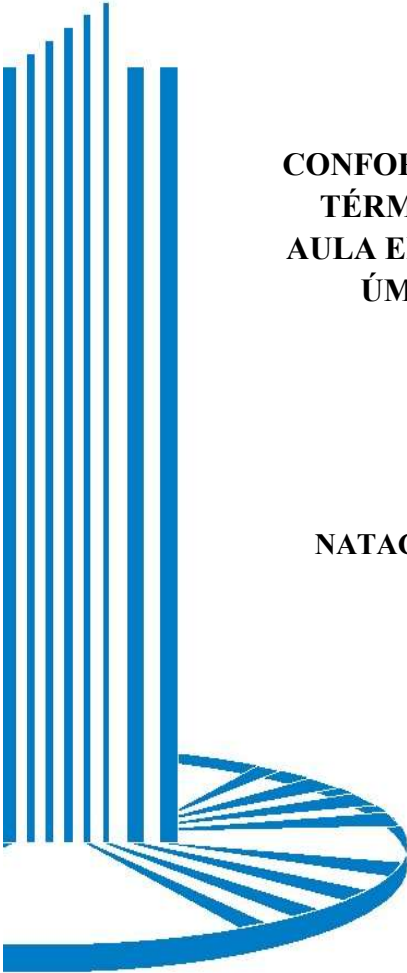


FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E
SUSTENTABILIDADE

TRABALHO DE CONCLUSÃO FINAL DE CURSO DO MESTRADO PROFISSIONAL
EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE



CONFORTO E PREFERÊNCIA TÉRMICA EM SALAS DE AULA EM CLIMA TROPICAL ÚMIDO NO BRASIL

NATACHA VIANA SEABRA DE
FREITAS

CAMPO GRANDE
2018

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E
GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E
SUSTENTABILIDADE**

**CONFORTO E PREFERÊNCIA TÉRMICA EM
SALAS DE AULA EM CLIMA TROPICAL ÚMIDO
NO BRASIL**

NATACHA VIANA SEABRA DE FREITAS

**CAMPO GRANDE
2018**

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E
GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E
SUSTENTABILIDADE**

CONFORTO E PREFERÊNCIA TÉRMICA EM SALAS DE AULA EM CLIMA TROPICAL ÚMIDO NO BRASIL

NATACHA VIANA SEABRA DE FREITAS

Dissertação para defesa do Mestrado Profissional apresentado na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade, na área de concentração de Eficiência Energética.

Orientador: Prof. Dr. Wagner Augusto Andreasi

**CAMPO GRANDE
2018**

FOLHA DE APROVAÇÃO

Redação final do Trabalho de Conclusão Final de Curso defendida por **NATACHA VIANA SEABRA DE FREITAS**, aprovada pela Comissão Julgadora em 29 de agosto de 2018, na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade.



Prof. Dr. Wagner Augusto Andreasi – Orientador
FAENG/UFMS

Prof. Dr. Arthur Santos Silva – Membro Titular
FAENG/UFMS

Prof. Dr. Hamilton Germano Pavão – Membro Externo
INFI/UFMS

DEDICATÓRIA

*À minha querida
família, imprescindível para que eu chegasse aqui!*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pela oportunidade que me foi concedida quando entrei no mestrado.

Agradeço aos meus pais, João e Jesus, por todo apoio e amor incondicional que me deram e por sempre me incentivarem nos estudos, ainda que distantes sempre dispostos e presentes no apoio e incentivo.

Agradeço ao meu esposo Filipe por toda compreensão, ajuda e paciência quando mais necessitei. Por todo apoio, torcida e incentivo que me ofereceu ao longo dessa caminhada.

Agradeço imensamente ao meu orientador, o professor Dr. Wagner Augusto Andreasi, pela confiança no meu trabalho e pelos valiosos ensinamentos que ministrou ao longo do mestrado; por sempre estar presente para retirar todas dúvidas que surgiram no caminho e por sempre se colocar à disposição independente das circunstâncias. O meu profundo agradecimento por toda sabedoria concedida.

Agradeço a oportunidade de fazer parte do Laboratório de Análise e Desenvolvimento de Edificações (LADE) da UFMS. Agradeço a parceria dos colegas de mestrado, e principalmente a companhia dos colegas do LADE: Julia, Fernando, Rejane, Tássio e em especial a dedicação da minha amiga Larissa Mikuri na cansativa coleta de dados no estudo de campo.

Agradeço aos professores Dr.^a Ana Paula da Silva Milani, Dr. Arthur Santos Silva e Dr. Hamilton Germano Pavão, pela contribuição durante a qualificação e defesa, compartilhando seus conhecimentos para a melhoria deste trabalho.

E por fim, agradeço ao Colégio Militar de Campo Grande, por autorizar a realização do experimento de campo nas salas de aula, sempre cooperando no que fosse necessário para a execução das coletas de dados.

E a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

EPÍGRAFE

*“Nenhuma alta sabedoria pode ser
atingida sem uma dose de sacrificio...”
(C.S. Lewis)*

RESUMO

DE FREITAS, N. V. S. (2018). Conforto e preferência térmica em salas de aula em clima tropical úmido no Brasil. Campo Grande, 2018. 196 p. Trabalho de Conclusão Final de Curso do Mestrado Profissional em Eficiência Energética e Sustentabilidade – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

O crescimento populacional gera um aumento na densidade urbana, influenciando diretamente nas características ambientais internas dos edifícios. Em um ambiente escolar, o conforto térmico é um dos fatores primordiais para um bom desempenho e bem-estar de seus usuários, sobretudo atualmente, uma vez que concentração e produtividade são imprescindíveis para a obtenção de bons resultados no âmbito acadêmico. O objetivo principal deste trabalho é avaliar a percepção de conforto e a preferência térmica dos alunos de uma escola de Campo Grande, em nove salas com diferentes tipos de ventilação ambiental, tais como: natural, modo misto e ar-condicionado. Para a coleta de dados foram realizadas medições físicas das variáveis microclimáticas internas (temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade relativa) e externas (temperatura do ar e umidade relativa) do ambiente durante o período de aulas; simultaneamente foram aplicados questionários para obtenção de dados subjetivos referentes às características gerais dos alunos e ao conforto térmico (sensação, estado, preferência e velocidade do ar). Foram obtidos nos estudos de campo um total de 1924 questionários válidos, aplicados durante as estações de primavera e verão. Foram realizadas análises de regressão linear entre os votos de sensação térmica real dos alunos e a temperatura operativa, obtendo as seguintes temperaturas de conforto conforme o tipo de sala analisada e estação: ventilação natural (23,8°C para primavera e verão), ventilação de modo misto (26,8°C para primavera e 27,0°C para o verão) e ar-condicionado (25,0°C para primavera e 27,5°C para o verão). Conclui-se que apesar das temperaturas altas encontradas nas salas de aula com ar-condicionado, a maioria dos alunos estavam confortáveis ou levemente confortáveis

(82,1% na primavera e 82,3% no verão), aceitando o ambiente térmico de suas salas de aula.

Palavras-chaves: Conforto Térmico; Preferência Térmica; Clima Tropical Úmido.

ABSTRACT

Population growth generates an increase in urban density, directly influencing the internal environmental characteristics of buildings. In a school environment, thermal comfort is one of the fundamental factors for the good performance and well-being of its users, especially nowadays, since concentration and productivity are essential to achieve good academic results. The main objective of this work is to evaluate the perception of comfort and thermal preference of the students of a school in Campo Grande, in nine rooms with different types of environmental ventilation, such as: natural, mixed-mode and air-conditioning. For the data collection, physical measurements of the internal microclimatic variables (air temperature, mean radiant temperature, air velocity and relative humidity) and external (air temperature and relative humidity) of the environment during the class period were performed; simultaneously, questionnaires were applied to obtain subjective data regarding the general characteristics of the students and the thermal comfort (sensation, state, preference and air velocity). A total of 1924 valid questionnaires, applied during the spring and summer seasons, were obtained in the field studies. Linear regression analyzes were performed between the students' actual thermal sensation and the operating temperature, obtaining the following comfort temperatures according to the type of room analyzed and the station: natural ventilation (23.8°C for spring and summer), mixed-mode ventilation (26.8°C for spring and 27.0°C for summer) and air-conditioning (25.0°C for spring and 27.5°C for summer). It was concluded that despite the high temperatures found in air-conditioned classrooms, most students were comfortable or slightly comfortable (82.1% in spring and 82.3% in summer), accepting the thermal environment of their classrooms.

Keywords: Thermal Comfort; Thermal Preference; Tropical Humid.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Número de documentos publicados sobre conforto térmico humano.....	31
Figura 2 - Número de documentos publicados sobre conforto térmico em edificações escolares.....	42
Figura 3 - Classificação Climática da América do Sul.	62
Figura 4 - Normais Climatológicas de Campo Grande, anos de 1961-1990.	63
Figura 5 - Situação das salas analisadas do Colégio Militar de Campo Grande.....	64
Figura 6 -Setorização do Colégio Militar de Campo Grande.	64
Figura 7 - Beirais do pátio interno das salas analisadas.....	65
Figura 8 - Beirais do pátio externo das salas analisadas	65
Figura 9 - Ventiladores das salas analisadas.....	66
Figura 10 - Ar-condicionado das salas analisadas.....	66
Figura 11 -Sistema de ventilação cruzada.	67
Figura 12 - Localização e disposição dos equipamentos na sala de aula 603.	68
Figura 13 - Localização e disposição dos equipamentos na sala de aula 702.	69
Figura 14 - Localização e disposição dos equipamentos na sala de aula 802.	70
Figura 15 - Localização e disposição dos equipamentos na sala de aula 903.	71
Figura 16 - Localização e disposição dos equipamentos na sala de aula 102.	72
Figura 17 -Localização e disposição dos equipamentos na sala de aula 203.	73
Figura 18 - Localização e disposição dos equipamentos na sala de aula 302.	74

Figura 19 - Localização e disposição dos equipamentos na sala de aula 304.....	75
Figura 20 - Localização e disposição dos equipamentos na sala de aula 3F.....	76
Figura 21 - Monitoramento da coleta de dados, duração de cada medição.	77
Figura 22 - Confortímetro BABUC/A.	79
Figura 23 - Localização do Confortímetro BABUC/A nas salas.	80
Figura 24 - Hobo RH/Temp modelo H08-003-02.....	81
Figura 25 - Anemômetro de fio quente instalado na sala de aula.	81
Figura 26 - Questionário utilizado na pesquisa.....	82
Figura 27 - Ferramenta Comfort Tool para análise de conforto pelo método PMV da ASHRAE 55.....	85
Figura 28 - Ferramenta Comfort Tool para análise de conforto pelo método PMV da	85
Figura 29 - Ferramenta LADEsys para análise de conforto pelo método PMV da	86
Figura 30 - Ferramenta Comfort Tool para análise de conforto pelo método adaptativo da ASHRAE 55.....	87
Figura 31 - Ferramenta Comfort Tool para análise de conforto pelo método adaptativo da EN 15251.....	87
Figura 32 - Porcentagens dos tipos de salas analisadas.	92
Figura 33 - Porcentagem do sexo dos alunos.	93
Figura 34 - Porcentagem do sexo dos alunos conforme o tipo de sala e estação.....	93
Figura 35 - Porcentagens dos tipos de isolamento térmico da vestimenta.	96
Figura 36 - Temperatura externa na primavera – Sinda /INPE.	98
Figura 37 - Temperatura externa na primavera – No local.	98
Figura 38 - Umidade relativa externa na primavera – Sinda/INPE.....	99
Figura 39 - Umidade relativa externa na primavera – No local.....	99

Figura 40 - Temperatura externa no verão – Sinda/INPE.	100
Figura 41 - Temperatura externa no verão – No local.	100
Figura 42 - Umidade relativa externa no verão – Sinda/INPE.....	101
Figura 43 - Umidade relativa externa no verão – No local.....	101
Figura 44 - Regressão entre o voto de sensação térmica e a temperatura operativa - salas com ventilação natural.....	105
Figura 45 - Regressão entre o voto de sensação térmica e a temperatura operativa - salas com ventilação de modo misto.	105
Figura 46 - Regressão entre o voto de sensação térmica e a temperatura operativa - salas com ar-condicionado.	106
Figura 47 - Escala de sensação térmica das salas com ventilação natural.	109
Figura 48 - Escala de estado térmico das salas com ventilação natural.	109
Figura 49 - Escala de sensação térmica das salas com ventilação de modo misto.....	111
Figura 50 - Escala de estado térmico das salas com ventilação de modo misto.....	111
Figura 51 - Escala de sensação térmica das salas com ar-condicionado.	113
Figura 52 - Escala de estado térmico das salas com ar-condicionado.	113
Figura 53 - Correlação entre a escala de sensação térmica versus tipos de ventilação - Primavera.....	115
Figura 54 - Correlação entre a escala de sensação térmica versus tipos de ventilação - Verão.....	115
Figura 55 - Correlação entre a escala de sensação térmica versus sexo – salas com ventilação natural.	116
Figura 56 - Correlação entre a escala de sensação térmica versus sexo – salas com ventilação de modo misto.....	117
Figura 57 Correlação entre a escala de sensação térmica versus sexo – salas com ar-condicionado.....	117
Figura 58 - Correlação entre a escala de sensação térmica e a idade..	119

Figura 59 - Escala de preferência térmica das salas com ventilação natural.	120
Figura 60 - Escala de preferência térmica das salas com ventilação de modo misto.	121
Figura 61 - Escala de preferência térmica das salas com ar-condicionado.	122
Figura 62 - Correlação entre a escala de preferência térmica versus sexo – salas com ventilação natural.	123
Figura 63 - Correlação entre a escala de preferência térmica versus sexo – salas com ventilação de modo misto.	123
Figura 64 - Correlação entre a escala de preferência térmica versus sexo – salas com ar-condicionado.	124
Figura 65 - Correlação entre a escala de preferência térmica e a idade.	126
Figura 66 - Escala de sensação da velocidade do ar das salas com ventilação natural.	128
Figura 67 - Escala de aceitabilidade da velocidade do ar das salas com ventilação natural.	128
Figura 68 - Escala de sensação da velocidade do ar das salas com ventilação de modo misto.	130
Figura 69 - Escala de aceitabilidade da velocidade do ar das salas com ventilação de modo misto.	130
Figura 70 - Escala de sensação do movimento do ar das salas com ar-condicionado.	131
Figura 71 - Escala de aceitabilidade do movimento do ar das salas com ar-condicionado.	131
Figura 72 - Correlação entre a escala de sensação da velocidade do ar versus sexo – salas com ventilação natural.	132
Figura 73 - Figura 73 – Correlação entre a escala de sensação de velocidade do ar versus sexo – salas com ventilação de modo misto.	133
Figura 74 - Correlação entre a escala de sensação de velocidade do ar versus sexo – salas com ar-condicionado.	133

Figura 75 - Correlação entre a escala de sensação da velocidade do ar e a idade.....	136
Figura 76 - Correlação entre o VST e o PMV – salas com ventilação natural.....	137
Figura 77 - Correlação entre o VST e o PMV – salas com ventilação de modo misto.	138
Figura 78 - Correlação entre o VST e o PMV – salas com ar-condicionado.....	139
Figura 79 - Correlação entre o PPD e o VSTREAL – Salas com ventilação natural.....	140
Figura 80 - Correlação entre o PPD e o VSTREAL – Salas com ventilação de modo misto.	141
Figura 81 - – Correlação entre o PPD e o VSTREAL – Salas com ar-condicionado.....	142
Figura 82 - Comparação entre o VSTREAL com o índice PMV das metodologias – Salas com ventilação natural.	146
Figura 83 - Comparação entre o VSTREAL com o índice PMV das metodologias – Salas com ventilação de modo misto.....	146
Figura 84 - Comparação entre o VSTREAL com o índice PMV das metodologias – Salas com ar-condicionado.....	147
Figura 85 - Modelo adaptativo conforme a ASHRAE 55 – Salas com ventilação natural.....	150
Figura 86 - Modelo adaptativo conforme a ASHRAE 55 – Salas com ventilação de modo misto.....	151
Figura 87 - Modelo adaptativo conforme a ASHRAE 55 – Salas com ar-condicionado.....	152
Figura 88 - Modelo adaptativo conforme a EN 15251 – Salas com ventilação natural.....	155
Figura 89 - Modelo adaptativo conforme a EN 15251 – Salas com ventilação de modo misto.	156
Figura 90 - Modelo adaptativo conforme a EN 15251 – Salas com ar-condicionado.....	157

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Artigos sobre conforto térmico em edificações escolares.	43
Tabela 2 - Normas de conforto térmico.....	54
Tabela 3 - Escala de sensação térmica de sete pontos.....	59
Tabela 4 - Especificações das salas de aula analisadas.	67
Tabela 5 - Critérios exigidos pela norma ISO 7726.	78
Tabela 6 - Especificações técnicas dos equipamentos utilizados na coleta de dados.....	81
Tabela 7 - Escala de sensação térmica utilizada.....	83
Tabela 8 - Dados obtidos nas salas analisadas.....	91
Tabela 9 - Dados antropométricos dos alunos.....	94
Tabela 10 - Isolamento térmico da vestimenta e taxa metabólica.....	96
Tabela 11 - Variáveis ambientais coletadas nas salas de aula durante a primavera.....	102
Tabela 12 - Variáveis ambientais coletadas nas salas de aula durante o verão.	103
Tabela 13 - Temperatura de conforto.	107
Tabela 14 - Escalas utilizadas para as questões subjetivas.....	107
Tabela 15 - Escala de preferência térmica dos alunos.....	120
Tabela 16 - Escala de velocidade do ar.	127
Tabela 17 Porcentagem de votos neutros conforme o tipo de sala.....	132
Tabela 18 - Comparação entre as metodologias - Primavera.	144
Tabela 19 - Comparação entre as metodologias - Verão.....	145
Tabela 20 - Aplicação do método adaptativo conforme o tipo de sala.	159
Tabela 21 - Salas com ventilação natural.	193
Tabela 22 - Salas com ventilação de modo misto.....	193
Tabela 23 - Salas com ar-condicionado.....	194

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	Ar-condicionado
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado)
CMCG	Colégio Militar de Campo Grande
DP	Desvio Padrão
EN	European Standard (Norma Europeia)
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IMC	Índice de Massa Corporal
ISO	International Organization for Standardization (Organização Internacional para Padronização)
LADE	Laboratório de Análise e Desenvolvimento de Edificações
LSI	Laboratori di Strumentazione Industriali (Laboratórios de Instrumentação Industrial)
NR	Norma Regulamentadora
PMV	Predicted Mean Vote (Voto Médio Predito).
PPD	Predicted Percentage Dissatisfied (Percentual de Pessoas Insatisfeitas).
SET	Standard Effective Temperature (Temperatura Efetiva Padrão em °C)
T _{AR}	Temperatura do Ar (°C)
T _G	Temperatura de Globo (°C)
T _{ext}	Temperatura do Ar Externo (°C)
T _{RM}	Temperatura Radiante Média (°C)
T _{OP}	Temperatura Operativa (°C)
UFMS	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
UR	Umidade Relativa (%)
UR _{ext}	Umidade Relativa Externa (%)

V_{AR}	Velocidade do Ar (m/s)
VM	Ventilação de Modo Misto (Dois tipos de sistemas de ventilação)
VN	Ventilação Natural
$VST_{ANDREASI}$	Voto de Sensação Térmica Andreasi
VST_{REAL}	Voto de Sensação Térmica Real

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
M	Atividade desempenhada
I_{cl}	Índice de vestimenta
$^{\circ}\text{C}$	Unidade de medida de temperatura em graus Celsius
clo	Unidade de medida de isolamento da roupa
mm	Unidade de medida de comprimento em milímetro
cm	Unidade de medida de comprimento em centímetro
m	Unidade de medida de comprimento em metro
m/s	Unidade de medida de velocidade em metros por segundo
m^2	Unidade de medida de área em metro quadrado
$\text{m}^2.\text{^{\circ}C/W}$	Unidade de medida de isolamento da roupa em metro quadrado graus Celsius por watt
W/m^2	Unidade de medida de taxa metabólica em watts por metro quadrado
met	Unidade de medida de taxa metabólica
h	Unidade de medida de tempo em horas
kg	Unidade de medida de massa em quilograma

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	25
1.1.JUSTIFICATIVA	27
1.2.OBJETIVOS	29
1.2.1.Geral	29
1.2.2.Específicos	29
1.3.ESTRUTURA DO TRABALHO	29
2. REVISÃO DE LITERATURA	31
2.1.CONFORTO TÉRMICO HUMANO	31
2.1.1.Modelos estático e adaptativo	32
2.1.2.Modelos fisiológicos	34
2.1.3.Conforto térmico e consumo de energia.....	35
2.1.4.Conforto térmico conforme o sexo e a idade.....	36
2.1.5.Conforto térmico e produtividade	39
2.2.ESTUDOS DE CAMPO EM EDIFICAÇÕES ESCOLARES	41
2.2.1.Fase educacional	42
2.2.1.1. <i>Jardim de Infância</i>	43
2.2.1.2. <i>Escolas (Primário e Secundário)</i>	44
2.2.1.3. <i>Universidades</i>	49
2.3.NORMAS DE CONFORTO TÉRMICO	53
2.4.ÍNDICES DE AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO....	57
2.4.1.PMV (Voto Médio Predito)	57
2.4.1.1. <i>Temperatura Radiante Média (T_{RM})</i>	57
2.4.1.2. <i>Temperatura Operativa (T_{OP})</i>	58
2.4.2.PPD (Percentual de Pessoas Insatisfeitas)	59
2.4.3.VST _{ANDREASI} (Voto de Sensação Térmica Andreasi)	59
3. MATERIAIS E MÉTODO.....	61
3.1.CONTEXTO CLIMÁTICO DE CAMPO GRANDE / MS.....	61
3.2.SALAS DE AULA INVESTIGADAS	63
3.3.INSTRUMENTOS E PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO....	76
3.3.1.Projeto piloto	76
3.3.2.Cálculo amostral.....	77
3.3.3.Instrumentos de medição.....	78

3.3.4. Questionário da pesquisa	82
3.4. ANÁLISE E TRATAMENTO DE DADOS	83
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	91
4.1. APRESENTAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS NA PESQUISA	92
4.1.1. Dados antropométricos.....	92
4.1.2. Variáveis ambientais	97
4.1.2.1. <i>Variáveis ambientais coletadas no local</i>	102
4.1.2.2. <i>Temperatura de conforto</i>	104
4.1.3. Variáveis subjetivas.....	107
4.1.3.1. <i>Sensação térmica x Estado térmico</i>	108
4.1.3.2. <i>Preferência térmica</i>	119
4.1.3.3. <i>Velocidade do ar</i>	127
4.2. APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE CONFORTO TÉRMICO	136
4.2.1. Método estático	136
4.2.2. Método adaptativo	149
5. CONCLUSÕES	161
5.1. LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	165
5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	166
REFERÊNCIAS	167
APÊNDICE A - MODELO DO QUESTIONÁRIO APLICADO NO ESTUDO.....	191
APÊNDICE B - TABELA PARA O DESENVOLVIMENTO DAS CORRELAÇÕES ENTRE OS VOTOS E OS ÍNDICES.....	193

1. INTRODUÇÃO

De acordo com United Nations (2014) espera-se que até 2050 cerca de 66% da população mundial esteja localizada nos centros urbanos, sendo que aproximadamente 82% da população urbana estará localizada em regiões mais desenvolvidas e 18% em regiões em desenvolvimento. O crescimento populacional provoca um aumento na densidade urbana, influenciando diretamente nas características internas das edificações. Pessoas gastam de 80-90% do seu tempo em ambientes fechados (DASCALAKI; SERMPETZOGLOU, 2011) e alunos gastam em torno de 30% de suas vidas em ambientes escolares (GIULI et al., 2012). Mendell e Heath (2005) afirmam que a preocupação com a qualidade ambiental nas edificações escolares deve ser uma prática constante, uma vez que as crianças gastam mais tempo nos ambientes internos da escola do que em sua própria residência. É imprescindível que os ambientes escolares operem de forma satisfatória no conforto ambiental de seus usuários e no desempenho energético da edificação.

