novo procedimento de calibração no mesmo túnel de vento. Verificou-se que as medições continuavam com a mesma precisão inicial; portanto, não foi necessário efetuar correções nos valores de variáveis ambientais registradas em São Luís.

APÊNDICE B – CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO E DOS AMBIENTES ANALISADOS

A edificação do curso de Arquitetura e Urbanismo, objeto deste estudo, é composta por um subsolo, térreo, primeiro pavimento e segundo pavimento (sótão), sendo que as entradas principais estão localizadas no pavimento térreo, voltadas para a Rua da Estrela. Os ambientes utilizados na pesquisa estão identificados nas plantas baixas, bem como seus respectivos pés-direitos e áreas. No pavimento térreo, está localizado o setor administrativo do curso, a cantina, dois pátios descobertos, duas salas multiuso climatizadas⁴, um auditório climatizado com área de apoio completa, uma sala de reitoria e dois conjuntos de banheiros (Figura 92).

No primeiro pavimento, estão localizadas as salas de aula que operam com ventilação natural e mais o auxílio de ventiladores de parede – são nove salas no total. Foram utilizadas seis dessas salas para a aplicação da pesquisa, identificadas com a cor laranja na Figura 93. Já o segundo pavimento é resultado do aproveitamento de um espaço existente entre a empena da cobertura, gerando uma espécie de sótão. Nele, estão contidos alguns ambientes de menor dimensão que não possuem contato direto com o exterior e, por conta disso, são precariamente iluminados e ventilados por meios naturais. Portanto, os únicos ambientes desse pavimento que são efetivamente utilizados são os que possuem climatização, entre eles laboratórios de pesquisa e uma sala multimídia, ambientes esses utilizados para algumas aulas (ver Figura 94, ambientes na cor rosa).

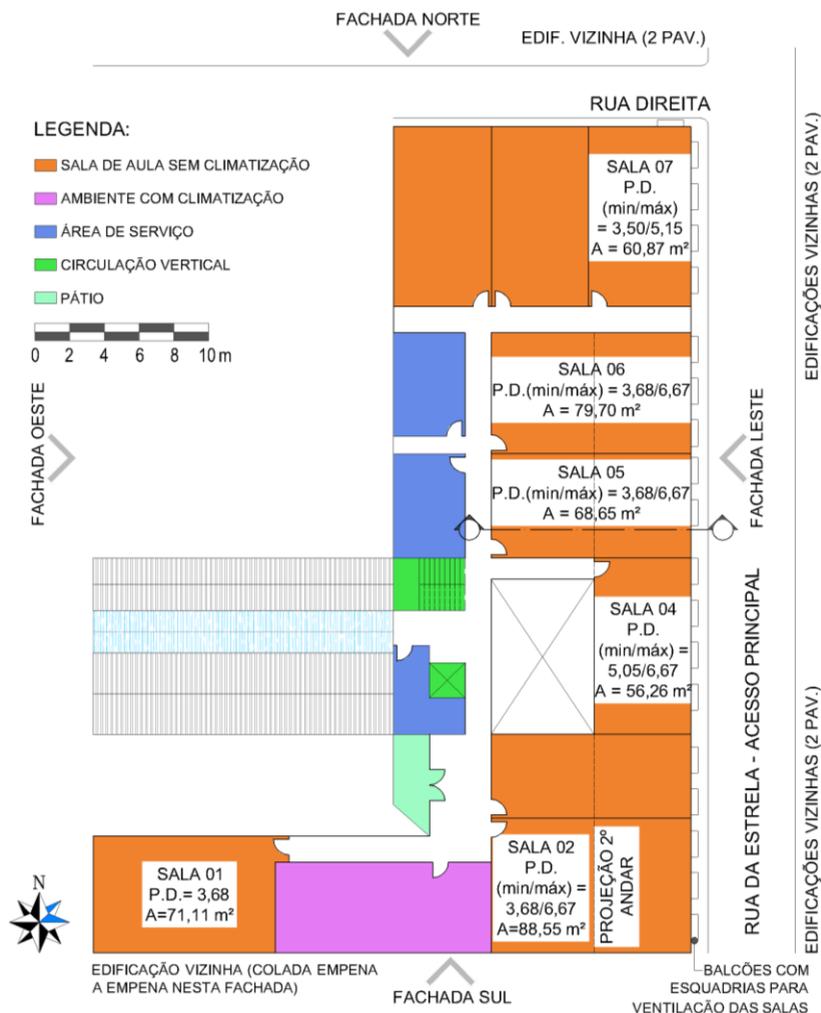
Nas representações de plantas baixas (Figura 92, Figura 93 e Figura 94), a direção predominante dos ventos locais (nordeste e leste) está identificada pela cor azul nas rosas-dos-ventos. Apesar da orientação da maioria das salas para o leste, o fluxo de ventilação natural é prejudicado na maioria delas, devido principalmente à situação do entorno, o qual é bastante edificado, e a distância entre as fachadas das edificações de lados opostos da Rua da Estrela, que está em torno de oito metros.