A eficiência energética na arquitetura pode ser entendida como um atributo inerente à edificação representante de seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos seus usuários com baixo consumo de energia (LAMBERTS et al., 2014). Assim, um edifício é considerado eficiente energeticamente quando ele possibilita condições ambientais de conforto com um baixo consumo de energia. Segundo o EIA (2016) a energia consumida no setor de edifícios é constituída por usuários residenciais e comerciais, representando 20,1% do total consumido no mundo; e o consumo total de energia elétrica do setor comercial cresce em média 1,6% ao ano, tornando-se o setor com o crescimento mais rápido de demanda de energia. A eletricidade representou cerca de 53% do consumo mundial de energia comercial em 2012, com projeção de crescimento para 62% em 2040 (EIA, 2016). Segundo Barbhuiya e Barbhuiya (2013) os edifícios escolares representam uma grande parte das edificações responsáveis pelo alto consumo de energia no uso não-industrial de um país. Esse consumo é

determinado por fatores como o clima, disponibilidade de recursos, tecnologia, equipamentos e eficiência energética dos edifícios.

Hoyt et al. (2009) demonstram que o gasto energético com os sistemas de condicionamento de ar não garante necessariamente o conforto térmico dos usuários. O conforto térmico foi considerado o parâmetro mais importante para os usuários, influenciando diretamente em sua satisfação com o ambiente interno (FRONTCZAK; WARGOCKI, 2011).

O conforto térmico pode influenciar também a saúde e a produtividade dos ocupantes (FISK, 2002; ABBASZADEH et al., 2006; WAGNER et al., 2007; WYON; WARGOCKI, 2013; HERR et al., 2016; GENG et al., 2017). A norma internacional da ASHRAE 55 (2013) conceitua conforto térmico como “a condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico”, sendo este um fator decisivo no projeto de uma edificação. A importância do estudo de conforto térmico humano baseia-se principalmente em três fatores: a satisfação do homem ou bem-estar, a performance humana e a conservação de energia (TURUNEN et al., 2014; KWONG et al., 2014; HERR et al., 2016), este último fator ligado diretamente à eficiência energética que tem sido amplamente discutida.

O ambiente interno deve ser concebido e utilizado para garantir o conforto térmico e a saúde de seus ocupantes (NEMATCHOUA et al., 2014). O conforto térmico tem um impacto direto no consumo de energia da edificação, pois qualquer sensação de desconforto dos usuários acarreta ajustes no controle interno (CORGNATI et al., 2009; CATALINA; IORDACHE, 2012). Para Parsons (2000) deve-se considerar a interação do ser humano com o ambiente ao seu redor, pois a possibilidade de controle no sistema interno tem um impacto significativo na sensação térmica e na aceitabilidade térmica dos usuários da edificação (FRONTCZAK; WARGOCKI, 2011; NICO et al., 2015).

Para avaliar termicamente o ambiente interno as normas internacionais comumente utilizadas são ISO 7730 (2005), EN 15251 (2007) e ASHRAE 55 (2013), as quais especificam critérios físicos exatos

para a produção de ambientes termicamente aceitáveis, tais como: temperatura, circulação de ar e umidade. Em muitos casos estes critérios são difíceis de serem cumpridos, principalmente em clima tropical úmido como o da cidade de Campo Grande, região do estudo. É necessário atentar ao fato de que ambientes são constituídos por pessoas que produzem calor e interagem com o ambiente. Alguns estudos observaram que as edificações modernas são mais complexas do que o previsto nas normas de conforto térmico (DE DEAR et al., 2013; LUO et al., 2014; ZHANG et al., 2015). Segundo Corrado e Astolfi (2002) as escolas são uma categoria de edifícios que com um nível elevado de qualidade ambiental pode-se melhorar consideravelmente a atenção, a concentração, a aprendizagem, a audição e o desempenho dos seus ocupantes.

1.1. JUSTIFICATIVA

O modelo estático foi desenvolvido por um pesquisador dinamarquês e é baseado em extensos experimentos realizados em câmaras climatizadas com indivíduos adultos americanos e europeus, expostos a ambientes totalmente controlados pelo pesquisador. O modelo prevê uma sensação térmica aceitável em edifícios com sistemas de climatização de ar (FANGER, 1970); porém, outros estudos mostram que edificações situadas em clima quente e sem ar-condicionado apresentam sensações térmicas aceitáveis com parâmetros diferentes dos que são estabelecidos pelo modelo estático (HUMPHREYS, 1977; BRAGER e DE DEAR, 1998).

O conforto térmico é uma sensação subjetiva e humana que sofre influência de fatores físicos (as trocas de calor com o meio), fisiológicos (resposta fisiológica do corpo ao se expor à um determinado ambiente térmico) e psicológicos (expectativas, experiências, percepção e estímulos do indivíduo) (DE DEAR e BRAGER, 1997).

Deve-se atentar ao fato de que um ambiente escolar composto por crianças e adolescentes pode apresentar parâmetros de aceitabilidade e conforto térmico diferentes de ambientes utilizados por adultos. Em um

estudo realizado com crianças, observou-se que elas preferem temperaturas menores à prevista no PMV (TER MORS et al. 2011). A tendência de preferir determinados ambientes térmicos foi argumentada por McIntyre (1980) em seus estudos. O autor descobriu que pessoas de climas quentes preferem ambientes ligeiramente frios e, ao contrário, as pessoas de climas frios preferem ambientes mais quentes. Wong e Khoo (2003) confirmam essa afirmativa em seus estudos envolvendo crianças e adolescentes. Os autores concluíram que as diferenças nas neutralidades térmicas provavelmente foram devido à adaptação dos alunos e tolerância as temperaturas mais elevadas em climas mais quentes.

Choi, Aziz e Loftness (2010) destacam que os modelos atuais de conforto não levam em consideração a variável sexo, por exemplo, sendo que esta pode alterar significativamente a sensação de conforto térmico. Karjalainen (2012) destaca que pesquisas anteriores consideraram as diferenças entre os sexos pequenas e insignificantes, porém, em seu artigo de revisão de literatura, o autor encontrou um número crescente de pesquisas que apontaram diferenças significativas no conforto térmico entre os sexos.

Ambientes termicamente confortáveis contribuem para um bom desempenho e aprendizagem dos seus ocupantes. Muitos dos estudos realizados em edificações educacionais concluem que a preferência térmica não está dentro da zona de conforto fornecida pelas normas (ZOMORODIAN et al., 2016).

Em consequência destes fatos, evidencia-se a importância do estudo de conforto térmico em salas de aula e se exprime a problemática central desta pesquisa: Ambientes considerados termicamente confortáveis pelas normas são confortáveis para crianças e adolescentes?

O foco desta dissertação é examinar o conforto térmico em salas de aula localizadas na cidade de Campo Grande (MS), que operam com sistemas de ventilação natural, de modo misto e com condicionamento de ar, através de estudos de campo durante as estações de primavera e verão. Faz-se necessário verificar se salas de aulas localizadas em clima tropical úmido se enquadrariam às normas de conforto térmico utilizadas

mundialmente, contribuindo para melhor compreensão da utilização desses espaços e melhor desempenho no processo de planejamento e aperfeiçoamento de tais ambientes.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Geral

O objetivo principal deste trabalho é avaliar a percepção de conforto e a preferência térmica dos alunos de salas de aula com sistemas de ventilação natural, de modo misto e com condicionamento de ar para o contexto climático da cidade de Campo Grande / MS.

1.2.2. Específicos

- Investigar as condições ambientais internas das salas de aula;
- Analisar o conforto e a preferência térmica dos alunos com relação aos sistemas de ventilação das salas de aula;
- Analisar a sensação, o estado, a preferência e a velocidade do ar para os usuários da edificação;
- Analisar a influência do modo de climatização nas respostas subjetivas de ambos os sexos;
- Avaliar se os modelos de conforto térmico existentes são aplicáveis em salas de aula com crianças e adolescentes;
- Contribuir para a formação de um banco de dados nacional focado nos aspectos relativos ao conforto térmico e preferência térmica.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente dissertação se inicia com um capítulo introdutório descrevendo a importância do conforto térmico em ambientes internos, principalmente em salas de aula, aliado às questões de eficiência energética. Em sequência é apresentada a justificativa da escolha do tema

abordado no trabalho. Dando continuidade, são apresentados os objetivos propostos pela pesquisa e a estrutura do trabalho.

No segundo capítulo é apresentada uma revisão de literatura internacional e nacional sobre o tema, apontando alguns estudos inerentes ao conforto térmico humano, normatização existente, índices para avaliação de conforto térmico e estudos de campo em edificações escolares.

No terceiro capítulo são especificadas as salas de aula onde os levantamentos de dados ocorreram, os instrumentos e procedimentos metodológicos adotados; são apresentados também os procedimentos estatísticos utilizados para a análise e tratamento dos dados obtidos.

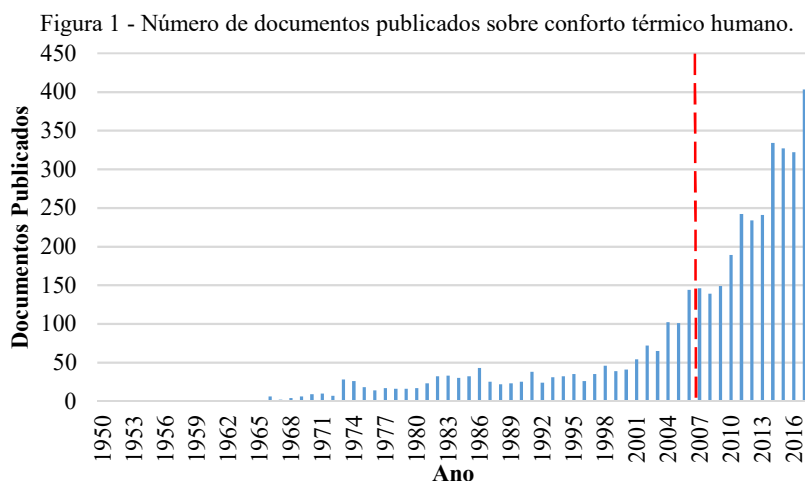
No quarto capítulo são apresentados os resultados da pesquisa de campo e discussão, divididos em: dados antropométricos, variáveis ambientais e questões subjetivas. Nos resultados são feitas correlações entre os dados quantitativos com os sistemas de ventilação e aplicação dos métodos de avaliação de conforto das normas ISO 7730 (2005), EN 15251 (2007) e ASHRAE 55 (2013).

No quinto e último capítulo desta dissertação são apresentadas as conclusões finais obtidas nesta pesquisa, as limitações encontradas ao longo do trabalho e sugestões de trabalhos futuros.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. CONFORTO TÉRMICO HUMANO

Estudos sobre conforto térmico humano têm-se desenvolvido há décadas, com um aumento considerável nas publicações nos últimos anos (2007-2017). Na Figura 1 são apresentados os números de documento publicados resultantes da pesquisa de literatura realizada em 25/01/2018 com o termo - *human thermal comfort* (conforto térmico humano) - na base de dados Scopus.



Fonte: Dados obtidos no Scopus e adaptado pelo autor (2018).

O conforto térmico foi considerado um dos atributos mais importantes em uma edificação, além de garantir estabilidade e segurança para os seus usuários (NICOL et al., 2012). Bedford (1936) foi um dos primeiros autores a desenvolver pesquisas de conforto térmico com o ser humano. Seu estudo foi realizado em indústrias utilizando uma escala de sete pontos para obter a avaliação subjetiva de calor dos usuários. Desde então, ao longo dos anos foram surgindo diversos conceitos sobre conforto térmico, estudos com avaliação subjetiva e modelos para avaliação do ambiente térmico.

Para o pesquisador dinamarquês Fanger (1970), o conforto térmico é a situação em que uma pessoa não prefere sentir nem mais calor e nem mais frio no ambiente em que se encontra. Tanabe (1988) descreve o conforto térmico como sendo o estado de espírito que expressa satisfação com a temperatura do corpo como um todo em relação ao ambiente que o usuário está inserido.

A importância do estudo de conforto térmico humano baseia-se principalmente em três fatores: a satisfação do homem ou bem-estar, a performance humana e a conservação de energia (TURUNEN et al., 2014; KWONG et al., 2014; HERR et al., 2016). Neste contexto, é natural que existam diferentes modelos e equações sendo desenvolvidos ao redor do mundo. Alguns dos principais modelos e suas aplicações são abordados nos itens seguintes.

2.1.1. Modelos estático e adaptativo

Estudos de conforto térmico são desenvolvidos de acordo com o tipo de ambiente pesquisado: interno, semiexterno ou externo. Quando discorreremos sobre o tema conforto térmico em edificações escolares, existem duas abordagens distintas que se destacam: o modelo estático e o adaptativo. O modelo estático foi desenvolvido por Fanger (1970) através de experimentos feitos em câmaras climatizadas; este modelo prevê a sensação térmica e a insatisfação dos usuários com o ambiente térmico através dos índices PMV (Voto Médio Predito) e PPD (Percentual de Pessoas Insatisfeitas) em edifícios com sistemas de climatização. Porém, alguns estudos questionaram a precisão do modelo estático em salas de aula de edificações reais, sem o controle das condições climáticas ambientais (KWOK, 1998; KWOK e CHUN, 2003; WONG e KHOO, 2003; ZEILER e BOXEM, 2009; TER MORS et al., 2011; CONCEIÇÃO et al., 2012). O índice PMV é calculado através das seguintes variáveis: atividade desempenhada (W/m^2), índice de vestimenta (clo), temperatura do ar ($^{\circ}C$), temperatura radiante média ($^{\circ}C$), velocidade do ar (m/s) e umidade relativa do ar (%). As duas primeiras são variáveis subjetivas e as demais são variáveis ambientais. Para as medições das variáveis

ambientais faz-se necessário a utilização de equipamentos específicos definidos pela norma ISO 7726 (1998). Para a obtenção das variáveis subjetivas são utilizados questionários.

Estudos relacionados ao modelo adaptativo demonstram que edificações situadas em clima quente e sem ar-condicionado apresentam sensações térmicas aceitáveis com parâmetros diferentes dos que são estabelecidos pelo modelo desenvolvido por Fanger (NICOL; HUMPHREYS, 1973; BRAGER; DE DEAR, 1998). Sendo assim, a temperatura de conforto pode variar de acordo com a estação e temperaturas as quais os usuários estão expostos, adaptando-se ao meio térmico local (NICOL e HUMPHREYS, 1973). Fanger e Toftum (2002) reconheceram as limitações do índice PMV para climas quentes e propuseram dois fatores de correção: o fator de expectativa e o fator de atividade exercida.

O modelo estático foi a base para as normas ISO 7730 (2005) e ASHRAE 55 (2013); posteriormente, o modelo adaptativo foi incluído na ASHRAE 55 em 2004 e na norma europeia EN 15251 em 2007.

Conforto térmico é definido pela ASHRAE 55 (2013) como “condição de espírito que manifesta a sua satisfação com o ambiente térmico”, sendo analisado através de avaliação subjetiva. Segundo De Dear e Brager (1997), a avaliação do conforto térmico não depende apenas de parâmetros físicos. O corpo humano interage com o ambiente e suas respostas estão diretamente relacionadas a fatores que segundo o modelo adaptativo se correlacionam: fisiológicos (adaptação e aclimação), comportamentais (pessoal, tecnológico e cultural) e psicológicos (experiência passada e expectativa). De Dear (2009; 2011) defende os fatores fisiológicos e comportamentais do modelo adaptativo. Pessoas podem estar em neutralidade térmica, mas não significa que estejam totalmente confortáveis termicamente (DE DEAR, 2011). Para obtenção dessas correlações são utilizadas regressões lineares para mostrar a conexão entre os dados objetivos e subjetivos (HUMPHREYS e ROAF, 2015).

2.1.2. Modelos fisiológicos

Estudos sobre os modelos fisiológicos têm demonstrado um grande progresso nas pesquisas, entre eles, artigos de revisões de literatura resumindo e sintetizando os estudos e modelos existentes. O artigo de revisão bibliográfica sobre conforto térmico desenvolvido por Djongyang et al. (2010) apresenta as diferentes abordagens de conforto térmico, uma visão geral do sistema termorregulador do corpo humano, bem como a modelagem matemática do calor trocado entre o corpo humano e seu ambiente. Em outro artigo de revisão bibliográfica, Schlader et al. (2010) discorrem sobre o comportamento de regulação térmica humana, destacando a importância da temperatura da pele como a entrada para a manutenção do equilíbrio térmico e regulação da temperatura durante o repouso e exercício físico.

Os primeiros modelos numéricos de termorregulação e conforto térmico humano surgiram com as pesquisas de Wissler (1964); com o tempo, outros modelos foram surgindo e servindo de parâmetro para estudos nessa área, como: Stolwijk e Hardy (1966); Gagge et al. (1967; 1986); Stolwijk (1971); Smith (1991); Fiala et al. (1999); Tanabe et al. (2000); Huizenga et al. (2001) e Zhang et al. (2010a; 2010b; 2010c).

Para De Dear et al. (2013), os modelos modernos denominados ‘*multinode*’ (multi-nós) baseiam-se em uma solução numérica do equilíbrio térmico de nós individuais (tecido da pele, tecido muscular, tecido adiposo e osso) e cada um possui suas próprias propriedades físicas. Para alcançar uma alta porcentagem de satisfação térmica dos ocupantes na edificação com baixo consumo de energia para aquecimento e resfriamento, deve-se considerar o comportamento fisiológico do usuário.

Para Katić et al. (2016), as diferenças individuais na fisiologia humana (idade, sexo e composição corporal) influenciam o estado térmico do corpo e consequentemente suas respostas fisiológicas, criando possíveis diferenças no conforto e na preferência térmica dos ocupantes. Pessoas de diferentes zonas climáticas e etnias podem experimentar

conforto térmico e sensação de maneira diferente, ainda que estejam sob as mesmas condições ambientais. A inclusão de diferenças fisiológicas e psicológicas pode proporcionar uma avaliação de conforto térmico mais precisa (KATIĆ et al., 2016).

2.1.3. Conforto térmico e consumo de energia

Um dos maiores desafios ambientais que a humanidade vem enfrentando nesses últimos anos é a ameaça das mudanças climáticas, derivadas do aumento da temperatura global, colocando em risco a estabilidade social e econômica, pois a disponibilidade dos recursos naturais vem se tornando escassa. A busca por novas fontes de geração de energia e estratégias de climatização ambiental que auxiliem no desenvolvimento do dia a dia vem crescendo gradativamente. E a adoção de tecnologias vem se expandindo e contribuindo para uma redução substancial do uso ineficiente da energia em muitos países. Segundo Geller (2003) um recurso importante para a melhoria do cenário energético mundial é a eficiência energética.

Segundo o Plano Nacional de Eficiência Energética (2011) do Ministério de Minas e Energia, eficiência energética refere-se às ações de diversas naturezas que culminam na redução da energia necessária para atender as demandas da sociedade por serviços de energia sob a forma de luz, calor/frio, acionamento, transportes e uso em diversos processos. Como todo país em desenvolvimento, o Brasil possui uma grande demanda energética. O setor industrial é o responsável pela maior parte do consumo de energia elétrica, consumindo cerca de 33% da matriz energética do país. Porém, a soma do consumo de energia elétrica dos setores comercial, residencial e de serviços é cerca de 61%, superando o setor industrial (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2015).

Até que ponto o conforto térmico interfere no consumo energético de uma edificação? Alguns poucos estudos abordam essa relação, como os artigos de revisão bibliográfica de Kwong et al. (2014) e Yang et al. (2014). Os autores constataram que o consumo energético de uma edificação está atrelado ao conforto térmico de seus usuários.

Pessoas de clima tropical são mais tolerantes às temperaturas mais altas que pessoas de clima frio (CORGNATI et al., 2007). Essa aceitação de temperaturas internas mais altas do que as previstas nas normas podem gerar uma diminuição nos sistemas de resfriamento (ARENS et al., 2010), por conseguinte, uma diminuição nos gastos energéticos. Dos modelos existentes para avaliar o conforto térmico, o modelo adaptativo tende a ter uma gama maior de temperatura de conforto, tendo um potencial significativo de economia de energia tanto em edifícios com ar-condicionado quanto com ventilação natural (YANG, et al., 2014). Para aumentar a eficiência energética de uma edificação é imprescindível que sejam incorporadas avaliações das condições de conforto térmico humano na auditoria energética do edifício (KWONG et al., 2014).

2.1.4. Conforto térmico conforme o sexo e a idade

Fanger (1970) realizou experimentos em uma câmara climatizada considerando dois grupos diferentes com vestimenta padrão (0,6 clo) expostos às mesmas condições térmicas durante um período de 3 horas: o primeiro com 128 pessoas idosas (média de 68 anos) e o segundo com 128 estudantes (média de 23 anos). De acordo com os resultados, a temperatura de conforto preferida por pessoas mais velhas e pessoas mais jovens se mostrou bastante similar, próxima de 25,7°C. Fanger ainda afirmou que a razão pela preferência às temperaturas mais altas de pessoas idosas encontradas em outros estudos está relacionada ao baixo metabolismo, concluindo que por esse motivo o PMV/PPD é um índice apropriado para todas as faixas etárias, visto que a taxa metabólica é um dos principais fatores considerados em seu cálculo. Após a publicação dos resultados de Fanger (1970), uma série de estudos desenvolvidos apontaram resultados similares aos encontrados pelo autor (FANGER e LANGKILDE, 1975; LANGKILDE, 1979; COLLINS; HOINVILLE, 1980; CENA; SPOTILA, 1984; CENA; SPOTILA, 1986). Embora Fanger não tenha encontrado diferença significativa entre as faixas etárias, alguns estudos mostram o contrário, pois a quantidade de massa de gordura subcutânea diminui com o aumento da idade, o que pode

causar uma queda na sensibilidade relacionada à temperatura e controle neural da vasoconstrição (BORKAN et al., 1983).

Em um estudo desenvolvido em grupos de pessoas idosas por Parsons (2003), foi observado que a vulnerabilidade ao frio e a propensão às temperaturas mais altas podem estar diretamente ligadas ao estilo de vida, à demora das respostas termorregulatórias e ao atraso na percepção da temperatura ambiental. As pessoas idosas possuem força muscular limitada, baixa capacidade de transpiração, baixa capacidade de transporte de calor do núcleo do corpo até a superfície da pele e baixos níveis de hidratação (HAVENITH, 2001). Kingma et al. (2010) também constataram que a zona de neutralidade térmica se altera conforme a idade. Segundo os autores, com cerca de um mês de idade a zona de neutralidade térmica varia entre 32-34°C e no começo da idade adulta essa faixa diminui para 28,5-32,0°C (segundo os autores, por volta dos 20 anos de idade). Este fato se deve principalmente ao metabolismo e à quantidade de massa magra e de gordura que aumenta conforme os anos se passam. Apesar de as normas de conforto térmico internacionais assumirem que os requisitos para a obtenção de conforto térmico são universais e aplicados a todas as faixas etárias e sexos (ISO 7730, 2005; ASHRAE 55, 2013), são encontradas diferenças nas avaliações realizadas entre diferentes faixas etárias e sexos dos usuários.

O nível de expectativa sobre o ambiente térmico sofre alterações e varia conforme a faixa etária, afetando diretamente na sensação térmica. Estudos de campo realizados na Indonésia em usuários de faixa etária de 19 a 53 anos afirmam que apesar da escassez de estudos sobre o tema, há indícios que a idade desempenha um papel importante na determinação da temperatura de conforto térmico (KARYONO, 2000).

Segundo Hwang e Chen (2010) poucos estudos são realizados com pessoas acima de 60 anos. Os autores afirmam que as mesmas possuem características fisiológicas e psicológicas únicas, logo, requisitos diferentes em relação ao ambiente interno quando comparados aos mais jovens. Em um estudo feito com crianças em idade escolar, foi observado que as temperaturas preferidas eram mais baixas que aquelas

esperadas para adultos sob as mesmas condições térmicas internas, além de se adaptarem às variações de temperatura interna em ambientes que operam com sistemas mistos de condicionamento (DE DEAR et al., 2015).

Outro fator que tem gerado diversas discussões ao longo dos anos é o sexo dos usuários, devido às diferenças antropométricas. Fanger (1970) observou que apesar da temperatura neutra de um grupo ser um parâmetro que independe da idade, sexo, peso, ciclo menstrual, hora do dia, raça e/ou localização espacial, as mulheres são mais sensíveis às flutuações de temperatura e preferem temperaturas internas superiores quando comparadas aos homens.

Humphreys (1975) revisou os resultados de experimentos de campo realizados em ambientes condicionados artificialmente e observou que os homens tendem a preferir temperaturas 0,7°C mais baixas que as mulheres. Karjalainen (2007) confirma em seu estudo a existência de diferenças significativas em relação ao conforto térmico entre os sexos; no geral, as mulheres preferem temperaturas mais altas que os homens. Choi et al. (2010) mostram as diferenças de satisfação térmica humana com base no sexo e na idade

Embora não tenha apresentado um efeito significativo sobre as temperaturas de neutralidade, observou-se que as mulheres tendem a estar mais insatisfeitas com o ambiente térmico em edifícios reais (DE DEAR; FOUNTAIN, 1994; DONNINI et al., 1997; CENA et al., 1999; CHOI et al., 2010). Karjalainen (2012) chegou à mesma conclusão realizando uma meta-análise sobre conforto térmico e sexo entre estudos de campo e de câmara climática. Em um estudo de campo com 20 adultos (10 homens e 10 mulheres) expostos às mesmas condições ambientais, os autores verificaram diferenças significativas entre os votos de sensação térmica reais e o índice do PMV; as mulheres se mostraram mais insatisfeitas e desconfortáveis com o ambiente térmico (SCHELLEN et al., 2012).

De Vecchi et al. (2012) relatam em seus experimentos realizados com alunos de graduação em salas de aula com ventiladores de teto e ar-condicionado, que as mulheres apresentaram maior sensibilidade ao frio

e menor satisfação térmica com as salas condicionadas artificialmente que os homens; este resultado foi confirmado por Kim et al. (2013) em seu estudo de campo. Estudos sobre as diferenças entre os sexos estão crescendo gradativamente e é imprescindível uma revisão de todas as práticas e requisitos de conforto térmico existentes (VAN HOOFF, 2015).

2.1.5. Conforto térmico e produtividade

Alguns estudos provaram que a qualidade ambiental interna exerce um efeito significativo na satisfação, saúde e produtividade dos ocupantes (FISK, 2002; ABBASZADEH et al., 2006; WAGNER, et al., 2007; WYON e WARGOCKI, 2013). Quanto maior o número de queixas com a qualidade ambiental interna (principalmente relacionado ao conforto térmico) maior a perda no desempenho estudantil do aluno (LEE et al., 2012). Para Turunen et al. (2014), a má qualidade ambiental interna nas salas de aula pode ser um risco para a saúde dos alunos.

Quando analisado o fator que mais influencia a produtividade e bem-estar dos alunos em escolas finlandesas, os autores descobriram que o ruído no ambiente foi o fator que mais se destacou quando comparado ao ambiente térmico, sendo ruído com 11% e temperatura alta e baixa com 3% (TURUNEN et al., 2014). Porém, outros estudos demonstram o contrário, como o realizado em salas de aula situadas em clima quente e úmido por Katafygiotou e Serghides (2014). Os autores relatam que os alunos com sensação térmica desconfortável apresentaram o pior desempenho de aprendizagem. Horr et al. (2016) destacam em seu estudo de revisão de literatura que o conforto térmico é um dos fatores que mais afetam a qualidade ambiental interna e a produtividade dos ocupantes. De Dear et al. (2013) relatam a importância de estudos de conforto térmico ligados à produtividade, citando em seu estudo de revisão alguns casos desenvolvidos ao longo dos anos.

Quando analisada a produtividade em escritórios finlandeses na estação de verão, notou-se que a eficiência do trabalho diminuiu quando a temperatura estava acima 25°C (KEKÄLÄINEN et al., 2010). Assim como no estudo desenvolvido por Tanabe et al. (2009) no Japão, os

autores observaram que um aumento na temperatura do ar de 25 °C para 26°C resultou num decréscimo no desempenho de 1,9%. Outro estudo que confirma a perda no desempenho devido a temperatura elevada foi o realizado em escritórios, no qual os autores concluíram que quando as pessoas se sentiam quentes o seu desempenho reduzia gradativamente (LAN e al., 2011).

Issa et al. (2011) compararam o desempenho dos alunos entre escolas verdes (construções consideradas sustentáveis e eficientes energeticamente) e escolas convencionais em Toronto, concluindo que os alunos de edifícios verdes apresentaram maior produtividade do que os de edifícios convencionais; além disso, o conforto térmico e outros atributos da qualidade ambiental interna foram considerados melhores nas escolas verdes. Ressalta-se que edifícios com baixo consumo de energia podem fornecer ambientes confortáveis termicamente para seus usuários e suscitar um desempenho melhor dos mesmos.

Geralmente, os estudos sobre conforto térmico para verificar a performance dos alunos são desenvolvidos em paralelo com o de outros fatores, acarretando em análises da qualidade ambiental interna (*Indoor Environment Quality*). No estudo realizado por Dorizas et al. (2015), os autores tratam uma abordagem holística para a avaliação da qualidade ambiental interna de salas de aula ventiladas naturalmente na Grécia. Concluíram que a grande maioria dos estudantes estão satisfeitos com a qualidade do ar interno de suas salas e que, apesar de preferirem ambientes mais frios eles aceitaram os ambientes mais quentes. Os fatores que mais se destacaram como sendo cruciais no desempenho de aprendizagem dos alunos foram as taxas de ventilação e de dióxido de carbono encontradas nas salas de aulas.

Geng et al. (2017) constataram, em seu estudo desenvolvido em escritórios na China, que a produtividade ótima era encontrada quando os usuários estavam com sensação térmica de “neutro” ou “levemente com frio”; sendo assim, é válido afirmar que a satisfação térmica tem efeito positivo na produtividade. Neste contexto, torna-se evidente a relação entre o conforto térmico e a produtividade. Comumente, a pesquisa na

área usa métodos diferentes para estimar a produtividade, dificultando qualquer comparação entre os estudos. A normalização dos métodos para estimar a produtividade resultaria em uma melhor compreensão sobre o assunto.

2.2. ESTUDOS DE CAMPO EM EDIFICAÇÕES ESCOLARES

Ao longo dos últimos anos a publicação de artigos de revisão tratando de diversos assuntos sobre conforto térmico tem crescido gradativamente. Brager e De Dear (1998) discutiram sobre adaptação térmica e concluíram que existem diferenças entre respostas de conforto térmico em edifícios com ar-condicionado versus ventilação natural: os ocupantes de edifícios com ventilação natural eram mais tolerantes às mudanças de temperatura do que os ocupantes de edifícios com ar-condicionado.

Van Hoof (2008) abordou estudos que utilizaram o modelo de Fanger, após quarenta anos de surgimento do mesmo. Um panorama geral da abordagem adaptativa foi realizado por Nicol e Humphreys (2009); Halawa e Van Hoof (2012) revisaram estudos sobre a abordagem adaptativa e olharam criticamente para a fundação e os pressupostos do modelo adaptativo. O progresso dos estudos de conforto térmico ao longo de vinte anos foi abordado nas pesquisas de Djongyang et al. (2010) e De Dear et al. (2013).

Uma série de estudos de conforto térmico e sua inferência no consumo de energia foi analisado por Yang et al. (2014). Os autores concluem que modelos adaptativos tendem a ter um intervalo maior de temperatura de conforto. Uma das revisões mais completas encontradas sobre conforto térmico foi a realizada por Rupp et al. (2015). Os autores revisaram artigos publicados entre 2005-2015, observando diversas áreas e sub-áreas de pesquisas relacionadas ao conforto térmico humano, entre elas estudos realizados em edificações escolares.

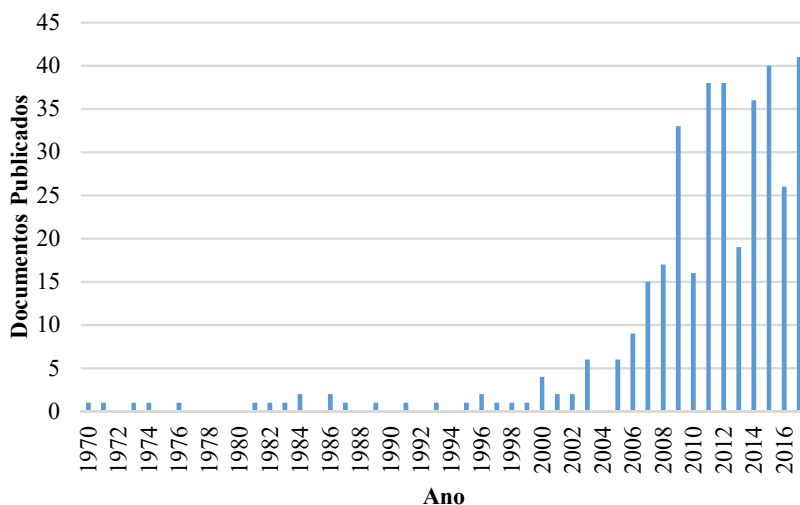
Zomorodian et al. (2016) também revisaram estudos em edifícios escolares; os autores concluíram que as preferências térmicas dos alunos não estavam dentro da faixa de conforto prevista nas normas, frisando a

grande disparidade das neutralidades térmicas em estudos realizados nas mesmas zonas climáticas. São necessários estudos de conforto térmico a nível microclimático. Estudos de conforto em crianças são necessários para averiguar se as condições de conforto para adultos se aplicam a essa faixa etária (FANGER, 1973).

2.2.1.Fase educacional

Na Figura 2 são apresentados os resultados da pesquisa de literatura realizada em 25/01/2018 com o termo - *thermal comfort in school buildings* (conforto térmico em edificações escolares) - na base de dados Scopus. Conforme as revisões de literatura de Rupp et al. (2015) e Zomorodian et al. (2016), que tratam em seus trabalhos sobre o tema principal desta dissertação “conforto térmico em edificações escolares”, foi desenvolvida a Tabela 1, separando os estudos por fase educacional e estudos desenvolvidos no Brasil.

Figura 2 - Número de documentos publicados sobre conforto térmico em edificações escolares.



Fonte: Dados obtidos no Scopus e adaptado pelo autor (2018).

Tabela 1 - Artigos sobre conforto térmico em edificações escolares.

Artigos	Anos abordados na pesquisa	Fase educacional			Brasil
		Jardim de Infância	Escolas (Primário e Secundário)	Universitária	
Rupp et al. (2015)	2005-2015	3	19	18	3
Zomorodian et al. (2016)	1969-2015		48		2

Fonte: Autor (2017).

Nota-se que dos estudos realizados no Brasil, somente três artigos foram citados no estudo de Rupp et al. (2015) e dois no estudo de Zomorodian et al. (2016); caracterizando que a grande maioria dos documentos publicados sobre o tema é realizada fora do país. Segundo Zomorodian et al. (2016), cerca de 65% dos estudos são realizados em climas temperados/mesotérmicos, seguidos de climas tropicais/megatérmicos com uma parcela de 20% dos estudos, em terceiro lugar com 11% dos estudos realizados são localizados em clima seco (semiárido e árido) e apenas 4% em climas continentais/microtérmico, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger. Apesar do crescimento nos estudos de campo sobre conforto térmico, ainda são escassos os estudos de campo em edifícios educacionais no Brasil.

2.2.1.1. *Jardim de Infância*

Estudos de campo em jardim de infância começaram a surgir apenas em 2012, devido à escassez de metodologia para lidar com crianças que ainda não desenvolveram totalmente a leitura e escrita. Conceição et al. (2012) propuseram um modelo adaptativo para avaliar o conforto térmico em salas de aula com ventilação natural e mecânica do jardim de infância. Os autores concluíram que as temperaturas externas podem afetar a avaliação de conforto no ambiente interno e, durante as estações de verão e inverno, os alunos se sentiram com menos calor e frio que o previsto pelo índice PMV.

Em um estudo realizado por Fabri (2013) na Itália, os resultados mostraram que as crianças compreendem o conceito de conforto e podem

definir seu nível de conforto térmico percebido e preferido. O autor ressalta que o PMV das crianças é ligeiramente maior em relação aos adultos. No estudo realizado em salas de aula ventiladas naturalmente com faixa etária de 4 a 6 anos de idade, Yun et al. (2014) verificaram que as crianças preferiram temperaturas mais baixas que as previstas nas normas, que são baseadas em experimentos com adultos.

Em um estudo desenvolvido e testado em dois jardins de infância na Colômbia, Vásquez (2014) propôs um método para avaliar a sensação e a preferência térmica de crianças de 4 e 5 anos de idade. No decorrer do estudo de campo notou-se a importância de uma breve introdução para entender como as crianças percebem o conceito de temperatura e clima. Os resultados sugerem que as crianças sentiram um ambiente ligeiramente quente e que preferem sentir-se assim ou mais aquecidas. De acordo com os estudos analisados, há indícios que crianças com menos de 6 anos de idade não percebem o ambiente térmico como os adultos, com isso, surge a necessidade de metodologias (para avaliar como essa faixa etária percebe o ambiente térmico) e estudos de campo com crianças nos seus primeiros anos de desenvolvimento, tornando-se uma área de extrema importância a ser explorada e investigada.

2.2.1.2. *Escolas (Primário e Secundário)*

Estudos de conforto térmico com crianças iniciaram pela década de 60. Em um dos primeiros estudos registrados sobre a influência da temperatura no conforto térmico em salas de aula, Pepler e Warner (1968) desenvolveram suas pesquisas em câmaras climatizadas simulando temperaturas de 17°C a 33°C. Os autores concluíram que os alunos apresentam melhor desempenho nas salas de aula condicionadas termicamente do que naquelas sem qualquer forma de aquecimento ou resfriamento.

Pesquisas sobre conforto térmico em edificações escolares surgiram com os estudos de campo de Auliciems (1969a) durante o inverno. O autor verificou sugestões para temperaturas desejáveis em salas de aula levando em consideração que a taxa metabólica das crianças

é relativamente maior: as temperaturas recomendadas foram mais baixas do que as consideradas ideais para adultos. Em seu outro estudo Auliciems (1969b) verificou o efeito do clima externo no conforto do ambiente interno e concluiu que a dependência da temperatura exterior para o conforto dificilmente pode ser considerada apenas sazonal e a necessidade de ambientes mais ou menos aquecidos pode estar relacionada com as temperaturas externas.

Posteriormente, Peppler (1972) realizou seus estudos de campo em salas de aula ventiladas naturalmente e com ar-condicionado em clima temperado, com base no modelo estacionário desenvolvido por Fanger em 1970. O autor encontrou uma zona de conforto para cada tipo de sala, sendo de 21,5°C a 25,0°C nas salas com ventilação natural e 22,0°C a 23,0°C nas salas com ar-condicionado. Auliciems (1973) buscou encontrar a temperatura ótima para a faixa etária de 11 a 16 anos de idade em seu estudo realizado em salas de aula com ventilação natural em clima temperado. Para a estação de inverno, a temperatura ótima encontrada foi de 16,5°C e para a estação de verão foi de 19,1°C (AULICIEMS, 1969a; AULICIEMS, 1973).

Nota-se que apesar dos estudos de Auliciems e Peppler estarem no mesmo contexto climático, a temperatura ótima do estudo de Auliciems não se encontra no intervalo de zona de conforto estipulado por Peppler; revelando a importância de estudos a nível microclimático, pois as características ambientais do entorno de uma edificação podem afetar as características internas e, por conseguinte, as sensações de seus usuários.

Em seu outro estudo, Auliciems (1975) investigou salas de aula com ventilação natural na Austrália durante o inverno, com base no modelo estático. O autor coletou 3481 dados de amostra para descobrir a temperatura ótima, encontrando temperaturas diferentes conforme os níveis de aprendizado (primário - 24,2°C; secundário - 24,5°C).

O estudo de fatores que corroborem para o conforto dos seus usuários é uma área de extrema importância. Entre as variáveis que influenciam o conforto térmico humano, encontramos o índice de

isolamento da vestimenta. Em um estudo de campo sobre comportamento do vestuário em crianças do ensino médio, o autor observou que a proporção de crianças despojadas para o conjunto de roupas mínimas permitido estava significativamente correlacionada com a temperatura ambiente (HUMPHREYS, 1973). Segundo Havenith (2007), os valores de isolamento da vestimenta utilizados por adultos podem ser utilizados para crianças, mas são necessários valores específicos para taxa metabólica das mesmas, pois estas são menores que os adultos.

Observa-se que em cada contexto climático são encontradas temperaturas diferentes, sendo necessário e imprescindível um modelo adaptativo para cada tipo de clima. Com isso, Humphreys em 1977 desenvolveu um modelo adaptativo com base em seus estudos de campo em salas de aula na estação de verão no Reino Unido, encontrando uma zona de conforto para os ocupantes daquelas salas de 24,0°C – 26,0°C (HUMPHREYS, 1977). No contexto climático da cidade de Hong Kong, um estudo desenvolvido com pessoas jovens em ambientes condicionados artificialmente utilizou o modelo estacionário como parâmetro de análise de conforto térmico. Os autores encontraram a temperatura ótima de 24,9°C (CHUNG e TONG, 1990). Kwok (1999) desenvolveu seus estudos em salas com ventilação natural e com ar-condicionado no Havaí nas estações de inverno e verão, em um clima caracterizado como tropical. Os alunos da pesquisa possuíam entre 13 a 19 anos de idade e a temperatura neutra para as salas com ventilação natural foi de 26,8°C e para as salas com ar-condicionado foi de 27,4°C; temperatura considerada elevada para um ambiente condicionado artificialmente.

Em um estudo de campo realizado em Cingapura, a temperatura considerada ótima pelos alunos das salas de aulas investigadas foi superior aos estudos desenvolvidos até então: 28,8°C (WONG; KHOO, 2003). Para Xavier (2000) as disparidades encontradas nos estudos de campo com as normas vigentes mostram a vantagem de usar índices e parâmetros obtidos a partir de coleta de dados no local, caracterizados e individualizados para cada tipo de atividade e região climática.

As condições climáticas internas dos estudos de campo realizados em salas de aula ventiladas naturalmente em Tóquio e Yokohama não se enquadraram nos limites de conforto exigidos pela norma da ASHRAE 55-92 (KWOK e CHUN, 2003). Quando aplicado o modelo adaptativo em escolas ventiladas naturalmente em Taiwan, Hwang et al. (2009) verificaram que a zona de conforto térmico para 90% de aceitabilidade tem um intervalo menor que o estipulado pela norma da ASHRAE 55. Assim como em outros estudos de campo que não se enquadraram à norma da ASHRAE 55.

Entre eles, os realizados em escolas ventiladas por ventiladores, em clima quente e úmido. Os autores Hussein e Rahman (2009) observaram que pessoas dessas regiões têm uma tolerância maior ao calor e uma capacidade maior de adaptação a ambientes com temperaturas mais altas, pois o voto de sensação real excedeu ao especificado pela norma da ASHRAE 55; porém, 80% dos entrevistados aceitaram termicamente o ambiente. Mumovic et al. (2009) analisaram salas com ventilação mecânica e perceberam que apesar do ruído e da corrente de ar presentes nas coletas de dados, o nível de conforto térmico era aceitável por seus usuários. Existem diversas variáveis que podem prejudicar a percepção térmica sobre o ambiente, contudo, um dos fatores que mais influenciam a aceitação dos usuários em seu ambiente de uso é o conforto térmico.

Quando analisadas salas de aula de escolas e universidade na Itália, com base na abordagem adaptativa, Corgnati et al. (2007) observaram que os alunos preferiram salas de aula mais quentes e concluíram que o ambiente térmico considerado como “neutro” são ambientes aceitos pelos usuários. Em um estudo realizado em Turim (noroeste da Itália), os autores observaram que durante a troca das estações, os alunos de salas com ventilação livre apresentaram uma mudança gradual na preferência térmica (CORGNATI et al., 2009). Ter Mors et al. (2011) observaram que em salas não condicionadas localizadas na Holanda, alunos entre 9 e 11 anos de idade preferiram temperaturas menores que as coletadas e a sensação térmica foi subestimada tanto no modelo PMV quanto no modelo adaptativo.