⁴ Apesar de possuírem aparelho ar condicionado, estes não estavam funcionando durante a primeira campanha de medições, entre março e maio de 2017. Durante a segunda campanha de medições, os equipamentos já estavam funcionando e as salas foram utilizadas para as aulas do curso.

Figura 92 – Planta baixa esquemática do pavimento térreo



Figura 93 – Planta baixa esquemática do primeiro pavimento



As salas naturalmente ventiladas, localizadas no primeiro pavimento, possuem pé-direito variável (ver corte esquemático na Figura 95), vedação exterior em pedra argamassada e balcões voltados ao exterior na fachada leste. É o caso das salas 2, 4, 5, 6 e 7, sendo que esta última está localizada na esquina entre as fachadas leste e norte, e possui um balcão voltado a esta orientação (Figura 93). A sala 1, exceção a esta regra, possui apenas uma medida de pé-direito e tem suas

esquadrias (janelas venezianas com peitoril) voltadas a norte e a oeste. Todas as salas de aula naturalmente ventiladas possuem layout semelhante, composto por dois agrupamentos de pranchetas de desenho técnico e quatro ventiladores de parede. Geralmente, são utilizadas com portas abertas.

Figura 94 – Planta baixa esquemática do segundo pavimento

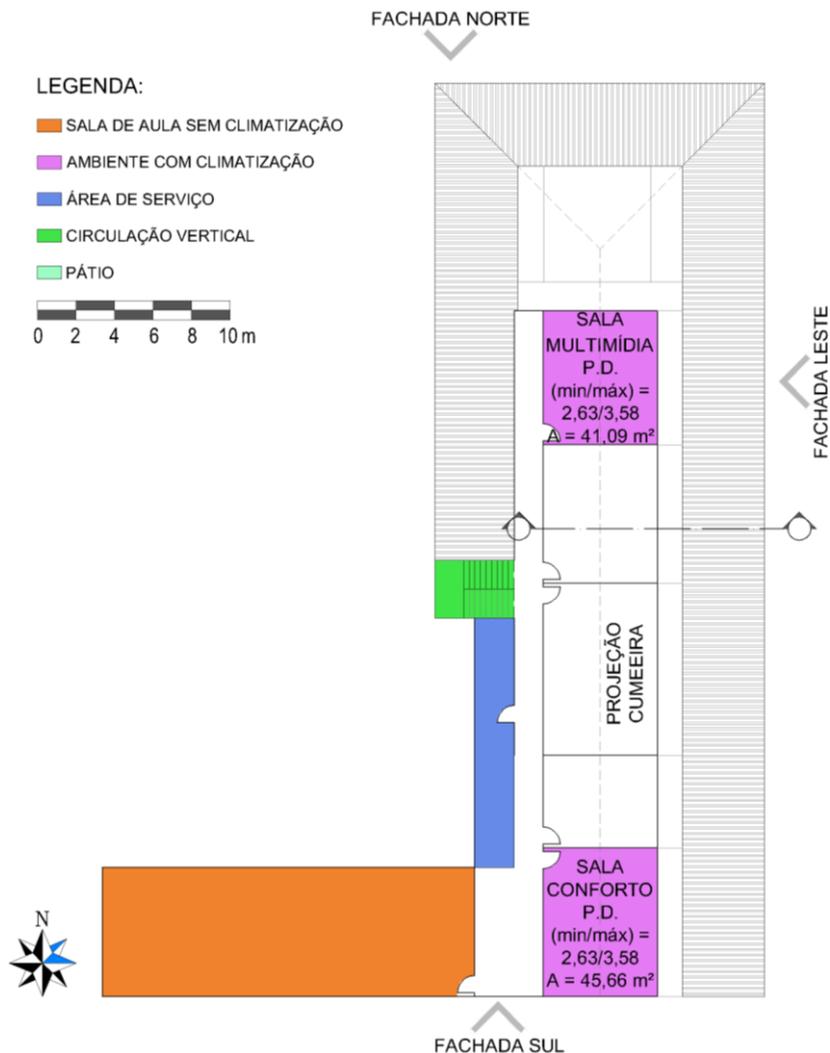
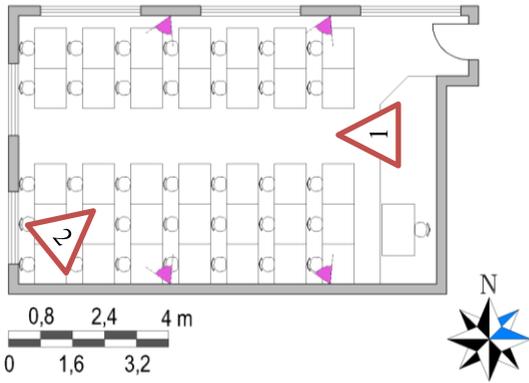


Figura 95 – Corte esquemático mostrando as salas de aula do 1º pav. e do 2º pav.



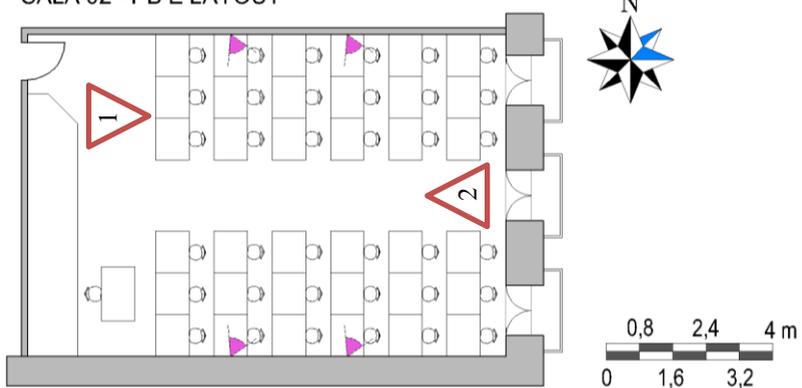
Já as duas salas climatizadas localizadas no segundo pavimento – sala multimídia e sala de conforto – possuem aberturas (janelas pivotantes) para as salas do primeiro pavimento, mas estas geralmente são mantidas fechadas, assim como as portas de acesso (ver representação do corte na Figura 95). O sistema de climatização adotado é individualizado por sala, composto por aparelhos do tipo *split*, sendo que as unidades condensadoras ficam localizadas no mesmo pavimento, em uma área técnica improvisada. O layout é composto por cadeiras individuais em plástico rígido com braço de apoio, e sua disposição é feita com menor disponibilidade de espaço, quando comparada à disposição das pranchetas de desenho nas salas naturalmente ventiladas. A seguir, estão representados os ambientes de sala de aula utilizados nesta pesquisa.