Teli et al. (2012) desenvolveram alguns estudos de conforto térmico com crianças ao longo dos anos de 2012 a 2014. Aplicando o modelo adaptativo proposto pela norma europeia EN 15251, em salas de aula com ventilação natural ocupadas por crianças de 7 a 11 anos de idade, os autores observaram que quando comparados com os dados obtidos pelos questionários a temperatura de conforto do índice PMV era 4,0°C inferior e a temperatura de conforto do modelo adaptativo era 2,0°C inferior, concluindo que as crianças são mais sensíveis às altas temperaturas. Em outro estudo, os autores Teli et al. (2013) indicam os ajustes necessários no critério de conforto para avaliação da percepção térmica das crianças em vários climas, pois as normas atuais de conforto térmico subestimam a sensação térmica de crianças durante o verão (TELI et al., 2014).

Em um estudo realizado em salas de aula com ventilação natural em clima mediterrânico, os estudantes portugueses preferiram ambientes ligeiramente mais quentes, com uma faixa de temperatura aceitável além da zona de conforto (PEREIRA et al., 2014). Em um estudo desenvolvido em salas de aula australianas, os autores De Dear et al. (2015) verificaram que a temperatura preferida pelos alunos foi de 22,5°C; geralmente mais frio que o preferido por adultos. Alguns estudos constataam que em climas mais frios, crianças aceitam temperaturas internas inferiores que o preferido por adultos, e em climas mais quentes aceitam temperaturas internas superiores.

Em Tóquio, Kurabuchi et al. (2011) analisaram as diferenças comportamentais no controle interno e na sensação térmica de crianças antes e depois da instalação de sistemas de resfriamento em uma escola. Os autores propuseram diretrizes para o uso de equipamentos com base nas sensações térmicas das crianças colaborando com a economia no consumo energético das salas. Quando estudantes na Suécia foram submetidos a variações da velocidade do ar, notou-se que os mesmos perceberam essas variações e solicitaram um pouco mais de vento (WIGÖ, 2013). Quando analisado o comportamento adaptativo em relação ao uso de ventiladores e ar-condicionado em uma escola em

Taiwan, os resultados mostraram que o ar-condicionado foi o mecanismo menos utilizado pelos estudantes e a abertura das janelas acompanhado do uso dos ventiladores foi o mecanismo mais utilizado (CHEN et al., 2014).

Entretanto, estar sentado próximo às aberturas pode provocar desconforto térmico aos usuários da edificação, como o verificado pelos autores López et al. (2015) em salas localizadas no Paraguai. Os alunos sentados perto da parede externa declararam com mais frequência estarem em desconforto térmico por experimentarem uma variação climática maior do que aqueles sentados mais distantes.

Em climas tropicais úmidos, a velocidade do ar desempenha um papel importante no conforto, promovendo trocas de calor entre usuários e o meio ambiente. Em um estudo de campo realizado em salas de aula ventiladas de modo misto (natural e mecânico), os autores observaram que a associação entre dois sistemas de ventilação, como o natural e o mecânico (ventiladores de teto), pode auxiliar no conforto térmico e na redução do gasto energético em regiões com altas temperaturas internas (DE FREITAS et al., 2018)

2.2.1.3. *Universidades*

Estudos com universitários têm surgido ao longo dos anos. Seguindo uma linha cronológica dos estudos, um dos primeiros estudos surgiu a partir das pesquisas de Fanger (1970). Parte dos usuários eram universitários que se dispuseram voluntariamente para a análise de conforto térmico e as variáveis climáticas foram monitoradas pelo pesquisador dentro de câmaras climatizadas. Deste estudo surgiu o método estático utilizado principalmente em ambientes climatizados, mas abrangendo diversos tipos de ambientes em pesquisas pelo mundo.

Durante um ano, Ishii (2002) realizou seu estudo em salas de aula universitárias localizadas em clima temperado no Japão. O autor encontrou a temperatura neutra de 25,6°C, concluindo que apesar de ser uma temperatura elevada, está dentro do limite aceitável pela norma da ASHRAE 55 que seria de 23,0°C a 26,0°C. Quando investigadas salas de

aula universitárias ventiladas naturalmente e com ar-condicionado em Taiwan, os autores notaram que a umidade relativa não influenciou significativamente a avaliação sobre a sensação térmica dos alunos (HWANG et al., 2006).

Diversos estudos em salas de aula universitárias foram desenvolvidos na China (ZHANG et al., 2007; ZHANG et al., 2010; YAO et al., 2010 e ZHANG et al., 2013). Como exemplo, Zhang et al. (2007) analisaram o conforto térmico de estudantes em salas de aula com ventilação natural e mecânica na China. Os autores verificaram que a maioria dos estudantes estavam satisfeitos com o ambiente térmico e que a sensação térmica real era muito diferente da calculada com o modelo do PMV. Zhang et al. (2010d) verificaram durante um ano o comportamento adaptativo de estudantes em edifícios com ventilação livre em uma zona quente e úmida da China. Os autores encontraram uma estreita correspondência entre as variáveis físicas do ambiente interno e as roupas, com as condições climáticas externas ao ambiente, além de verificar que os estudantes do estudo foram mais tolerantes ao calor e umidade e menos tolerantes a ambientes frios.

Wang et al. (2014) demonstram a influência das condições externas no ambiente interno em seu estudo realizado durante o inverno em Harbin (China). Os autores concluíram que as temperaturas neutras eram diferentes no inverno e na primavera (sendo maior na primavera do que no inverno).

No estudo realizado por Yao et al. (2010), desenvolvido durante um ano em salas universitárias na China, a faixa de conforto térmico encontrada pelos autores foi maior do que a recomendada pelo método da ASHRAE 55, exceto nos meses mais quentes e mais frios, onde a faixa tornou-se mais estreita. Quando analisados edifícios com ar-condicionado situados na China, Zhang et al. (2013) concluíram que apesar dos ocupantes destes edifícios usarem meios de adaptação para obter o conforto térmico, eles são mais sensíveis que os usuários de ambientes naturalmente ventilados.

Karyono (2008) avaliou a aplicabilidade do modelo adaptativo em duas cidades da Indonésia, mostrando que as temperaturas de conforto térmico do usuário estavam alinhadas com as temperaturas médias externas, como o previsto pelo modelo adaptativo. Em outro estudo desenvolvido em clima temperado oceânico na Coréia do Sul, durante a primavera e o outono, os resultados mostraram que o intervalo de aceitabilidade térmica divergiu do recomendado pela ASHRAE 55 (JUNG et al., 2011). Os resultados de um estudo realizado em salas de aula universitárias em clima subtropical no Paquistão indicaram que os usuários estavam confortáveis termicamente com a temperatura de 29,8°C (temperatura operativa de 29,3°C). Quando comparados os dados com os modelos estático e adaptativo, os autores chegaram à conclusão de que o modelo adaptativo foi o que melhor atendeu o ambiente estudado, pois encontraram discrepâncias no modelo estático (MEMON et al., 2008).

No contexto climático da Europa, alguns estudos também foram desenvolvidos em salas universitárias. Buratti e Ricciardi (2009) estudaram salas de aula universitárias em três cidades da Itália, durante o outono, inverno e primavera. Os autores encontraram diferenças significativas na correlação das respostas dos questionários com o calculado pelo índice PMV. Em Portugal, De Carvalho et al. (2013) descobriram que o nível de isolamento de roupa teve relação mais significativa com a temperatura média externa do dia anterior ao coletado. Em um edifício universitário em Chipre, Serghides et al. (2014) identificaram o uso inadequado de sistemas de resfriamento e de aquecimento, com altas variações entre o ambiente interno e o externo (temperaturas muito baixas no verão e temperaturas muito elevadas no inverno).

Existem estudos que comprovam que as temperaturas externas interferem nas condições internas de conforto térmico, como o estudo realizado por Mishra e Ramgopal (2014a). Os autores encontraram nas repostas dos questionários uma forte correlação entre as condições internas de conforto térmico com a temperatura exterior.

Em um estudo realizado nos laboratórios de uma universidade na Índia, observou-se a aceitação do ambiente térmico interno e a adaptabilidade por parte dos alunos a altos níveis de umidade relativa do ar (MISHRA; RAMGOPAL, 2014b). Em salas universitárias ventiladas naturalmente na Índia, Mishra e Ramgopal (2015) verificaram que a temperatura tida como confortável foi de 29°C, muito acima do previsto pelas normas de conforto, entretanto, para os usuários das salas de aula da pesquisa de campo foi considerada uma temperatura confortável para o contexto climático dos mesmos.

No Brasil, são poucos os estudos voltados para verificar o conforto térmico em salas de aula universitárias. Entre eles, os estudos desenvolvidos na cidade de Maceió por Cândido et al. (2010a) e Cândido et al. (2010b). Os autores verificaram a importância da história térmica dos ocupantes e sua preferência para maior circulação do ar. As pessoas que estão em condições climáticas estáticas como as encontradas em salas com ar-condicionado são menos tolerantes e menos capazes de se adaptarem às condições dos espaços ventilados naturalmente (CÂNDIDO et al., 2010a). Para De Vecchi et al. (2012) quanto mais uma pessoa é exposta ao condicionamento artificial, maior é o seu desejo de permanecer nestes espaços, e menor a sua tolerância às temperaturas mais altas.

Em um estudo realizado em salas de aula universitárias situadas em clima quente e úmido na cidade de Maceió, os autores constataram que a velocidade mínima do ar requerida pelos usuários, para atingir a aceitabilidade de 80% e 90% dos mesmos, era de pelo menos 0,4 m/s para 26°C e 0,9 m/s para temperaturas operacionais de até 30°C (CÂNDIDO et al., 2010b). Em salas universitárias no nordeste brasileiro, Cândido et al. (2011) observaram que a aceitabilidade térmica de quase 90% dos usuários estava dentro do previsto pela norma de conforto adaptativo ASHRAE 55, porém, os ocupantes exigiam "maior velocidade do ar interno". Para o contexto climático da cidade de Florianópolis, De Vecchi (2011) realizou experimentos de campo em salas de aula onde se avaliou o efeito da velocidade do ar provocada por ventiladores de teto, com e

sem a operação do condicionamento artificial. A autora observou que a temperatura média de acionamento do ar-condicionado em salas de aula que funcionavam com ventiladores de teto ligados durante todo o período de ocupação foi de aproximadamente 25°C. De Vecchi et al. (2013) notaram boas condições de conforto e aceitabilidade térmica em salas de aula que operavam com os ventiladores de teto e ar-condicionado em conjunto, afirmando que valores de velocidade do ar acima de 0,90 m/s eram bem aceitos enquanto a temperatura operativa da sala oscilava entre 25°C e 28°C.

No contexto climático da cidade de Campo Grande, nenhum estudo de conforto térmico foi desenvolvido em salas de aula, apenas em espaços de escritórios como o estudo desenvolvido por Andreasi et al. (2010), em espaços abertos como o realizado por Lucchese et al. (2016), em praças de alimentação como o desenvolvido por Viegas e Andreasi (2017) e em uma biblioteca como o realizado por Mikuri et al. (2018); todos realizados com usuários adultos. Esta constatação salienta a importância de estudos de campo em diferentes contextos climáticos e faixa etária para a obtenção de ambientes internos confortáveis não apenas para adultos, mas também para crianças e adolescentes.

2.3. NORMAS DE CONFORTO TÉRMICO

Com o aumento do número dos estudos sobre conforto térmico, as normas existentes nesta área englobam todas as variáveis que influenciam no conforto térmico, quer sejam em ambientes condicionados ou não. As principais normas de conforto, como a ISO 7730 (2005), EN 15251 (2007) e ASHRAE 55 (2013), determinam valores de temperaturas operacionais e equações de conforto térmico com base nos modelos estático e adaptativo (ver Tabela 2).

Tabela 2 - Normas de conforto térmico.

Normas	Abordagem de Conforto térmico	Temperatura Operativa (°C)
ISO 7730 (2005)	Estático $-0,5 < PMV < +0,5$ PPD < 10%	Inverno (20 – 24) Verão (23 – 26)
EN 15251 (2007)	Adaptativo	Classe I (24,7 – 28,7) Classe II (23,7 – 29,7) Classe III (22,7 – 30,7)
ASHRAE 55 (2013)	Adaptativo	PPD < 10% (24,3 – 29,3) PPD < 20% (23,3 – 30,3)

Fonte: Dados disponíveis nas normas e adaptado pelo autor (2017).

A *International Organization for Standardization* (ISO) foi criada em 1947 com o objetivo de facilitar a concepção e a consolidação de normas técnicas em nível mundial, envolvendo mais de 130 países membros. A norma ISO 7730 (2005) aplica-se à avaliação de ambientes térmicos moderados e foi desenvolvida, principalmente, com base nos estudos de Fanger (1970). O objetivo da ISO 7730 é apresentar um método de cálculo de sensação térmica e nível de pessoas desconfortáveis expostas a um ambiente térmico, além de especificar condições de aceitabilidade térmica de um ambiente. Para isso a norma descreve como estimar o cálculo do índice PMV (Voto Médio Predito) quando são conhecidos os dados das variáveis ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade relativa do ar) e das variáveis subjetivas (atividade desempenhada e vestimenta), descrevendo também como calcular o índice PPD (Percentual de Pessoas Insatisfeitas). Para a versão de 2005, foi adicionado um método para avaliação de longos períodos internos, assim como informações sobre desconforto térmico localizado e condições em estado adaptativo.

A norma europeia EN 15251 (2007) baseia-se nos resultados de um estudo da União Europeia, conhecido por *Smart Controls and Thermal Comfort* (SCATs), focado na redução do consumo energético proveniente dos sistemas de condicionamento de ar ajustando a temperatura de *setpoint* de acordo com as condições climáticas externas e com o algoritmo adaptativo (NICOL; HUMPHREYS, 2010).

Além das normas ISO 7730 e EN 15251, as normas desenvolvidas pela *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) também estão entre as principais utilizadas nesta área, como a norma americana ASHRAE 55 (2013), que trata das condições térmicas ambientais para a ocupação humana (Thermal environmental conditions for human occupancy). Nas primeiras versões destas normas, o modelo do PMV/PPD era o único considerado para a avaliação de conforto térmico em ambientes com condições uniformes de temperatura. Entretanto, com as atualizações nos métodos de avaliação, o modelo PMV/PPD continuou a ser efetivo para avaliar o conforto térmico em ambientes condicionados; e as normas passaram a incorporar também o método proveniente do modelo adaptativo, destinado às edificações ventiladas naturalmente.

Dentre as três normas citadas, a ISO 7730 permanece até hoje com uma versão superficial do conceito de adaptação, enquanto a ASHRAE 55 e a EN 15251 adotaram versões do modelo que se baseiam em resultados de extensos estudos de campo. A norma americana ASHRAE 55 (2013) baseou-se nos resultados do relatório de pesquisa ASHRAE RP-884, que analisou um conjunto de dados (mais de 20 mil entradas) de variáveis microclimáticas medidas simultaneamente às respostas subjetivas de sensação, preferência e aceitabilidade térmica dos ocupantes (DE DEAR et al., 1997).

Ainda existem questões a serem discutidas, entre elas a ausência de um modelo específico para a avaliação de edificações que operam com modo híbrido (mais de um sistema) de condicionamento. O método adaptativo utilizado pela ASHRAE 55 se restringe a ambientes ventilados naturalmente, com aberturas controladas pelos usuários e sem nenhum tipo de condicionamento artificial instalado. Segundo De Dear e Brager (2002), os dados levantados em edificações climatizadas com sistemas de modo misto ainda são insuficientes para se propor um novo método. Atualmente, nenhuma norma internacional deixa claro ao usuário qual modelo utilizar em ambientes que operam de forma mista (mais de um sistema atuando simultaneamente).

No Brasil não existem normas específicas para a avaliação de conforto térmico. O que existem são normas que envolvem alguns parâmetros de conforto térmico para espaços internos, entre elas:

- NR 15 (1978) – Atividade e Operações Insalubres. Revisada em 2014, a norma regulamentadora NR 15 avalia através do Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo (IBUTG) os limites de tolerância de exposição ao calor;
- NR 17 (1978) – Ergonomia. Revisada em 2007, a norma regulamentadora NR 17 apresenta as condições de conforto térmico em espaços internos a partir da definição de limites de temperatura efetiva e de velocidade do ar (temperatura efetiva entre 20-23°C, velocidade do ar $\leq 0,75\text{m/s}$ e umidade relativa $> 40\%$);
- NBR 16401 (2008) – Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários Parte 2: Parâmetros de conforto térmico. A segunda parte da norma brasileira NBR 16401 contém informações mais específicas de conforto térmico que as duas anteriormente citadas.

Outras normas internacionais que abrangem a avaliação do conforto térmico são:

- ISO 7243 (1989) - Hot environments - Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature): referente à estimativa de estresse por calor baseado no índice IBUTG (Índice de bulbo úmido e temperatura de globo);
- ISO 10551 (1995) - Ergonomics of the thermal environment - Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales: referente ao método de avaliação de parâmetros subjetivos através de escalas;
- ISO 7726 (1998) - Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities: referente aos instrumentos de medição;

- ISO 8996 (2004) - Ergonomics of the thermal environment - Determination of metabolic rate: referente à estimativa da taxa metabólica;
- ISO 9920 (2007) - Ergonomics of the thermal environment - Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble: referente à estimativa de propriedades de vestuário (isolamento térmico e resistência evaporativa).

2.4. ÍNDICES DE AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO

2.4.1. PMV (Voto Médio Predito)

O PMV é um índice térmico amplamente utilizado, originalmente desenvolvido através dos dados obtidos em estudos realizados em câmaras climáticas por Fanger (1970). O autor relacionou o PMV com o desequilíbrio entre o fluxo de calor real de um corpo humano em um determinado ambiente e o fluxo de calor necessário para conforto em uma determinada atividade. O índice PMV prevê o valor médio dos votos de sensação térmica de um grande grupo de pessoas com base em seis variáveis: taxa metabólica (met), isolamento térmico da vestimenta (clo), temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), temperatura radiante média ($^{\circ}\text{C}$), velocidade do ar (m/s) e umidade relativa (%). Sendo as duas primeiras variáveis subjetivas obtidas a partir de questionários baseados na ISO 7730. As demais são obtidas através de medições de campo por meio de equipamentos específicos. Após a obtenção das seis variáveis é possível calcular o índice PMV por meio de ferramentas de cálculos.

2.4.1.1. *Temperatura Radiante Média (T_{RM})*

A temperatura radiante média representa um valor uniforme de um ambiente imaginário onde toda a troca de calor por radiação é igual a de um ambiente não uniforme. Para obtenção da T_{RM} , leva-se em consideração as equações encontradas no anexo B da ISO 7726 (1998).

No caso de termômetro de globo padronizado e em convecção forçada (ver Equação 1) e a temperatura radiante média é calculada através da Equação (2).

$$h_{cg} = 6,3 \times \frac{V_{ar}^{0,6}}{D^{0,4}} \quad (1)$$

Onde:

h_{cg} é o coeficiente de troca de calor por convecção do globo (W/m²K);

V_{ar} é a velocidade do ar (m/s);

D é o diâmetro do globo (15cm).

$$T_{RM} = [(T_G + 273)^4 + 2,5 \times 10^8 \times V_{AR}^{0,6} \times |T_G - T_{AR}|]^{1/4} - 273 \quad (2)$$

Onde:

T_G é a temperatura do globo (°C);

V_{AR} é a velocidade do ar (m/s);

T_{AR} é a temperatura do ar (°C).

2.4.1.2. Temperatura Operativa (T_{OP})

A temperatura operativa (T_{OP}) é definida pela ASHRAE 55 (2013) como a temperatura uniforme de um ambiente radiante negro hipotético, onde o usuário poderia trocar a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que no ambiente real. A temperatura operativa é calculada de forma simplificada conforme o apêndice A da norma da ASHRAE 55 (2013), em função da temperatura do ar, temperatura radiante média e dos valores de velocidade do ar (ver Equação 3).

$$T_{OP} = A \times T_{AR} + (1 - A) \times T_{RM} \quad (3)$$

Onde:

$A = 0,5$ para $V_{AR} < 0,2$ m/s;

$A = 0,6$ para V_{AR} de 0,2 a 0,6 m/s;

$A = 0,7$ para V_{AR} de 0,6 a 1,0 m/s;

T_{AR} é a temperatura do ar (°C);

T_{RM} é a temperatura radiante média (°C).

2.4.2. PPD (Percentual de Pessoas Insatisfeitas)

Para a obtenção do Percentual de Pessoas Insatisfeitas (PPD) faz-se necessário determinar primeiramente o índice PMV. Os votos de sensação térmica real dos usuários de um ambiente são expressos através de uma escala de sete pontos com base na ISO 7730, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Escala de sensação térmica de sete pontos.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Com muito Frio	Com Frio	Levemente com Frio	Neutro	Levemente com Calor	Com Calor	Com muito Calor

Fonte: Dados disponíveis na norma ISO 7730 e adaptado pelo autor (2017).

O PPD estabelece uma previsão quantitativa da porcentagem de pessoas que se sentem insatisfeitas termicamente com o ambiente. As pessoas insatisfeitas são as que votaram nos itens -3, -2, +2 e +3, proposto na escala de sensação térmica de sete pontos. Com o valor do índice PMV determinado, o PPD é calculado através da Equação (4).

$$PPD = 100 - 95 \times \exp(-0,03353 \times PMV^4 - 0,2179 \times PMV^2) \quad (4)$$

Onde:

PPD é o Percentual de Pessoas Insatisfeitas (%);

PMV é o Voto Médio Predito.

2.4.3. VST_{ANDREASI} (Voto de Sensação Térmica Andreasi)

Um método de avaliação de conforto térmico para clima quente e úmido foi desenvolvido por Andreasi (2009), através de coleta de dados realizadas em três cidades no estado de Mato Grosso do Sul (MS), entre elas a cidade de Campo Grande, objeto de estudo deste trabalho. Foram desenvolvidas equações de correção para o índice PMV da ISO 7730, pois Andreasi et al. (2010) questionam em seu estudo de campo a aplicabilidade do índice PMV em regiões de clima quente e úmido, tendo

em vista que o índice PMV baseou-se em estudos realizados em câmaras climáticas.

As equações para obtenção do voto de sensação térmica ($VST_{ANDREASI}$) método desenvolvido por Andreasi (2009) utiliza o índice PMV como variável de calibração regional para a obtenção do índice. O índice $VST_{ANDREASI}$ foi desenvolvido para aplicação em ambientes internos ventilados naturalmente (ver Equação 5) e com ar-condicionado (ver Equação 6).

$$VST_{ANDREASI} = -5,581 + 0,187 \times PMV_{ISO7730} + 0,146 \times T_{ext} + 0,034 \times UR_{ext} \\ r^2 = 0,544 \quad (5)$$

$$VST_{ANDREASI} = -15,158 + 1,533 \times PMV_{ISO7730} + 0,453 \times T_{ext} + 0,034 \times UR_{ext} \\ r^2 = 0,313 \quad (6)$$

Onde:

$PMV_{ISO7730}$ é o Voto Médio Predito;

T_{ext} é a temperatura externa do ar (°C);

UR_{ext} é a umidade relativa externa (%).

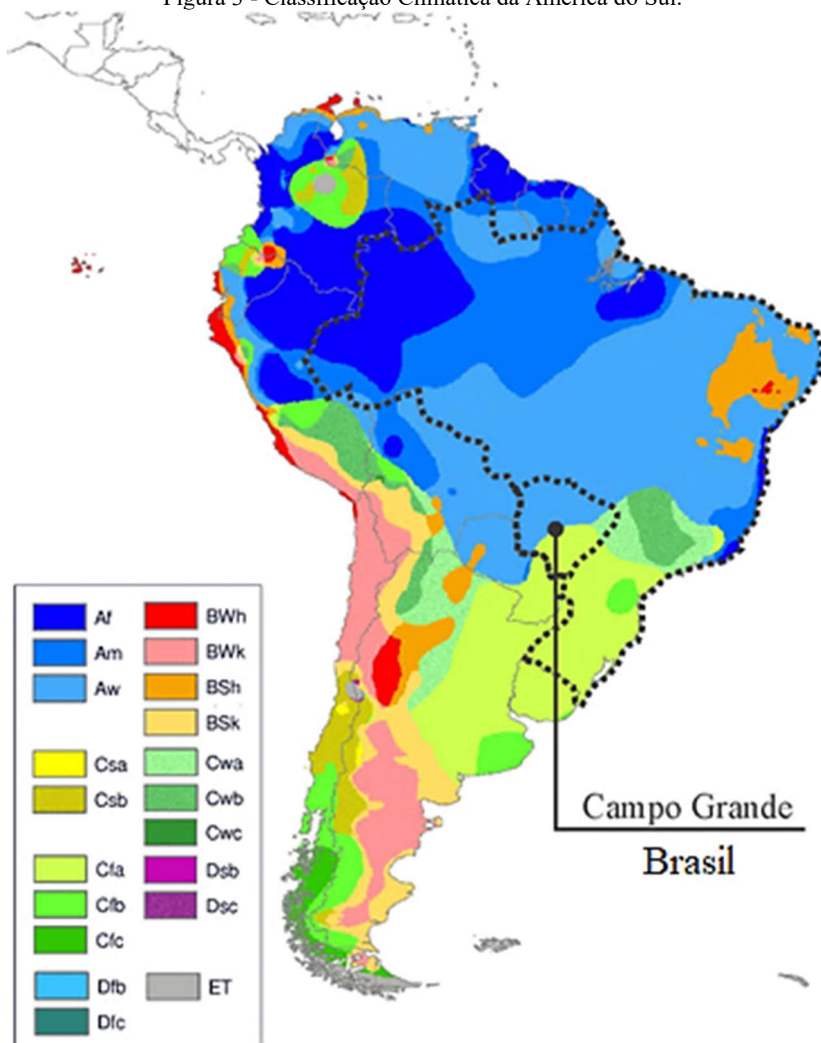
3. MATERIAIS E MÉTODO

3.1. CONTEXTO CLIMÁTICO DE CAMPO GRANDE / MS

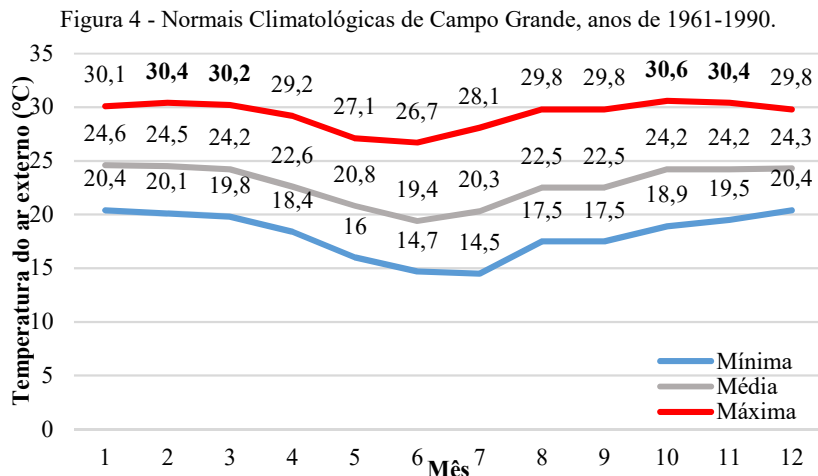
O presente trabalho foi desenvolvido através de pesquisas de campo sobre conforto térmico em nove salas de aula do ensino fundamental e médio, com alunos de faixa etária de 10-18 anos, no Colégio Militar (CMCG). A escola está localizada na cidade de Campo Grande (20°26'34" S, 54°38'45" O, de 592 a 700 m de elevação), capital do estado de Mato Grosso do Sul, situada na região Centro-Oeste do Brasil. Segundo o IBGE (2016) a cidade possui 863.982 habitantes. Segundo Peel et al. (2007), a cidade de Campo Grande encontra-se em uma zona de transição entre o subtipo (Cfa) mesotérmico úmido, com pouca ou sem estiagem, e o subtipo (Aw) caracterizado como clima tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, conforme a Figura 3. Os levantamentos de dados ocorreram nas estações de primavera (26 de outubro a 11 de novembro de 2016) e verão (02 a 16 de março de 2017).

A Figura 4 mostra as temperaturas mínimas, médias e máximas anuais das normais climatológicas de Campo Grande dos anos de 1961-1990, conforme dados fornecidos pela plataforma do INMET (2016). Os meses com as temperaturas máximas mais altas são: fevereiro (30,4°C), março (30,2°C), outubro (30,6°C) e novembro (30,4°C). Proveniente destes dados, foram escolhidos os meses com as temperaturas máximas mais altas para a análise de conforto térmico, sendo realizadas nas estações de verão (março) e primavera (outubro e novembro).

Figura 3 - Classificação Climática da América do Sul.



Fonte: Adaptado pelo autor, de Peel et al. (2007).



Fonte: Dados obtidos na plataforma do INMET e adaptado pelo autor (2017).

3.2. SALAS DE AULA INVESTIGADAS

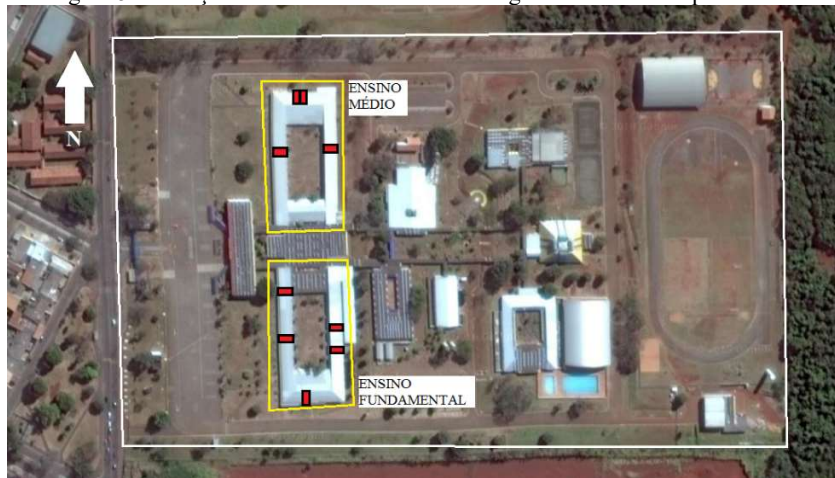
Alguns parâmetros foram estabelecidos inicialmente para a escolha das salas de aula, tais como: salas com ventiladores de teto, salas com ventilação natural, salas com aparelhos de ar-condicionado, alunos com vestimenta padrão e desempenhando a mesma atividade.

Atendidos estes requisitos, foram selecionadas nove salas de aula do Colégio Militar de Campo Grande para a coleta de campo. A Figura 5 apresenta a situação das salas de aula selecionadas no terreno do colégio, sendo estas representadas pelos retângulos em vermelho e a marcação em amarelo representando o nível educacional. Das nove salas investigadas, cinco pertenciam ao ensino fundamental (6º, 7º, 8º, 9º e uma de inglês) e quatro ao ensino médio (1º, 2º e duas do 3º ano).

Conforme a Figura 6, a setorização do colégio é composta por cinco blocos. O primeiro bloco consiste no estacionamento do complexo educacional, que está situado na entrada do colégio, seguido do prédio da administração. Os níveis educacionais são divididos em dois blocos (ensino médio e fundamental), separados apenas pelo prédio administrativo. O complexo esportivo do colégio está setorizado na parte final do terreno, com quadras poliesportivas, pista de atletismo e piscina.

Das nove salas de aula investigadas, oito salas possuíam área útil de 61m^2 e capacidade para até 35 alunos e uma sala (sala de inglês) com área útil de 36m^2 e capacidade para até 24 alunos.

Figura 5 - Situação das salas analisadas do Colégio Militar de Campo Grande.



Fonte: Dados obtidos na plataforma do Google Maps e adaptado pelo autor (2017).

Figura 6 -Setorização do Colégio Militar de Campo Grande.



Fonte: Dados obtidos na plataforma do Google Maps e adaptado pelo autor (2017).

As salas eram compostas por paredes de blocos de concreto, janelas e beirais externos, tanto para o pátio interno quanto para o pátio externo (Figuras 7 e 8), evitando qualquer incidência solar direta às salas de aula. Todas as salas possuíam janelas do tipo pivotante, que permaneceram abertas durante as coletas de dados, exceto nas salas com ar-condicionado, que permaneceram fechadas ao longo do experimento. O forro das salas era composto por vigas pré-moldadas de concreto com pintura acrílica. O telhado era composto por telhas termoacústicas, cuja estrutura é formada por duas telhas trapezoidais que formam um "sanduíche" com o núcleo de poliestireno que se expandem e aderem perfeitamente ao galvalume. Este tipo de telha auxilia na diminuição de gastos com energia, refrigeração e controle de emissões sonoras externas, além de promover ambientes com condições térmicas mais agradáveis para se trabalhar e estudar.

Figura 7 - Beirais do pátio interno das salas analisadas.



Fonte: Dados obtidos no local pelo autor (2016).

Figura 8 - Beirais do pátio externo das salas analisadas



Fonte: Dados obtidos no local pelo autor (2016).

As salas pesquisadas possuíam apenas sistemas de resfriamento ambiental, tais como ventiladores e ar-condicionado. Os ventiladores (ver Figura 9) não possuíam regulagem da velocidade do ar, apenas sistemas de exaustor, ligar e desligar. As únicas salas com condicionamento artificial (ver Figura 10) eram as do último ano do ensino médio (302 e 304) e as mesmas não possuíam outro tipo de sistema instalado.

Figura 9 - Ventiladores das salas analisadas.



Fonte: Dados obtidos no local pelo autor (2016).

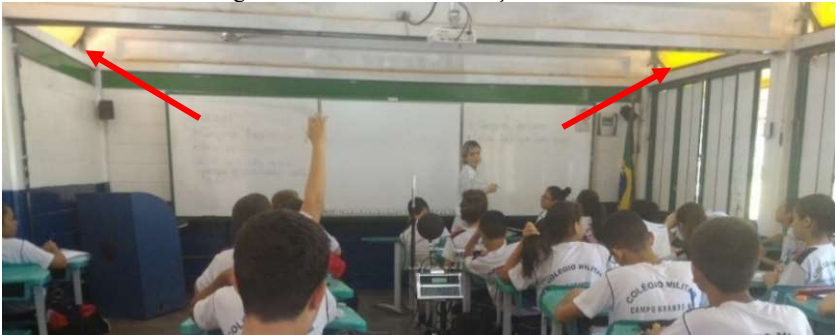
Figura 10 - Ar-condicionado das salas analisadas.



Fonte: Dados obtidos no local pelo autor (2016).

Em algumas salas os ventiladores de teto foram ligados e em outras salas desligados para analisar a ventilação natural, pois quase todas as salas possuíam ventilação cruzada (ver Figura 11), exceto as salas com sistema de ar-condicionado instalado. As atividades escolares desenvolvidas no interior das salas de aula permaneceram normais ao longo da coleta de dados, para análise do ambiente térmico real. A Tabela 4 especifica os materiais construtivos das salas de aula analisadas, área útil e tipos de sistemas de ventilação.

Figura 11 -Sistema de ventilação cruzada.



Fonte: Dados obtidos no local pelo autor (2016).

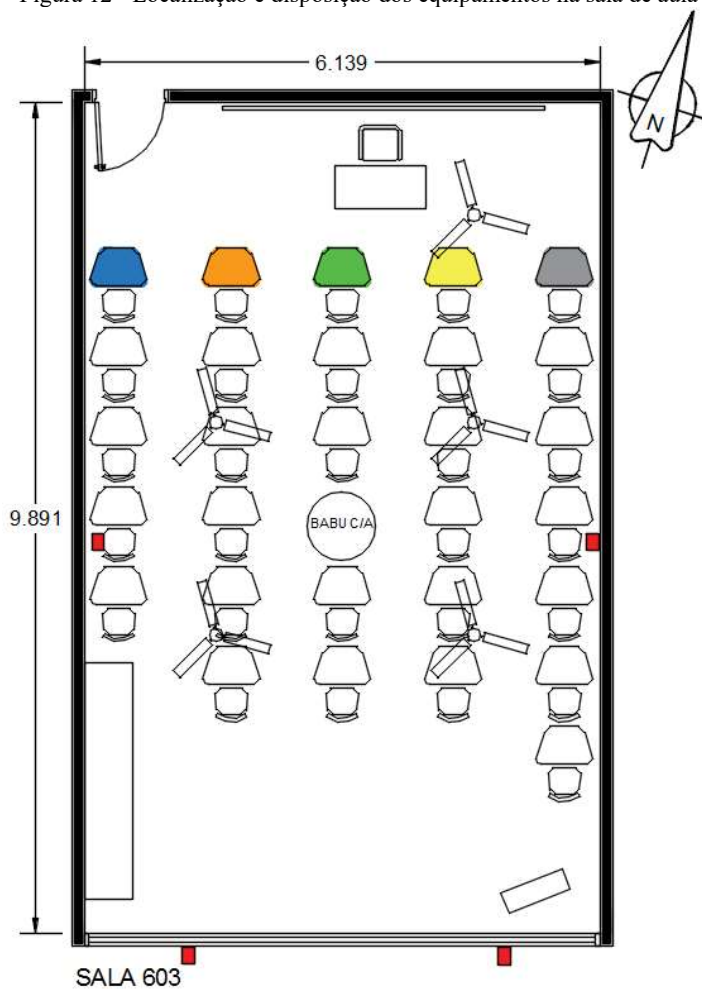
Tabela 4 - Especificações das salas de aula analisadas.

Sala	Sistema de Ventilação	CONSTRUÇÃO				
		Piso	Parede	Janelas	Forro	Teto
603	Ventilador (5 aparelhos)	Concreto desem- penado	Bloco de concreto com pintura acrílica	Tipo pivotante Estrutura de ferro e folhas de vidro com pintura acrílica	Vigas pré- moldadas de concreto com pintura acrílica	Telhas com tratamento termo- acústico
702						
802						
903						
102						
203	Ar- condicionado (1 aparelho tipo split de 30.000 Btus)					
302						
304						
3F	Ventilador (4 aparelhos)					

Fonte: Dados obtidos no local pelo autor (2016).

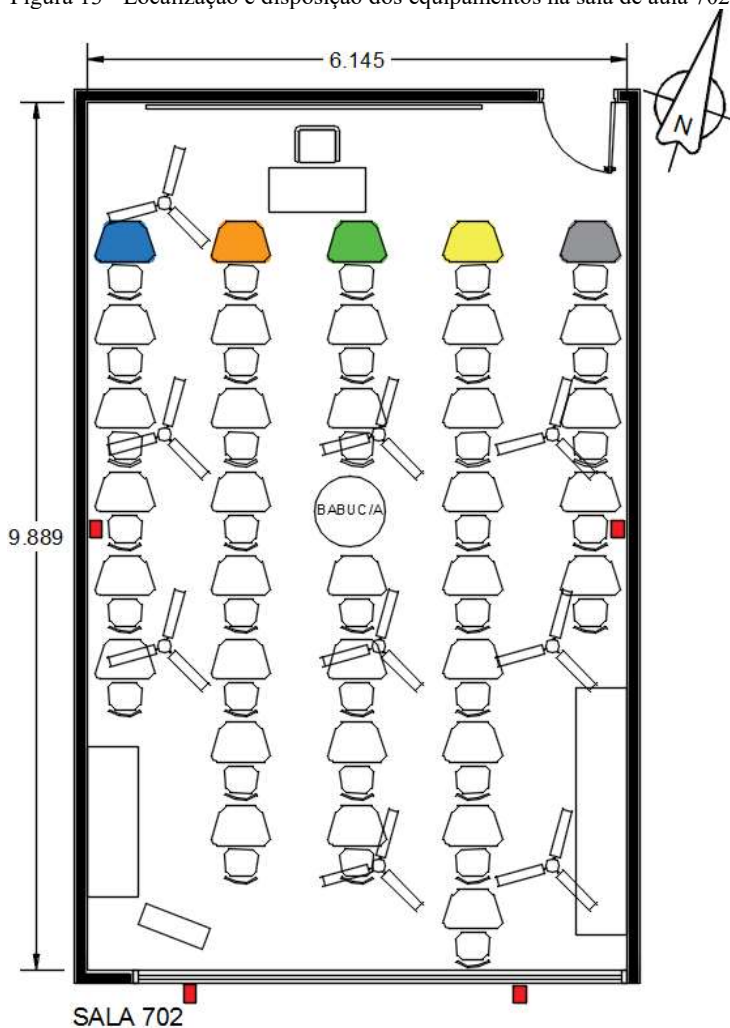
As Figuras 12 a 20 demonstram a disposição dos equipamentos de medição (BABUC/A no centro e Hobo's representados em vermelho) e a localização das salas analisadas.

Figura 12 - Localização e disposição dos equipamentos na sala de aula 603.



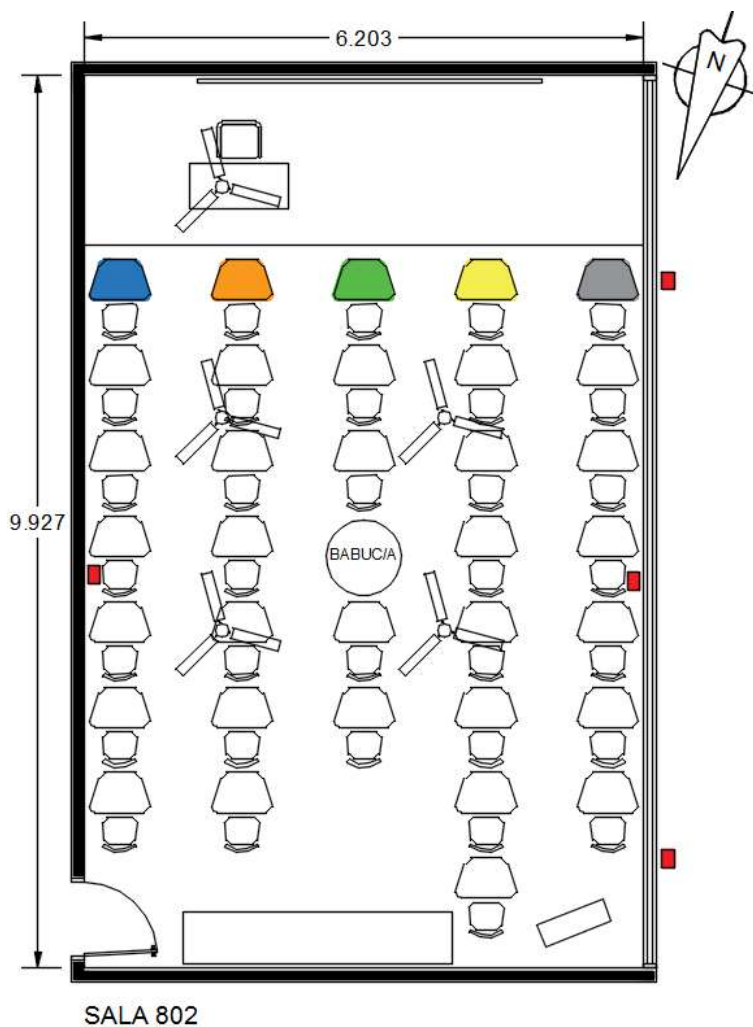
Fonte: Dados obtidos no local pelo autor (2016).

Figura 13 - Localização e disposição dos equipamentos na sala de aula 702.



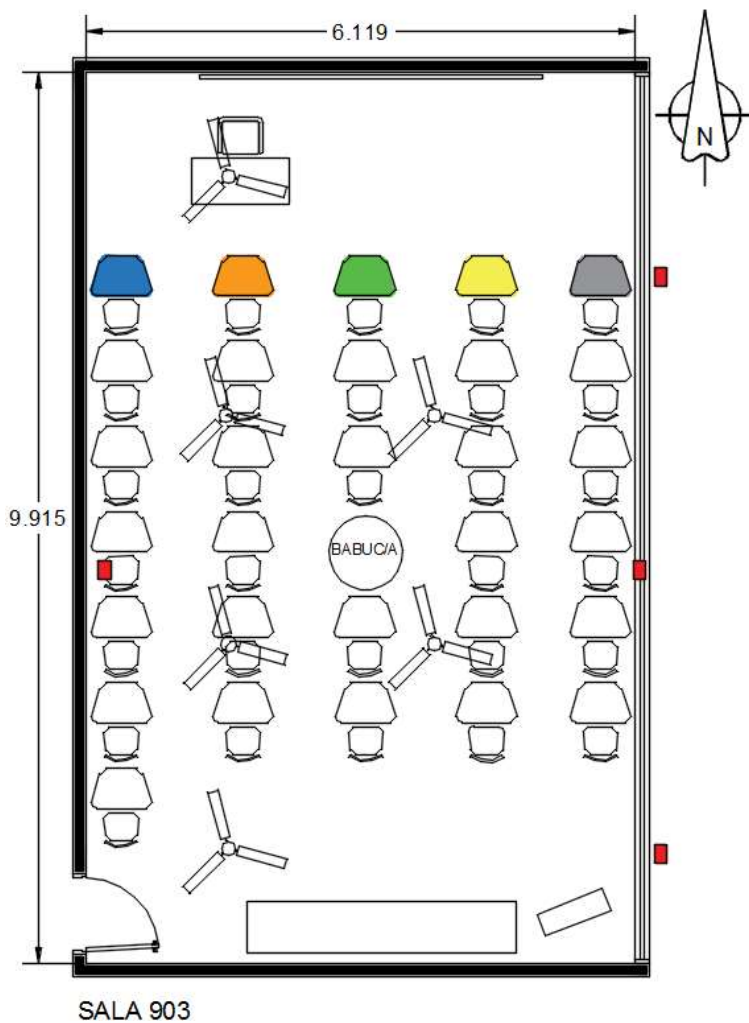
Fonte: Dados obtidos no local pelo autor (2016).