SALA 01 - PB E LAYOUT



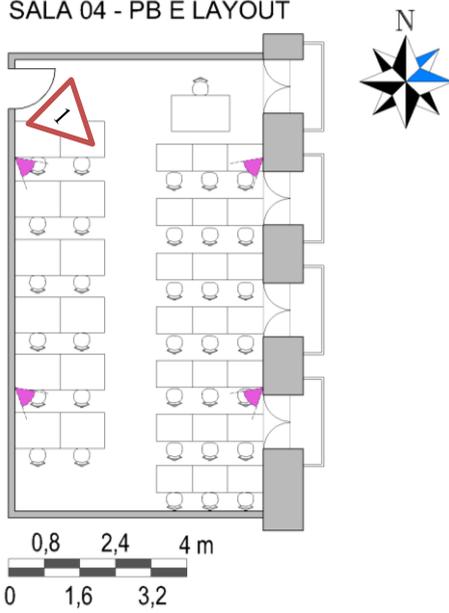
1	Área (m ²)	P.D. (m)	PAF norte (%)	PAF oeste (%)
	71,11	3,68	29	18

SALA 02 - PB E LAYOUT



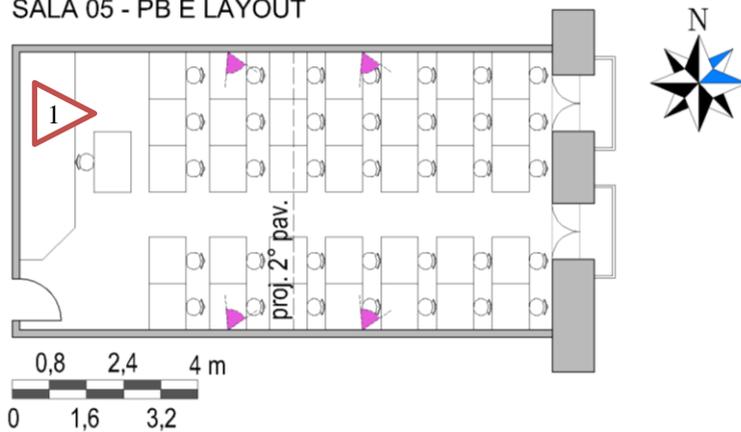
2	Área (m ²)	P.D. (m)	PAF leste (%)
	88,55	3,68 / 6,67	30

SALA 04 - PB E LAYOUT



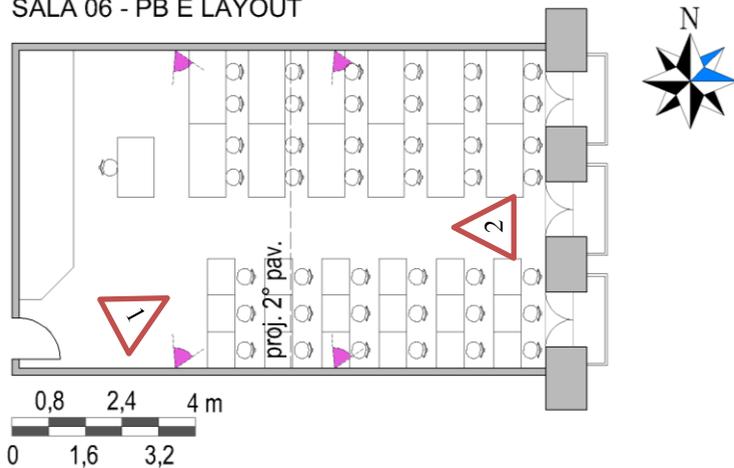
4	Área (m ²)	P.D. (m)	PAF leste (%)
	56,26	5,05 / 6,67	30

SALA 05 - PB E LAYOUT



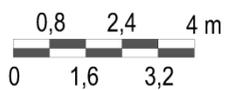
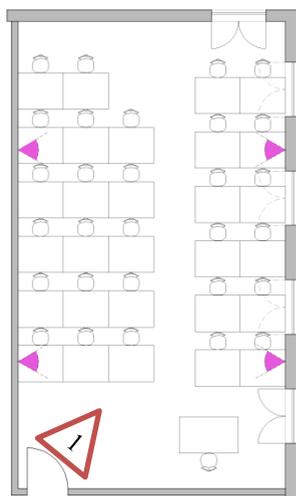
5	Área (m ²)	P.D. (m)	PAF leste (%)
	68,65	3,68 / 6,67	25