Figura 14 - Localização e disposição dos equipamentos na sala de aula 802.



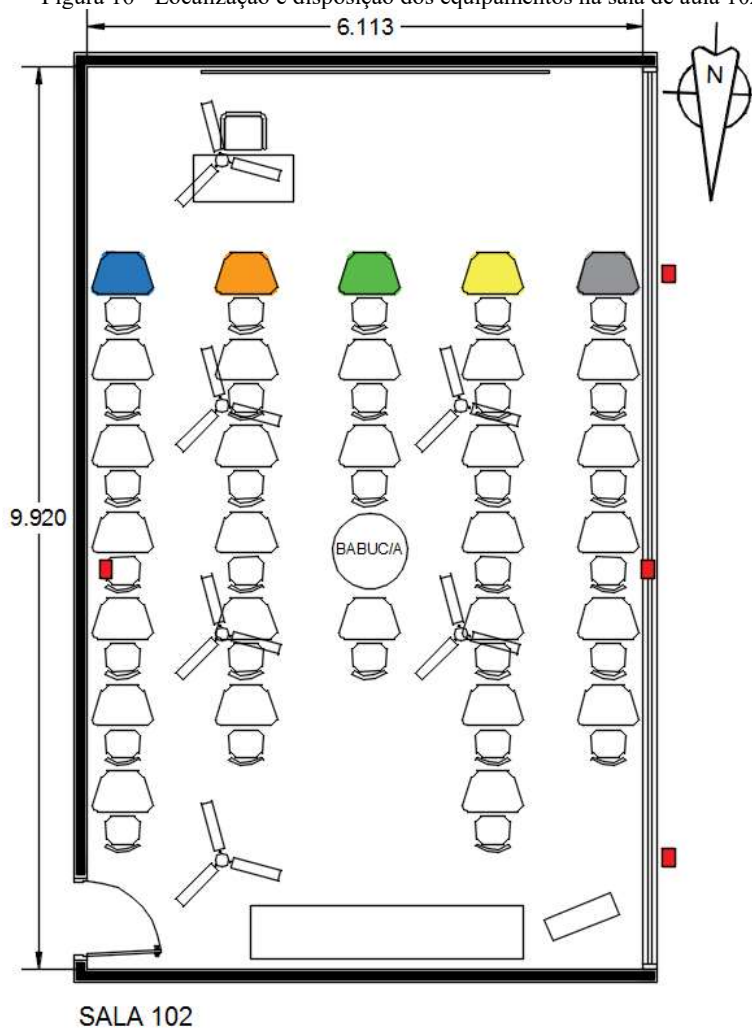
Fonte: Dados obtidos no local pelo autor (2016).

Figura 15 - Localização e disposição dos equipamentos na sala de aula 903.



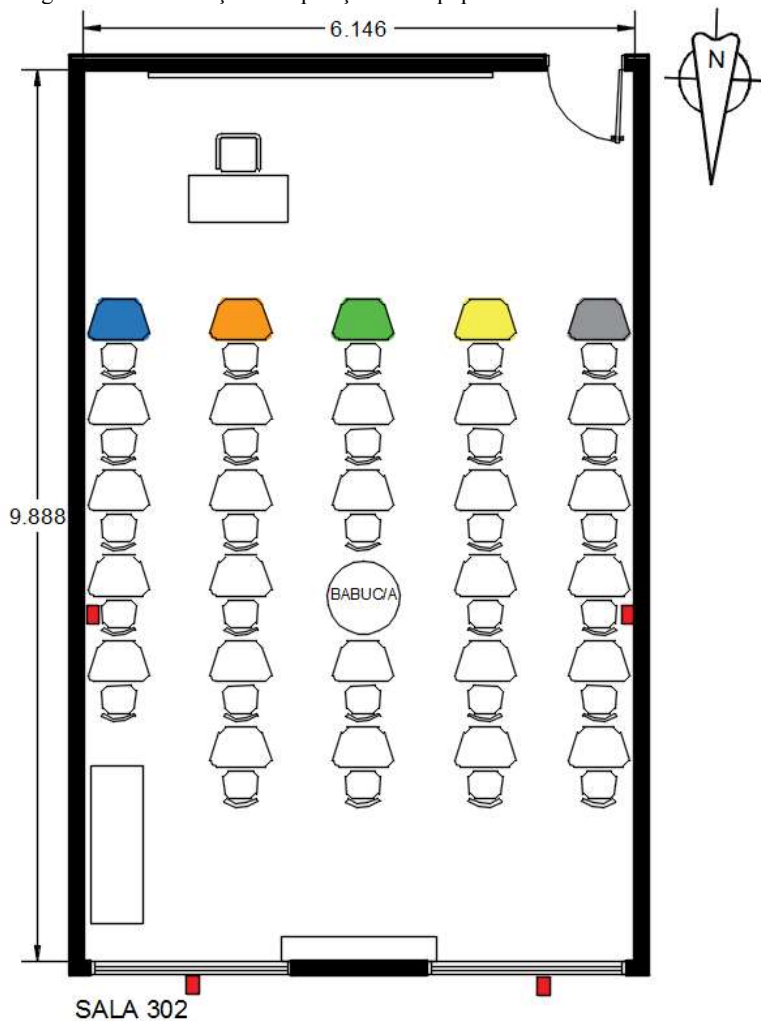
Fonte: Dados obtidos no local pelo autor (2016).

Figura 16 - Localização e disposição dos equipamentos na sala de aula 102.



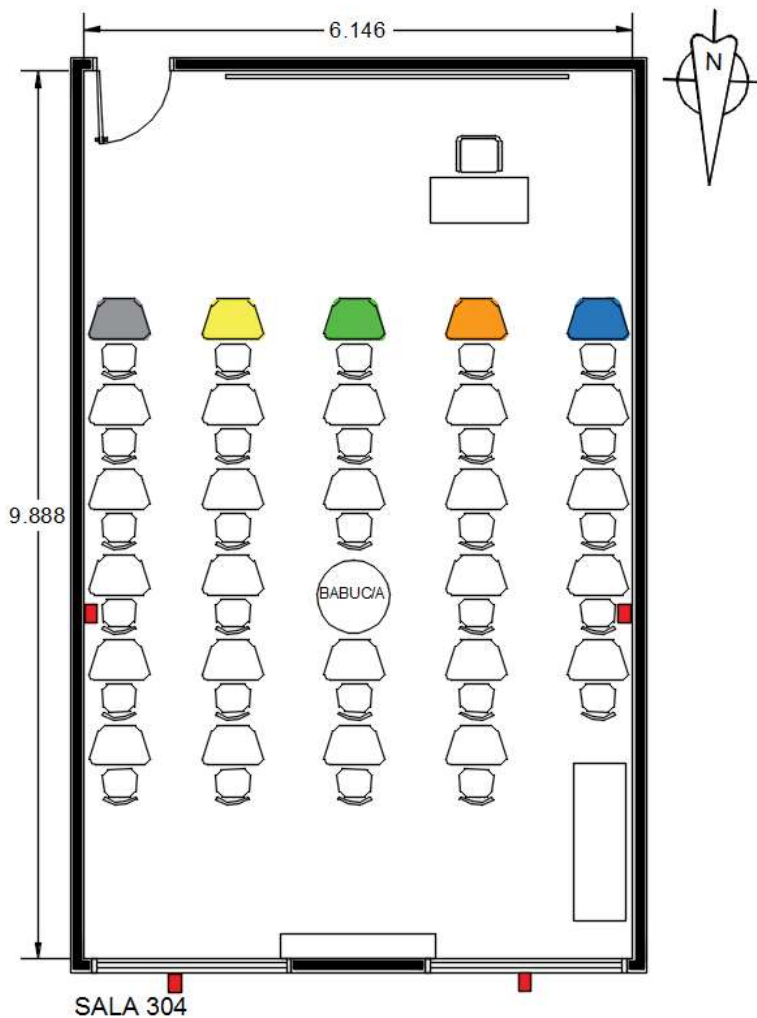
Fonte: Dados obtidos no local pelo autor (2016).

Figura 18 - Localização e disposição dos equipamentos na sala de aula 302.



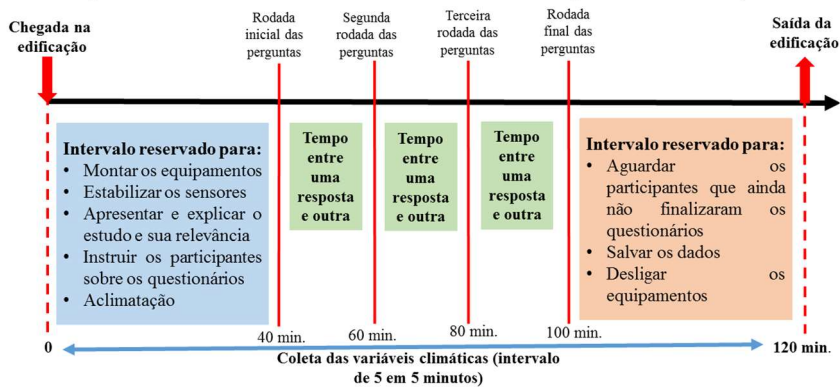
Fonte: Dados obtidos no local pelo autor (2016).

Figura 19 - Localização e disposição dos equipamentos na sala de aula 304.



Fonte: Dados obtidos no local pelo autor (2016).

Figura 21 - Monitoramento da coleta de dados, duração de cada medição.



Fonte: Autor (2016).

Para evitar transtornos nas medições, os equipamentos de monitoramento eram montados fora das salas de aula e instalados no interior após a montagem. A equipe de medição chegava à edificação às 10h da manhã nos dias de coleta e após 10 minutos os equipamentos eram instalados no interior e exterior das salas de aula (conforme demonstrado nas Figuras 12 a 20, páginas 70-78). Após 40 minutos de espera para calibração dos sensores, começava a primeira rodada de perguntas; como não havia variação no ambiente físico nem nos ajustes comportamentais a partir da segunda rodada de perguntas, os questionários eram respondidos de 20 em 20 minutos até a quarta e última rodada de perguntas. Simultaneamente às rodadas de perguntas, as variáveis ambientais eram coletadas de 5 em 5 minutos.

3.3.2.Cálculo amostral

Para a determinação do tamanho da amostra necessária para validação dos dados, utilizou-se o método de Barbetta (2006), conforme a Equação (7). Considerou-se erro amostral de 5%, que é o índice de variação dos resultados da pesquisa. O número de estudantes que compõe o quadro do CMCG é de 950 alunos, no ano de 2016.

Com nível de confiança da amostra de 95%, o valor mínimo para a validação da amostra foi de 274 votos válidos. Foram obtidos ao longo da coleta de dados 1.924 questionários válidos.

$$n = \frac{N \times (1/E^2)}{N + (1/E^2)} \quad (7)$$

Onde:

n é o tamanho da amostra;

N é o tamanho da população;

E é o erro amostral.

3.3.3. Instrumentos de medição

Para compreensão do ambiente térmico e obtenção dos índices de conforto térmico, faz-se necessário o monitoramento das variáveis ambientais, coletadas conforme os requisitos da norma ISO 7726 (1998). A Tabela 5 especifica os critérios desejáveis para os instrumentos de medição. As quatro variáveis necessárias para o cálculo dos índices térmicos são: temperatura do ar - T_{AR} (° C); temperatura radiante média - T_{RM} (° C); velocidade do ar - V_{AR} (m/s) e umidade relativa do ar - UR (%).

Tabela 5 - Critérios exigidos pela norma ISO 7726.

Variáveis ambientais	Precisão	Faixa de conforto	Tempo de resposta
Temperatura do ar (T_{ar})	Requerida: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ Desejada: $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$	10 – 40°C	Menor possível
Temperatura Radiante Média (T_{rm})	Requerida: $\pm 2^{\circ}\text{C}$ Desejada: $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$	10 – 40°C	Menor possível
Velocidade do ar (V_{ar})	Requerida: $\pm (0,05+0,05V_{AR})$ m/s Desejada: $\pm (0,02+0,07V_{AR})$ m/s	0,05 – 1,0m/s	Requerida: 0,05s Desejada: 0,02s
Umidade Relativa (UR)	$\pm 0,15\text{kPa}$ ($ T_{AR}-T_{RM} <10^{\circ}\text{C}$)	0,5 – 3,0kPa	Menor possível

Fonte: Adaptado pelo autor (2017).

Para a medição das variáveis ambientais nas salas de aula foi utilizado o confortímetro BABUC/A (ver Figura 22), produzido pelo LSI (Laboratori di Strumentazione Industriali) e cedido pelo Laboratório de Análise e Desenvolvimento de Edificações (LADE/UFMS). O BABUC/A é composto por vários sensores para obtenção, exibição, gravação e processamento de variáveis físicas. O equipamento monitorou sem interrupções as seguintes variáveis: temperatura de globo ($^{\circ}\text{C}$), temperatura de bulbo úmido natural ($^{\circ}\text{C}$) e velocidade do ar (m/s). O BABUC/A foi colocado no centro das salas de aula, sobre um tripé à 1,10m de altura durante o período de coleta de dados (ver Figura 23). Os dados climáticos obtidos através do BABUC/A no interior das salas de aula foram coletados durante o período regular de aula (a cada 5 minutos) totalizando 120min de medição; após coleta, os dados foram processados através do software InfoGAP.

Figura 22 - Confortímetro BABUC/A.



Fonte: Autor (2016).

Figura 23 - Localização do Confortímetro BABUC/A nas salas.



Fonte: Autor (2016).

Foram utilizados, também, quatro sensores datalogger Hobo RH/Temp modelo H08-003-02 (ver Figura 24) e um anemômetro de fio quente (ver Figura 25) para a medição das variáveis ambientais, ambos cedidos pelo LADE/UFMS. O datalogger Hobo RH/Temp monitorou sem interrupções as seguintes variáveis: temperatura de ar ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa (%). Dois sensores datalogger Hobo RH/Temp foram instalados internamente e dois externamente. Os dados foram coletados durante o período regular de aula (a cada 5 minutos) totalizando 120min de medição; para a programação e obtenção dos dados foi utilizado o programa BoxCar Pro 4.0. O anemômetro de fio quente monitorou a velocidade do ar (m/s) ponto a ponto entre as mesas dos alunos. Todos os equipamentos de monitoramento foram instalados à 1,10m de altura durante o período de coleta de dados. A Tabela 6 apresenta as especificações técnicas de todos os equipamentos utilizados na coleta de dados.

Figura 24 - Hobo RH/Temp modelo H08-003-02.



Fonte: Autor (2016).

Figura 25 - Anemômetro de fio quente instalado na sala de aula.



Fonte: Autor (2016).

Tabela 6 - Especificações técnicas dos equipamentos utilizados na coleta de dados.

Equipamentos / Sensores		Parâmetro monitorado	Precisão	Campo de medição	Tempo de resposta
BABUC / A	1.Termômetro de Globo BST 131	• Temperatura de globo (° C) • Cálculo da temperatura média radiante (° C) • WBGT (° C)	$\pm 0.15^{\circ}\text{C}$ à $\pm 0^{\circ}\text{C}$	-10°C à $+100^{\circ}\text{C}$	20 min.
	2.Termômetro de Bulbo Úmido Natural BSU 121	• Temperatura de bulbo úmido natural (° C) • Cálculo do WBGT (° C)	$\pm 0.15^{\circ}\text{C}$ à $\pm 0^{\circ}\text{C}$	0°C à $+60^{\circ}\text{C}$	6 min.
	3.Anemômetro BSV 101	• Velocidade do ar (m/s)	$4\% > 1\text{m/s}$	0 à 50 m/s	10 seg.
Hobo RH / Temp Modelo H08-003-02	Temperatura	• Temperatura do ar (° C)	$\pm 2\%$	-20°C à $+70^{\circ}\text{C}$	-
	Umidade Relativa	• Umidade Relativa (° C)	$\pm 3\%$	0% à 95%	-
Anemômetro de fio quente	Velocidade do ar	• Velocidade do ar (m/s)	$\pm 2\%$	0 à 20 m/s	-

Fonte: Manuais dos equipamentos, adaptado pelo autor (2017).

3.3.4. Questionário da pesquisa

O questionário de conforto térmico (ver Apêndice A) foi desenvolvido de acordo com as recomendações das normas ISO 10551 (1995), ISO 7730 (2005) e ASHRAE 55 (2013), dividido em quatro partes principais conforme a Figura 26. Os questionários foram aplicados simultaneamente à coleta de dados das variáveis ambientais durante quatro rodadas de perguntas.

Figura 26 - Questionário utilizado na pesquisa.



Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia
Laboratório de Análise e Desenvolvimento de Edificações
Mestrado Profissional em Eficiência Energética e Sustentabilidade
Conforto e Aceitabilidade Térmica com Eficiência Energética em escala de nível fundamental e médio em região de clima quente e úmido do Brasil
Orientador: Prof. Dr. Wagner Augusto Andreasi
Mestranda: Arqueta Natália Viana Seabra de Freitas



QUESTIONÁRIO DE ACEITABILIDADE TÉRMICA

Dados do ambiente estudado:		Ambiente Condicionado	
Período Manhã	Data: ____/____/____	Naturalmente	Mecanicamente
Período Tarde			Artificialmente

1) Dados pessoais:

Idade: ____ anos Altura: ____ m Peso: ____ kg Sexo: () Masculino () Feminino

2) Marque as roupas que está utilizando neste momento:


() Regata


() Camiseta


() Camisa


() Casaco/Jaqueta


() Vestido


() Bermuda


() Calça


() Saiá


() Meias


() Chapéu/Bonê


() Sapato Fechado


() Sapato Aberto


() Roupa íntima

3) Como você está se sentindo neste momento?

	1º horário	2º horário	3º horário	4º horário
Com muito calor				
Com calor				
Levemente com calor				
Neutro				
Levemente com frio				
Com frio				

4) De que maneira você está termicamente neste momento?

	1º horário	2º horário	3º horário	4º horário
Confortável				
Levemente confortável				
Levemente desconfortável				
Desconfortável				

5) Como você preferiria estar termicamente neste momento?

	1º horário	2º horário	3º horário	4º horário
Muito aquecido				
Aquecido				
Levemente aquecido				
Neutro				
Levemente resfriado				
Resfriado				
Muito resfriado				

6) Como você avalia a velocidade do ar neste momento?

	1º horário	2º horário	3º horário	4º horário
Muito alta				
Alta				
Neutro				
Baixa				
Muito baixa				

Questões subjetivas

- Estado
- Preferência
- Velocidade do ar

Fonte: Autor (2016).

A primeira parte do questionário está relacionada às informações sobre o ambiente pesquisado, tais como: período da coleta (manhã ou tarde), data e tipo de sistema de ventilação (ventilação natural, ventilação mecânica ou ar-condicionado).

A segunda parte está relacionada às informações pessoais dos alunos, tais como: idade, altura, peso e sexo (questão 1); e vestimenta dos usuários (questão 2) para a obtenção do índice de isolamento térmico da vestimenta - I_{CLO} , conforme a tabela C.2 do anexo C da ISO 7730 (2005).

A terceira parte trata da escala de sensação térmica dos usuários, desenvolvida conforme as normas ISO 10551 (1995), ISO 7730 (2005) e ASHRAE 55 (2013), sendo adaptada para o contexto da pesquisa e para a faixa etária dos alunos (ver Tabela 7).

Tabela 7 - Escala de sensação térmica utilizada.

ISO 10551 (1995) Tabela A1 / ISO 7730 (2005) Tabela 1 / ASHRAE 55 (2013)	Questionário da pesquisa
+3 (Hot)	Com Muito Calor
+2 (Warm)	Com Calor
+1 (Slightly Warm)	Levemente Com Calor
0 (Neutral)	Neutro
-1 (Cool)	Levemente Com Frio
-2 (Slightly Cool)	Com Frio
-3 (Cold)	Com Muito Frio

Fonte: Adaptado pelo autor (2016).

A quarta parte apresenta perguntas subjetivas sobre estado térmico, preferência térmica e percepção sobre a velocidade do ar (questões 4, 5 e 6). A taxa metabólica foi obtida através da tabela B.1 do anexo B da ISO 7730 (2005), onde, para atividade sedentária (como é o caso de escolas), o valor da taxa metabólica é de 70 W/m² ou 1,2 met.

3.4. ANÁLISE E TRATAMENTO DE DADOS.

Os dados das variáveis ambientais (temperatura do ar, temperatura de globo, umidade relativa e velocidade do ar) obtidos através dos equipamentos instalados, e os dados subjetivos, obtidos

através dos questionários, foram usados para calcular os índices PMV e PPD com o auxílio das ferramentas de cálculo conforme o método estático de conforto térmico: Comfort Tool e LADEsys.

A ferramenta de cálculo Comfort Tool foi desenvolvida por Hoyt et al. (2013), com base nas normas ASHRAE 55 (2013) e EN 15251 (2007), conforme as Figuras 27 e 28. Quando selecionado no canto superior direito a opção da norma da ASHRAE 55 (ver Figura 27) a ferramenta calcula o índice PMV, o PPD, a sensação térmica e a temperatura efetiva padrão (SET), sendo necessário o preenchimento dos dados coletados no local do experimento no quadro azul (temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar, umidade relativa, taxa metabólica e o índice de isolamento térmico da vestimenta). Outra opção disponível na ferramenta Comfort Tool é o cálculo de acordo com a norma EN 15251 (ver Figura 28), auxiliando no cálculo do índice PMV, PPD e categoria do ambiente. Esses itens são obtidos de acordo com o método estático, sendo necessário o preenchimento dos dados coletados no local do experimento no quadro azul (temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar, umidade relativa, taxa metabólica e o índice de isolamento térmico da vestimenta).

A ferramenta de cálculo LADEsys baseia-se na norma ISO 7730 (2005) e foi desenvolvida pelo Laboratório de Análise e Desenvolvimento da Edificação da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (ver Figura 29). O LADEsys auxilia no cálculo do índice PMV, PPD e da sensação térmica dos usuários. É necessário, assim como nas demais, o preenchimento dos dados coletados no local do experimento no quadro da esquerda (temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar, umidade relativa, taxa metabólica e o índice de isolamento térmico da vestimenta). É válido ressaltar que a ferramenta de cálculo LADEsys possui limites de aplicabilidade, os quais são especificados na parte inferior do quadro; limites relacionados à temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar, umidade relativa, vestimenta e taxa metabólica. Se as variáveis coletadas em

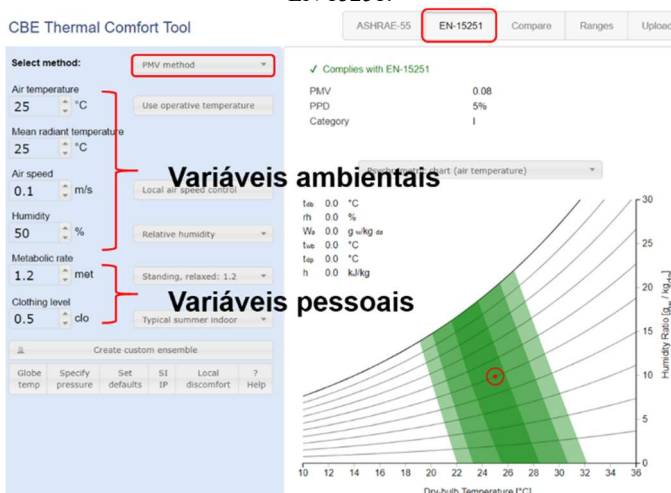
campo estiverem fora dos limites exigidos, não será possível o cálculo do índice PMV, PPD e da sensação térmica dos usuários.

Figura 27 - Ferramenta Comfort Tool para análise de conforto pelo método PMV da ASHRAE 55.



Fonte: Desenvolvido por Hoyt et al. (2013), 2016.

Figura 28 - Ferramenta Comfort Tool para análise de conforto pelo método PMV da EN 15251.



Fonte: Desenvolvido por Hoyt et al. (2013), 2016.

Figura 29 - Ferramenta LADEsys para análise de conforto pelo método PMV da ISO 7730.

UFMS - CCET - DEC - <http://www.dec.ufms.br/lade/>
Laboratório de Análise e Desenvolvimento de Edificações

Lade Eletrobrás
PROCEL EDIFICA
Cálculo do PMV e do PPD - Ladesys v1.0 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

Variáveis Ambientais:
 Temperatura do ar: °C
 Velocidade absoluta do ar: m/s ou
 Temperatura radiante média: °C ou
 Umidade Relativa: % ou

Variáveis Pessoais:
 Vestimenta: clo ou
 Taxa metabólica: met ou

CALCULAR PMV

Limites de Aplicabilidade:
 0 < Temperatura do ar < 45 °C
 0 < Temperatura radiante < 45 °C
 0 < Velocidade do ar < 2.0 m/s
 0 < Umidade relativa < 100 %
 0 < Vestimenta < 2.0 clo
 0 < Taxa metabólica < 3.3 met

Limpar tudo
Imprimir Resultados
Sair

Progresso:

Simulação do PMV

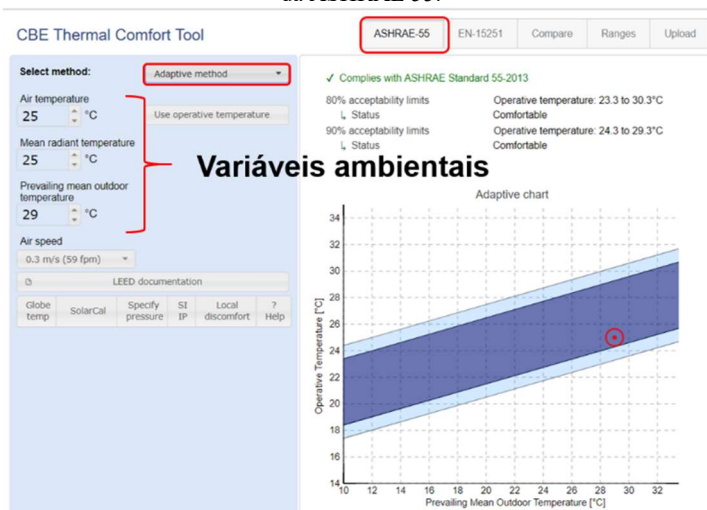
Informações:
 PMV: 0.99 PPD: 25,8 %
 Mais resultados
 Sair

MUITO CALOR
CALOR
LEVEMENTE CALOR
CONFORTÁVEL
LEVEMENTE FRIO
FRIO
MUITO FRIO

Fonte: Desenvolvido pelo LADE/UFMS, adaptado pelo autor (2016).

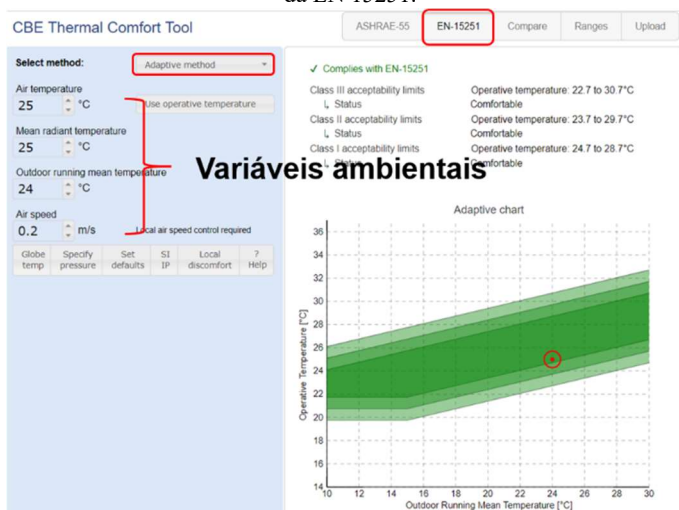
Outro método de cálculo que a ferramenta Comfort Tool considera é o método adaptativo da ASHRAE 55 (2013) e da EN 15251 (2007), conforme as Figuras 30 e 31 respectivamente. Para o método adaptativo da ASHRAE 55 (2013) são necessários os dados coletados no local da pesquisa das seguintes variáveis ambientais: temperatura do ar, temperatura radiante média e média da temperatura externa. Para o método adaptativo da EN 15251 (2007) são necessárias as mesmas variáveis ambientais exigidas pela ASHRAE 55, mais a velocidade do ar.

Figura 30 - Ferramenta Comfort Tool para análise de conforto pelo método adaptativo da ASHRAE 55.



Fonte: Desenvolvido por Hoyt et al. (2013), 2016.

Figura 31 - Ferramenta Comfort Tool para análise de conforto pelo método adaptativo da EN 15251.



Fonte: Desenvolvido por Hoyt et al. (2013), 2016.

Os dados coletados no estudo de campo foram organizados e reunidos em uma planilha eletrônica elaborada no Microsoft Office Excel, sendo divididos em 5 partes: a primeira parte contém os dados relacionados com o ambiente das salas de aula (data, tipo de ventilação e localização); a segunda parte está relacionada com dados pessoais dos alunos (idade, altura, peso, sexo, vestuário e atividade exercida na sala); a terceira parte está relacionada às questões subjetivas (questionários); a quarta parte está relacionada às variáveis ambientais (medições de campo); por último são mostrados os índices PMV, PPD e VST_{ANDREASI}.

Os dados coletados foram analisados e tratados estatisticamente através dos seguintes softwares: Microsoft Office Excel e RStudio. Foram excluídos os dados espúrios provenientes das questões subjetivas dos questionários com valores atípicos das observações, pois apresentaram grande afastamento dos demais questionários da pesquisa.

Nas variáveis ambientais e questões subjetivas foram utilizados os seguintes testes de normalidade: Shapiro-Wilk (ver Equação 8) e T-Test (ver Equação 9) (SHAPIRO; WILK, 1965; RODRIGUES, 2016). Os testes são utilizados para avaliar se uma amostra tem distribuição normal e ambos os testes foram realizados por meio do programa RStudio.

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (8)$$

Onde:

a_i são os coeficientes tabelados;

$x_{(i)}$ é o i – ésimo menor número da amostra;

x_i é a variável aleatória observada;

$\bar{x}$ é a média da amostra.

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \quad (9)$$

Onde:

$\bar{x}$ é a média da amostra;

μ é a média da população (referência);

s é o desvio padrão;

n é o número de sujeitos.

Através de análise multivariada, foram desenvolvidas correlações entre variáveis qualitativas e quantitativas tais como: sexo × sensação térmica; idade × sensação térmica; sexo × preferência térmica; idade × preferência térmica; sexo × velocidade do ar; idade × velocidade do ar. Através de regressão linear obteve-se correlação entre o voto de sensação térmica real (VST_{REAL}) e o índice PMV para encontrar quais salas estavam dentro da zona de conforto; e entre o VST_{REAL} e a temperatura operativa (T_{OP}) do ambiente para encontrar a temperatura de conforto de cada tipo de sala.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados desta dissertação basearam-se nos experimentos efetuados nos anos de 2016 e 2017, provenientes de 18 medições de campo que abrangeram as estações de primavera e verão (47,8% dos dados foram coletados na primavera e 52,2% no verão). Os dados obtidos foram tratados estatisticamente e concluiu-se que as variáveis ambientais e subjetivas são de distribuição normal. A pesquisa envolveu 481 alunos, que participaram respondendo ao questionário de conforto térmico (ver Apêndice A) quatro vezes por medição, totalizando 1.924 votos válidos.

A primeira etapa da coleta de dados foi realizada na estação de primavera (26 de outubro a 11 de novembro de 2016), onde foram obtidos 230 questionários (920 votos válidos). A segunda etapa da coleta de dados foi realizada na estação de verão (02 a 16 de março de 2017), onde foram obtidos 251 questionários (1004 votos válidos). As coletas foram realizadas no período matutino (10h às 12h). Na Tabela 8 são apresentados os dados obtidos nas salas analisadas, com suas respectivas datas, características do tipo de ventilação, nível de ensino e quantidade de votos válidos obtidos em cada estação.

Tabela 8 - Dados obtidos nas salas analisadas.

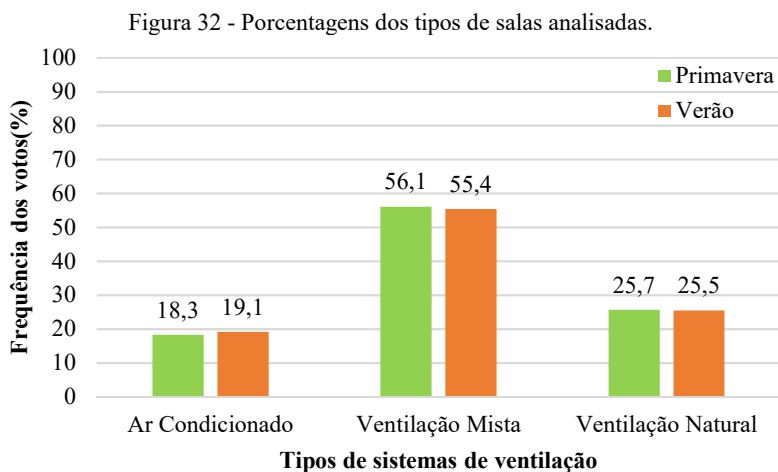
Salas	Datas		Tipo de Ventilação	Ensino	Votos válidos	
	Primavera	Verão			Primavera	Verão
603	26/10/2016	07/03/2017	Modo Misto	Fundamental	120	124
802	27/10/2016	02/03/2017	Natural	Fundamental	116	124
102	31/10/2016	03/03/2017	Modo Misto	Médio	116	140
903	01/11/2016	08/03/2017	Modo Misto	Fundamental	112	108
203	03/11/2016	09/03/2017	Natural	Médio	120	132
304	04/11/2016	10/03/2017	Ar-condicionado	Médio	64	84
3F	07/11/2016	16/03/2017	Modo Misto	Inglês	60	64
702	08/11/2016	06/03/2017	Modo Misto	Fundamental	108	120
302	11/11/2016	13/03/2017	Ar-condicionado	Médio	104	108

Fonte: Autor (2017).

Com intuito de evitar qualquer impacto nas respostas dos alunos, as salas da pesquisa operaram de forma rotineira, inclusive as salas com ventilação natural, que foram escolhidas por não haver outro tipo de sistema de resfriamento e/ou aquecimento sendo utilizado simultaneamente.

4.1.APRESENTAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS NA PESQUISA

Dos 1924 questionários coletados na pesquisa de campo, menos de 20% foram obtidos nas salas com ar-condicionado, cerca de 25% nas salas com ventilação natural e mais de 55% nas salas com ventilação de modo misto, em ambas as estações (ver Figura 32). A maior parte da pesquisa de campo ocorreu em salas com sistemas de ventilação de modo misto (ventilação natural e mecânica, simultaneamente), por ser o sistema comumente utilizado na edificação escolar, exceto nas salas de aula do último ano do ensino médio que possuíam ar-condicionado e as salas com ventilação natural.

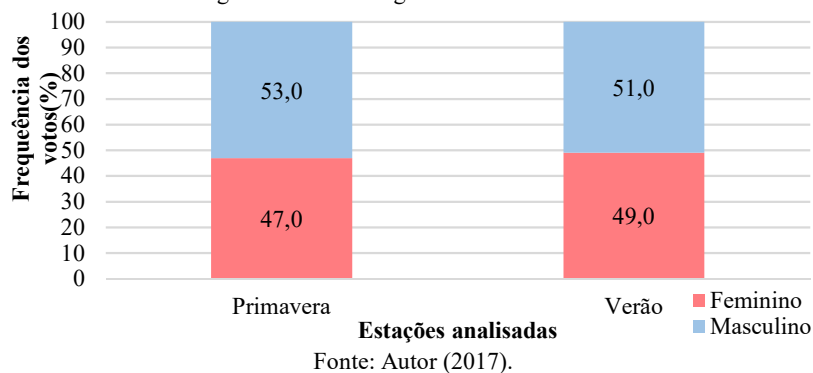


Fonte: Autor (2017).

4.1.1.Dados antropométricos

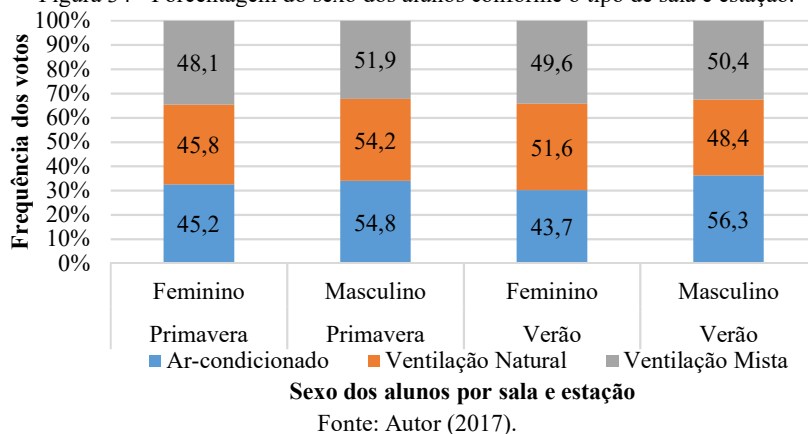
De acordo com os dados pessoais obtidos através dos questionários aplicados, constatou-se um certo equilíbrio na frequência dos votos relacionados ao sexo dos alunos (ver Figura 33). Segundo a coordenação acadêmica da edificação escolar analisada, uns dos principais objetivos é a busca do equilíbrio entre os sexos na distribuição das salas.

Figura 33 - Porcentagem do sexo dos alunos.



A Figura 34 foi desenvolvida para verificar disparidades entre a porcentagem de sexos conforme os tipos de salas e estações analisadas. O equilíbrio entre a porcentagem do sexo dos alunos por tipo de sala permanece similar conforme observado anteriormente na porcentagem geral. A porcentagem dos votos do sexo feminino variou entre 45,2 - 48,1% na primavera e 43,7 - 51,6% no verão; divergindo menos de 2% e 6% (primavera e verão, respectivamente) da coleta geral entre as salas. Quando analisada a porcentagem dos votos do sexo masculino, a faixa de variação foi de 51,9 - 54,8% na primavera e 48,4 - 56,3% no verão; divergindo até 5,3% da coleta geral entre as salas.

Figura 34 - Porcentagem do sexo dos alunos conforme o tipo de sala e estação.

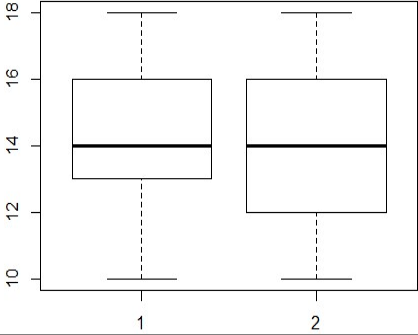


Na Tabela 9 são apresentados os resultados dos dados antropométricos encontrados na coleta. Os alunos possuíam faixa etária entre 10 – 18 anos de idade. A altura média encontrada na pesquisa foi de 1,64m na primavera e 1,62m no verão. O peso encontrado na amostra variou entre 27 – 100kg.

Com a altura e o peso dos alunos calculou-se o índice de massa corporal (IMC), para uma análise paralela das condições de saúde dos participantes. O índice IMC é calculado pela fórmula: $\text{peso}/\text{altura}^2$, onde encontramos os seguintes valores: até 18,5 (pessoas abaixo do peso); entre 18,5 a 25 (pessoas com peso normal); entre 25 a 30 (pessoas acima do peso); e acima de 30 (pessoas consideradas obesas). A média dos alunos da pesquisa estava com o peso considerado normal segundo o índice de massa corporal (20,70 na primavera e 20,65 no verão).

Foram realizados os testes de normalidade Shapiro-Wilk e T-Test nos dados antropométricos dos alunos para identificar se o conjunto de dados da amostra seguem em distribuição normal. Como o p-value obtido nos testes foi menor ou igual a 0,05 (5%), os dados da amostra não foram considerados em distribuição normal.

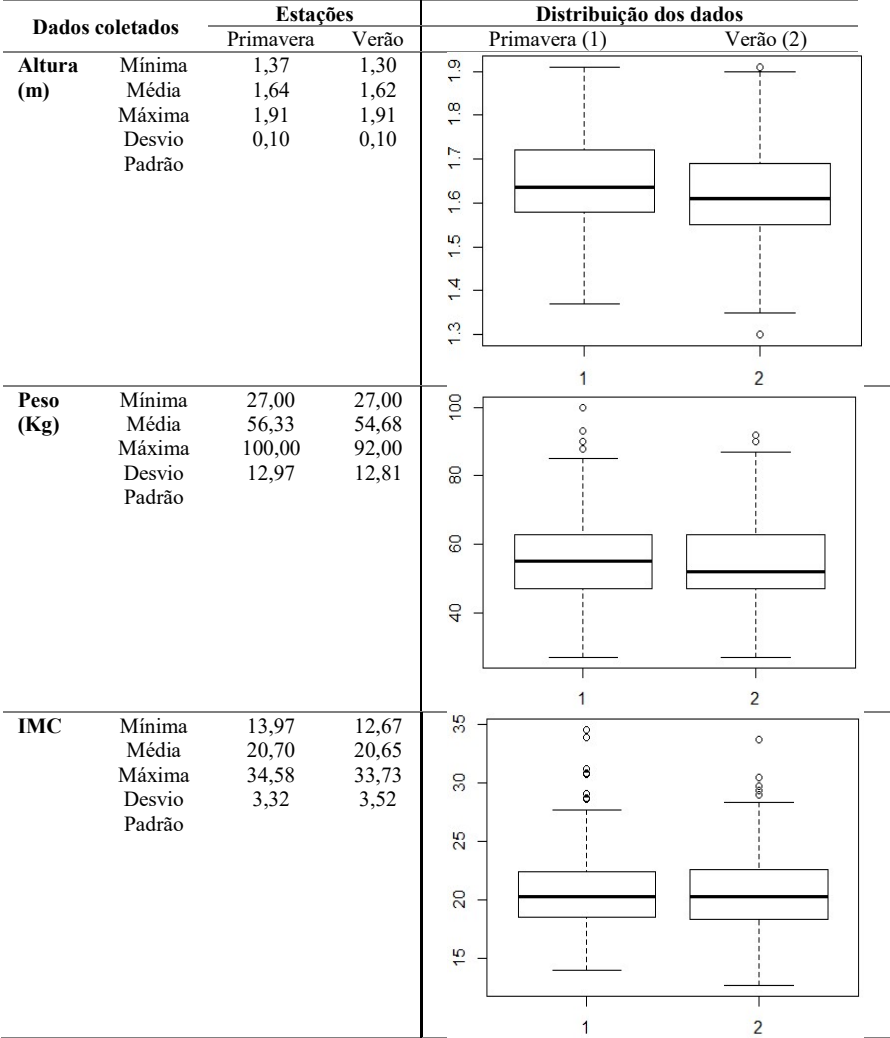
Tabela 9 - Dados antropométricos dos alunos. (Continua)

Dados coletados		Estações		Distribuição dos dados	
		Primavera	Verão	Primavera (1)	Verão (2)
Idade (Anos)	Mínima	10	10		
	Média	14,34	13,95		
	Máxima	18	18		
	Desvio	2,10	2,12		
	Padrão				

Fonte: Autor (2017).

Tabela 9- Dados antropométricos dos alunos.

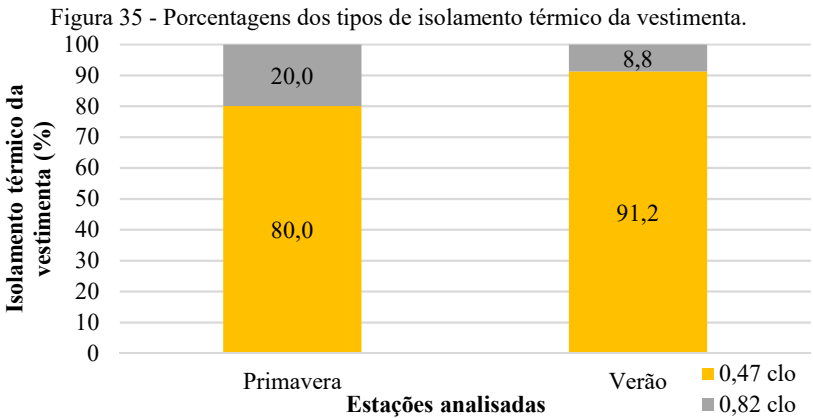
(Conclusão)



Fonte: Autor (2017).

A tabela C.2 do anexo C da norma ISO 7730 (2005) disponibiliza valores para o cálculo de isolamento térmico da vestimenta. A Figura 35 apresenta a porcentagem dos tipos de isolamento térmico da vestimenta

dos alunos. Foram encontrados apenas dois tipos, por se tratar de uma edificação cuja vestimenta dos usuários é padrão. A maior parte dos alunos estavam vestindo o equivalente a 0,47 clo e uma parcela mínima de 0,82 clo (com acréscimo do casaco ao uniforme) proveniente dos alunos que ocupavam as salas com ar-condicionado.



Fonte: Autor (2017).