SALA 06 - PB E LAYOUT



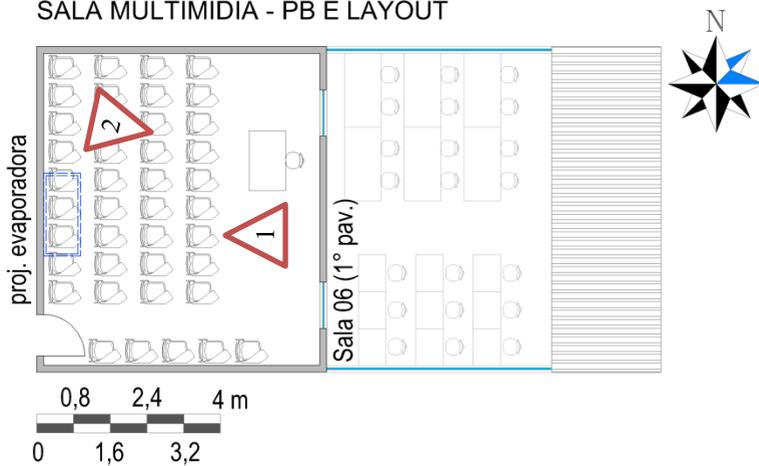
6	Área (m ²)	P.D. (m)	PAF leste (%)
	79,70	3,68 / 6,67	33

SALA 07 - PB E LAYOUT



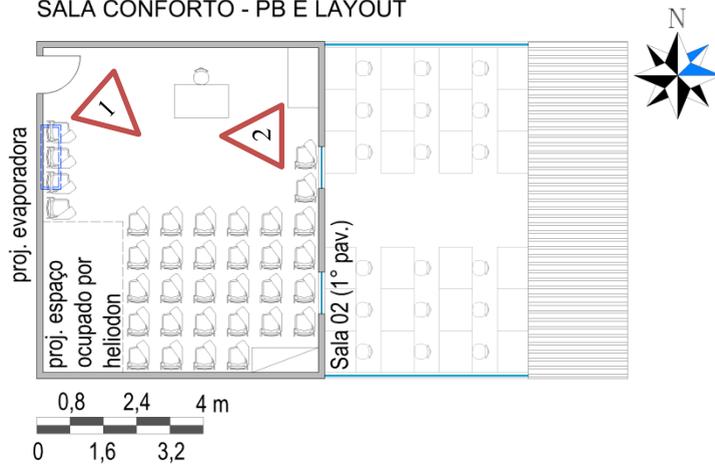
7	Área (m ²)	P.D. (m)	PAF leste (%)	PAF norte (%)
	60,87	3,50 / 5,15	43	19

SALA MULTIMÍDIA - PB E LAYOUT



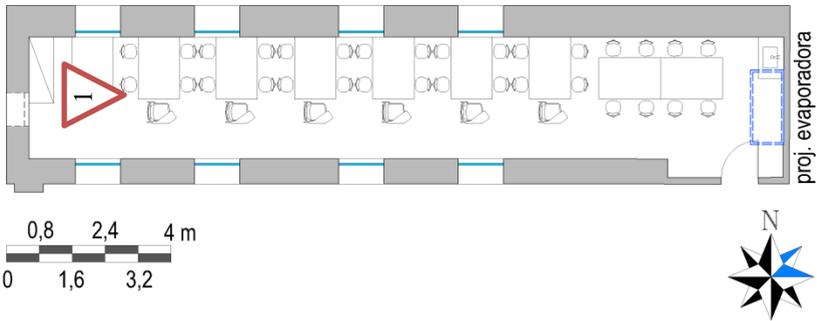
Mult	Área (m ²)	P.D. (m)	PAF leste (%)
	41,09	2,63 / 3,58	12

SALA CONFORTO - PB E LAYOUT



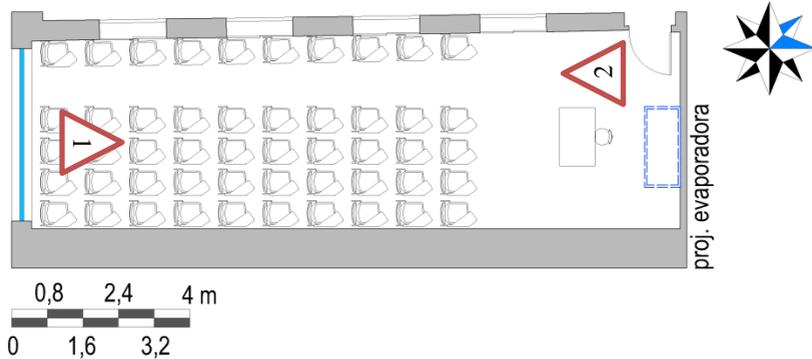
Conf	Área (m ²)	P.D. (m)	PAF leste (%)
	45,66	2,63 / 3,58	11

LABORATÓRIO DA PAISAGEM (LAPA) - PB E LAYOUT



Lapa	Área (m ²)	P.D. (m)	PAF norte (%)	PAF oeste (%)	PAF sul (%)
	58,17	4,07 / 4,48	11	7	12

SALA DE MONOGRAFIA - PB E LAYOUT



Mono	Área (m ²)	P.D. (m)	PAF oeste (%)	PAF norte (%)
	61,84	4,07 / 4,48	70	40

AUDITÓRIO - PB E LAYOUT



Auditório	Área (m ²)	P.D. (m)
	210,23	3,04 / 3,69

APÊNDICE C - MODELO DE QUESTIONÁRIO DEFINITIVO

Questionário – Frente

QUESTIONÁRIO PARA PESQUISA DE CONFORTO TÉRMICO

PARTE 1 - IDENTIFICAÇÃO

Data: ___/___/17 | Horário de início: _____hs

POR GENTILEZA, IDENTIFIQUE O NÚMERO QUE A PESQUISADORA TE DEU: _____

Gênero: () M () F

Idade: _____

Peso: _____

Altura: _____

Cidade onde nasceu: _____

Há quanto tempo mora em São Luis? _____

Atividade predominantemente exercida neste ambiente:

- () Sentado(a), quieto / () Sentado(a), lendo
() Sentado(a), escrevendo / () Sentado(a), digitando

Selecione as peças de sua vestimenta (já considerando roupas íntimas):



- () Blusa sem mangas / () Camisa manga curta (estilo pólo) / () Camisa social manga curta
() Camisa social manga longa / () Moletom manga longa



- () Calça (fina) / () Calça (grossa) / () Shorts curto / () Bermuda / () Saia curta
() Saia longa



- () Vestido longo / () Vestido curto / () Macacão (jardineira) / () Macacão (fechado)



- () Meia-calça / () Meias soquetes / () Meias médias / () Meias compridas
() Botas / () Tênis ou sapatos / () Sapatilhas / () Sandálias ou chinelos

Outra: _____

PARTE 2 - PREFERÊNCIAS E HÁBITOS

Qual das estratégias de condicionamento abaixo você escolheria para este ambiente? Por quê? (considerar todos os fatores que julgar pertinentes)

- () Ventilação natural / () Ventilação natural e ventiladores / () Ar-condicionado

Caso tenha vivência em ambientes com ar-condicionado, **onde e por quanto tempo (horas/dia)** ?

Considerar apenas algo que seja de sua rotina.

- () Não () Tenho vivência: Em casa: ___ / No transporte: ___ / No trabalho: ___ / No curso: ___

PARTE 3 - ANTES DESTA AULA...

Você está/esteve doente nos últimos dias? () Sim (Sintomas: _____) / () Não

Em que tipo de condicionamento de ambiente você esteve na **uma hora** que antecedeu esta aula?

- () Ventilação natural / () Ventilação natural e ventiladores / () Ar-condicionado

Qual atividade você estava exercendo **meia hora antes** de estar nesta aula?

(Sugestão: descrever brevemente com verbos: "me deslocando", "almoçando", "assistindo aula" etc.)

CONTINUA NA PÁGINA SEGUINTE...

Questionário – Verso

QUESTIONÁRIO PARA PESQUISA DE CONFORTO TÉRMICO

PARTE 4 - AVALIAÇÃO DO AMBIENTE TÉRMICO

Esta parte do experimento consiste em uma avaliação dinâmica ao longo do período de aula; por gentileza, as questões de A a F devem ser respondidas em intervalos de 20 a 20 minutos (totalizando 4 momentos de votos), quando solicitado pela pesquisadora. O tempo de preenchimento é de cerca de um minuto.

A cada solicitação de preenchimento, escolher apenas uma opção por questão (A/F), na coluna de cada voto.

VOTO 1	VOTO 2	VOTO 3	VOTO 4
--------	--------	--------	--------

A Qual é a sua sensação térmica neste momento?

Com muito frio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Com frio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Levemente com frio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Neutro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Levemente com calor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Com calor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Com muito calor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

B Você preferiria estar:

Mais aquecido	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Assim mesmo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mais resfriado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

C Para você, este ambiente **está** termicamente:

Aceitável (tolerável)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Inaceitável (intolerável)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

D Qual a sua opinião sobre o movimento do ar neste momento?

Aceitável - Pouco movimento do ar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aceitável - Suficiente movimento do ar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aceitável - Muito movimento do ar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Inaceitável - Pouco movimento do ar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Inaceitável - Muito movimento do ar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

E Qual a sua preferência em relação ao movimento do ar?

Maior movimento do ar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Não mudar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Menor movimento do ar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

F Nesse momento, você considera este ambiente:

Confortável	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Desconfortável	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

PARTE 5 - PARA FINALIZAR...

Por gentileza, responda a estas questões no final do experimento, ao sair da sala de aula.

Você esteve ausente da sala por um período superior a 5 minutos?

- () Não
() Sim (Quantas vezes? _____)

Caso você tenha promovido alguma (ou mais de uma) das ações abaixo no período de aula, **buscando melhores condições de conforto térmico dentro da sala**, por favor, assinale:

- () Mexi no aparelho ar-condicionado;
() Operei ventiladores e/ou janelas;
() Mudei de carteira para mais próximo/distante de: janelas/ventiladores/ar condicionado;
() Movimentei meu corpo visando me aquecer ou me resfriar;
() Utilizei leques, lenços, prendedores de cabelo ou outros acessórios do gênero;
() Modifiquei/acrescentei/tirei alguma peça de vestimenta (ex.: coloquei um moletom);
() Ingeri bebidas quentes/frias/neutras.

Outra: _____

Fique inteiramente à vontade para opinar e sugerir ações que, em sua opinião, trariam melhorias a este ambiente térmico (opcional):

Obrigada pela sua participação!

Carolina de Oliveira Buonocore
Arquiteta e Urbanista, Mestranda do Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PósARQ - UFSC)
e-mail: carolina_buonocore@yahoo.com.br

APÊNDICE D – ANÁLISE DE TEMPERATURAS EXTERNAS HORÁRIAS NA ESTAÇÃO SECA DE SÃO LUÍS

Nessa análise, foi adotado o intervalo entre os dias 03/10/2017 e 09/10/2017, cujos dados estão completos na planilha *online* disponibilizada pelo INMET, e que corresponde a um período intermediário entre a segunda etapa de medição (iniciada no dia 02/09/2017 e finalizada no dia 01/11/2017). Obteve-se a média de temperaturas máximas (Figura 96) e de temperaturas mínimas (Figura 97) para cada hora do dia, e o desvio padrão da amostra que possui sete dias (sete valores de temperatura a cada hora do dia), conforme a Tabela 34.

Figura 96 – Temperaturas máximas horárias na semana de 03 a 09/10/2017

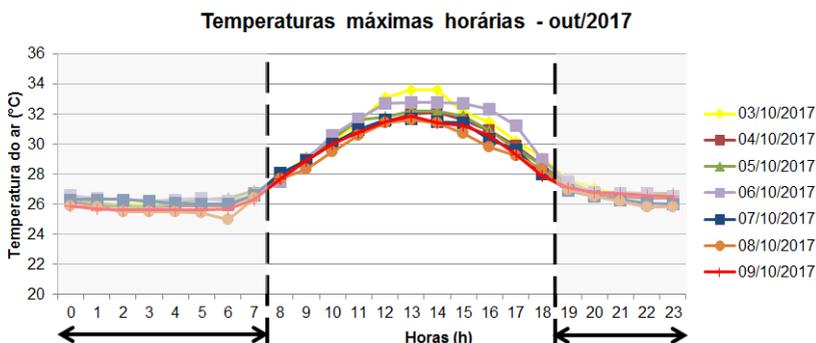


Figura 97 – Temperaturas mínimas horárias na semana de 03 a 09/10/2017

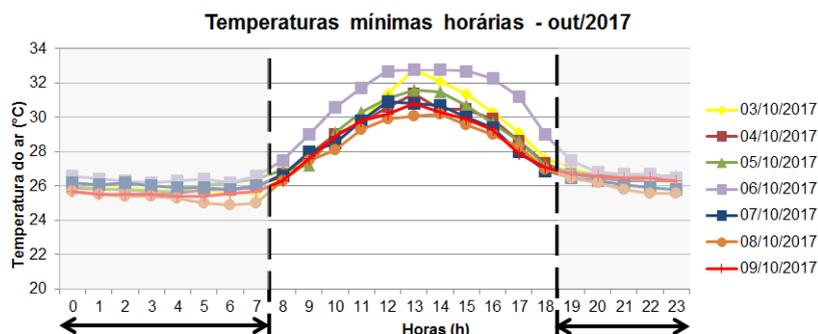


Tabela 34 – Média e desvio padrão amostral dos valores de temperatura máxima e mínima na semana de 03 a 09/10/2017

Horário	Temperaturas (°C)		Desvio Padrão (+/-)	
	Méd. Máx.	Méd. Mín.	Méd. Máx.	Méd. Mín.
0	26,2	26,0	0,3	0,3
1	26,0	25,8	0,3	0,3
2	25,9	25,8	0,3	0,3
3	25,9	25,7	0,3	0,3
4	25,9	25,7	0,3	0,3
5	25,9	25,7	0,4	0,4
6	25,9	25,7	0,4	0,4
7	26,6	25,8	0,2	0,5
8	27,8	26,6	0,2	0,2
9	28,9	27,6	0,3	0,3
10	30,1	28,7	0,3	0,4
11	31,1	29,8	0,4	0,3
12	31,9	30,8	0,7	0,6
13	32,3	31,4	0,7	0,9
14	32,1	31,1	0,8	0,8
15	31,7	30,6	0,7	0,9
16	30,9	29,8	0,8	0,7
17	29,9	28,5	0,7	0,5
18	28,5	27,2	0,5	0,3
19	27,2	26,7	0,3	0,2
20	26,7	26,5	0,2	0,2
21	26,5	26,3	0,2	0,3
22	26,4	26,3	0,3	0,4
23	26,3	26,2	0,3	0,3

Considerando as representações gráficas, pode-se concluir que a variação da temperatura, nos períodos noturno e madrugada, é mínima. O desvio padrão em relação à média calculada hora a hora é bem pequeno, em torno de 0,3 °C. Portanto, as médias horárias de temperaturas máximas e mínimas representadas na Tabela 34 foram adotadas no preenchimento das lacunas contidas nas planilhas de cálculo da temperatura média predominante externa (T_{mpe}).