A atividade desempenhada pelo usuário da edificação determina a quantidade de calor gerado pelo organismo, com isso, baseando-se na tabela B.1 de taxas metabólicas do anexo B da ISO 7730 (2005), para atividade sedentária escolar temos as taxas de 1,2met ou 70W/m².

A tabela 10 resume os valores mínimos, médios e máximos encontrados para o cálculo das variáveis pessoais relacionadas ao isolamento térmico da vestimenta e taxa metabólica.

Tabela 10 - Isolamento térmico da vestimenta e taxa metabólica.

Itens analisados	Isolamento térmico da vestimenta (clo)		Taxa metabólica	
	Primavera	Verão	Met	W/m²
Mínima	0,47	0,47	1,2	70
Média	0,54	0,50	1,2	70
Máxima	0,82	0,82	1,2	70
Desvio Padrão	0,14	0,09	-	-

Fonte: Autor (2017).

4.1.2. Variáveis ambientais

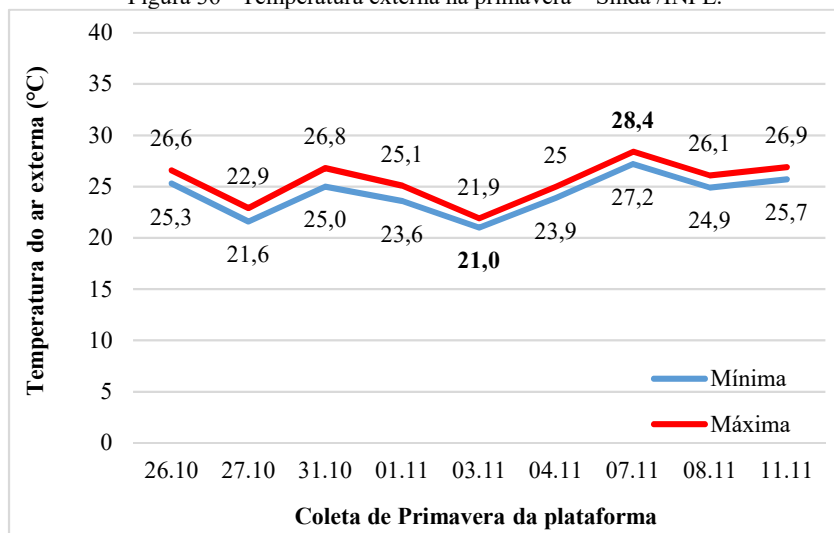
As Figuras 36, 38, 40 e 42 foram desenvolvidas de acordo com os dados históricos obtidos na plataforma Sinda/INPE (2017), coletados através da estação meteorológica de Campo Grande (PCD 31950). E as Figuras 37, 39, 41 e 43 foram desenvolvidas de acordo com os dados coletados no local da pesquisa de campo.

As Figuras 36 a 39 apresentam as temperaturas do ar e umidade relativa externas com suas mínimas e máximas coletadas no local e na plataforma Sinda/INPE durante a estação de primavera. Observou-se que a temperatura do ar mínima encontrada no local foi de 23,8°C e a máxima de 35,4°C; porém, a mínima e a máxima coletada de acordo com a plataforma Sinda/INPE (2017) foi de 21,0°C e 28,4°C respectivamente, ocorrendo divergência de até 7,0°C da coletada no local do experimento. Na primavera a umidade relativa variou entre 35,3 - 57,7% (ver Figura 39), entretanto a coletada conforme a plataforma Sinda/INPE (2017) variou entre 71,9 - 87,1% (ver Figura 38), valores superiores que o observado no local da pesquisa.

As Figuras 40 a 43 apresentam as temperaturas do ar e umidade relativa externas coletadas no local e na plataforma Sinda/INPE durante a estação de verão. Observou-se que a temperatura do ar externo mínima encontrada no local foi de 27,9°C e a máxima de 35,2°C (ver Figura 41); comparando com os dados coletados pela plataforma Sinda/INPE (ver Figura 40), as diferenças entre as mínimas e máximas foram de 4,8°C e 7,5°C respectivamente.

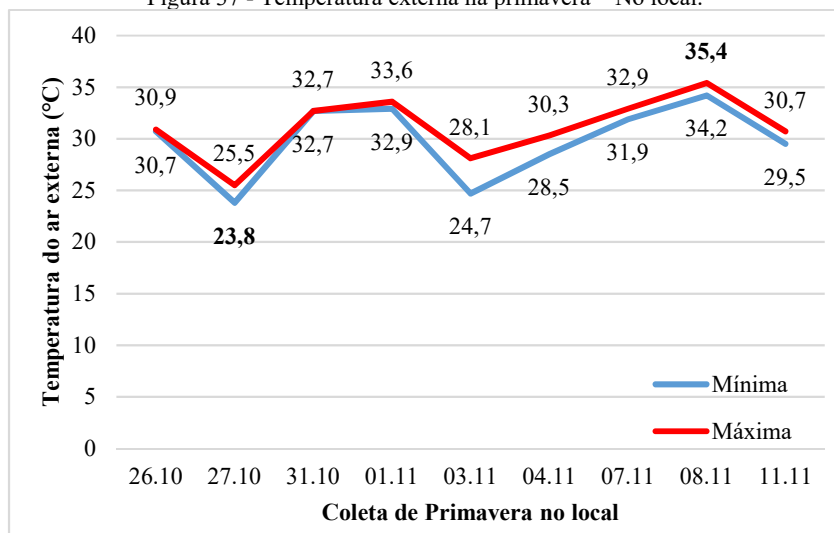
Durante o verão, a umidade relativa obtida no local (ver Figura 43) apresentou uma faixa de variação maior (38,1- 77,6%) do que a disponibilizada pela plataforma Sinda / INPE (66,2 - 89,9%), conforme a Figura 42. A disparidade dos dados da plataforma com os obtidos no local demonstra a importância da coleta das variáveis ambientais internas e externas no local da pesquisa para precisão das análises.

Figura 36 - Temperatura externa na primavera – Sinda /INPE.



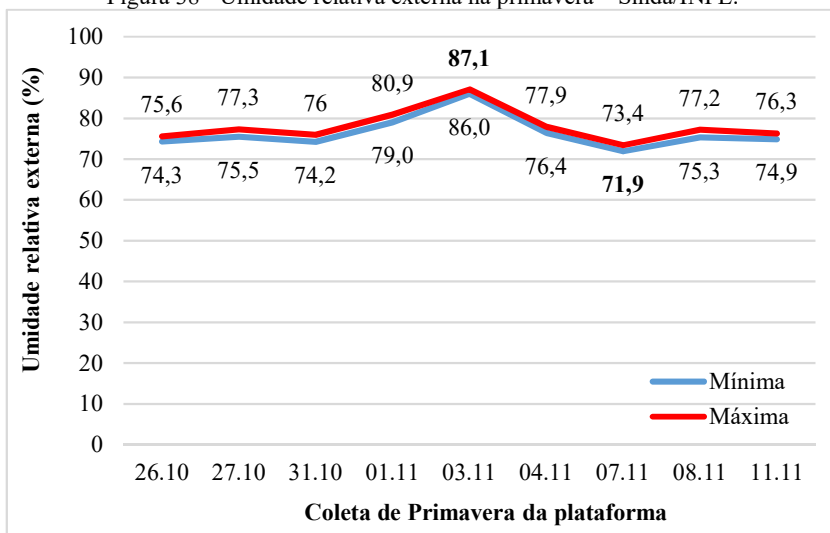
Fonte: Dados obtidos na plataforma Sinda/INPE (2017).

Figura 37 - Temperatura externa na primavera – No local.



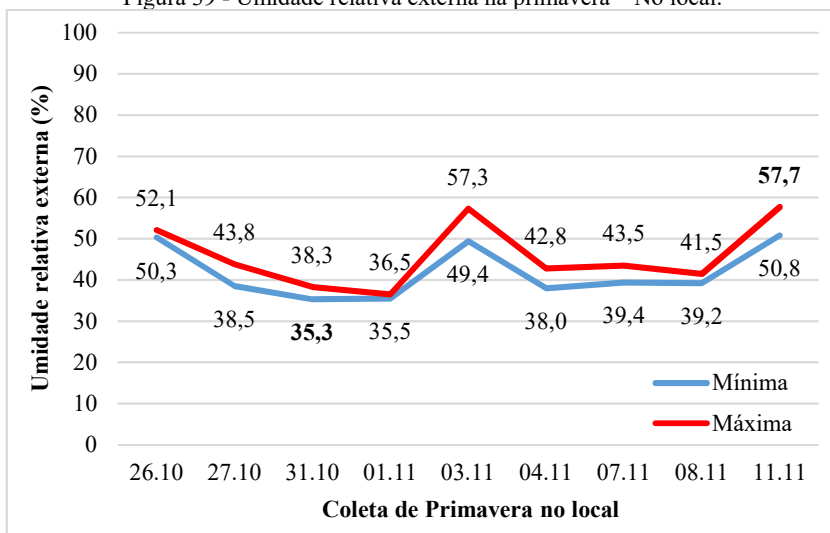
Fonte: Dados obtidos no local (2016).

Figura 38 - Umidade relativa externa na primavera – Sinda/INPE.



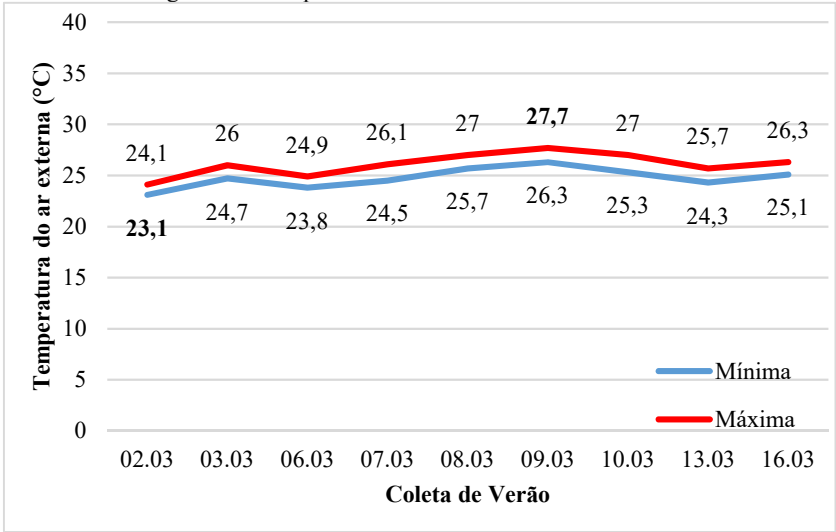
Fonte: Dados obtidos na plataforma Sinda/INPE (2017).

Figura 39 - Umidade relativa externa na primavera – No local.



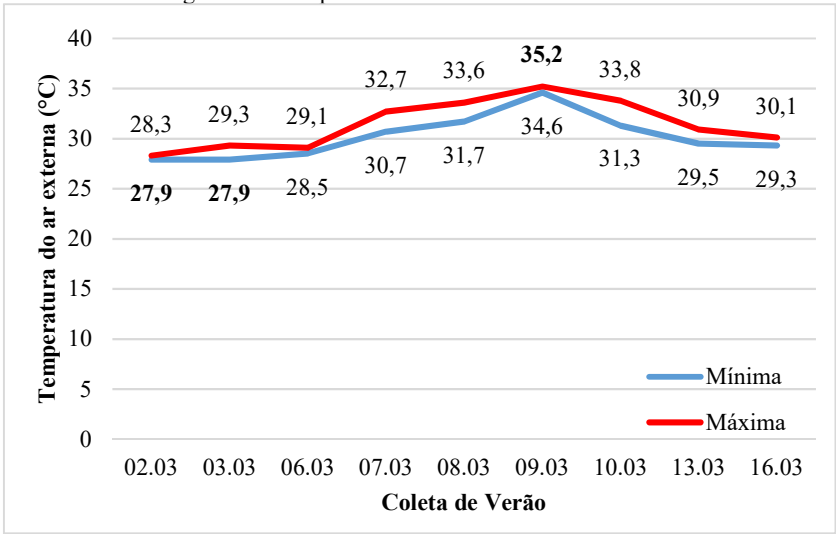
Fonte: Dados obtidos no local (2016).

Figura 40 - Temperatura externa no verão – Sinda/INPE.



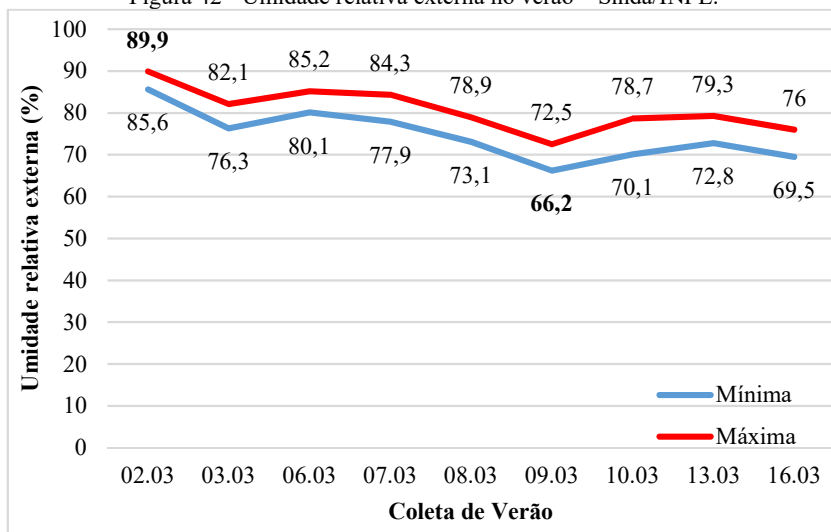
Fonte: Dados obtidos na plataforma Sinda/INPE (2017).

Figura 41 - Temperatura externa no verão – No local.



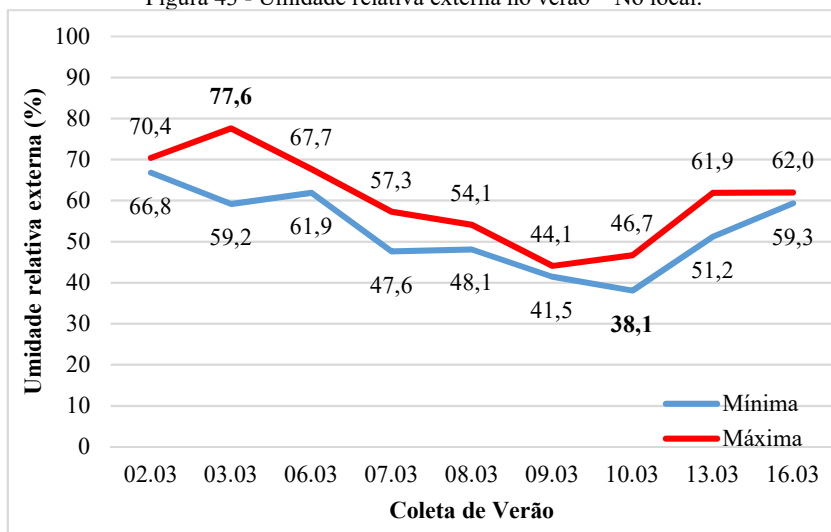
Fonte: Dados obtidos no local (2017).

Figura 42 - Umidade relativa externa no verão – Sinda/INPE.



Fonte: Dados obtidos na plataforma Sinda/INPE (2017).

Figura 43 - Umidade relativa externa no verão – No local.



Fonte: Dados obtidos no local (2017).

4.1.2.1. Variáveis ambientais coletadas no local

Foram realizados os testes de normalidade Shapiro-Wilk e T-Test nas variáveis ambientais coletadas nas salas para identificar se o conjunto de dados da amostra seguem em distribuição normal. Como o p-value obtido nos testes foi menor ou igual a 0,05 (5%), os dados da amostra não foram considerados em distribuição normal. As Tabelas 11 e 12 apresentam as variáveis ambientais monitoradas, conforme os tipos de salas e estações.

Tabela 11 - Variáveis ambientais coletadas nas salas de aula durante a primavera.

Salas		T _{AR} (° C)		UR (%)		T _{RM} (° C)	T _{OP} (° C)	V _{AR} (m/s)
		Int.	Ext.	Int.	Ext.	Int.	Int.	Int.
VN	Máx.	24,0	28,1	67,2	57,3	26,6	25,0	0,32
	Méd.	23,3	25,5	57,1	47,7	25,5	24,4	0,12
	Mín.	23,0	23,8	45,2	38,5	24,8	23,9	0,02
	D. P.	0,3	1,2	9,4	9,4	0,5	0,3	0,09
VM	Máx.	30,3	35,4	59,5	52,1	32,0	31,0	0,65
	Méd.	29,3	32,8	54,1	41,4	30,7	29,9	0,28
	Mín.	26,9	30,7	46,1	35,3	29,3	27,8	0,04
	D. P.	1,0	1,3	4,2	4,2	0,8	0,8	0,16
AC	Máx.	26,1	30,7	52,7	57,7	23,1	24,6	0,64
	Méd.	24,9	29,9	48,8	49,5	21,1	23,3	0,27
	Mín.	22,8	28,5	42,1	38,0	18,4	21,1	0,04
	D. P.	1,4	0,6	3,0	3,0	1,3	1,1	0,21
Legenda:		VN - Ventilação Natural				V _{AR} - Velocidade do ar		
		VM - Ventilação de Modo Misto				Int - Interna		
		AC - Ar-condicionado				Ext - Externa		
		T _{AR} - Temperatura do ar				Máx. - Máxima		
		UR - Umidade Relativa				Méd. - Média		
		T _{RM} - Temperatura Radiante Média				Mín. - Mínima		
		T _{OP} - Temperatura Operativa				D.P. - Desvio Padrão		

Fonte: Autor (2016).

Tabela 12 - Variáveis ambientais coletadas nas salas de aula durante o verão.

Salas		T _{AR} (° C)		UR (%)		T _{RM} (° C)	T _{OP} (° C)	V _{AR} (m/s)
		Int.	Ext.	Int.	Ext.	Int.	Int.	Int.
VN	Máx.	32,5	35,2	77,2	70,4	32,5	32,5	0,45
	Méd.	30,0	31,7	65,4	55,1	30,4	30,2	0,22
	Mín.	27,9	27,9	54,0	41,5	28,7	28,3	0,12
	D. P.	1,8	3,4	10,0	13,2	1,6	1,7	0,09
VM	Máx.	30,9	33,6	81,7	77,6	33,5	30,6	0,95
	Méd.	28,9	30,2	69,2	59,7	29,7	29,2	0,30
	Mín.	27,9	27,9	59,2	47,6	27,7	28,0	0,02
	D. P.	0,8	1,8	6,2	8,7	1,1	0,8	0,22
AC	Máx.	29,5	33,8	63,2	61,9	23,1	24,8	0,29
	Méd.	26,9	31,3	51,4	50,2	21,4	24,4	0,19
	Mín.	25,5	29,5	46,3	38,1	17,2	24,0	0,05
	D. P.	1,3	1,2	5,6	6,8	2,0	0,2	0,07
Legenda:		VN - Ventilação Natural				V _{AR} - Velocidade do ar		
		VM - Ventilação de Modo Misto				Int - Interna		
		AC - Ar-condicionado				Ext - Externa		
		T _{AR} - Temperatura do ar				Máx. - Máxima		
		UR - Umidade Relativa				Méd. - Média		
		T _{RM} - Temperatura Radiante Média				Mín. - Mínima		
		T _{OP} - Temperatura Operativa				D.P. - Desvio Padrão		

Fonte: Autor (2017).

A temperatura do ar mínima encontrada no interior das salas de aula foi de 22,8°C (primavera) e 25,5°C (verão), ambas coletadas nas salas com ar-condicionado. A temperatura do ar interna máxima foi encontrada nas salas com ventilação de modo misto na primavera (30,3°C) e nas salas com ventilação natural durante o verão (32,5°C). A temperatura do ar externo máxima encontrada no local da coleta durante a primavera foi de 35,4°C e durante o verão foi de 35,2°C.

Com relação à umidade relativa interna das salas de aula, durante a primavera as salas com ventilação natural apresentaram a máxima do período (67,2%) e durante o verão foram as salas com ventilação de modo misto que apresentaram a máxima (81,7%). Em ambas as estações analisadas as salas com ar-condicionado apresentaram a menor umidade relativa coletada (42,1% na primavera e 46,3% no verão).

Quando analisada a velocidade do ar interno, as salas com ventilação de modo misto apresentaram as máximas internas em ambas as estações do estudo de campo (0,65 m/s na primavera e 0,95 m/s no verão), em consequência de operarem simultaneamente com ventilação natural e com ventiladores de teto. A velocidade do ar mínima variou entre 0,02 - 0,04 m/s na primavera e 0,02 - 0,12 m/s no verão; sendo que as mínimas encontradas foram coletadas nas salas com ventilação natural (primavera) e nas salas com ventilação de modo misto (verão).

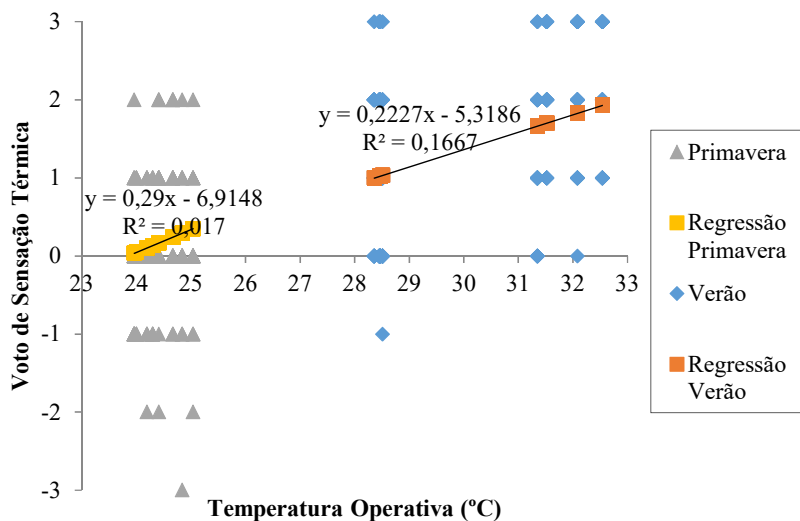
4.1.2.2. *Temperatura de conforto*

Visando o estabelecimento das relações de dependência entre as variáveis ambientais e determinação das equações para obtenção das zonas de conforto e temperatura de conforto para cada tipo de sala, foram realizadas análises de regressão linear.

Para a validação das regressões foram feitas análises de variância e testes de normalidade nos dados coletados. Todas as análises de regressão foram realizadas para um intervalo de confiança de 95%. Foram obtidos os coeficientes de correlação de Pearson, expondo o grau de correlação entre duas variáveis; este coeficiente normalmente assume valores entre -1 à +1, significando que: +1 (correlação positiva entre duas variáveis), 0 (variáveis independentes linearmente) e -1 (correlação negativa entre duas variáveis). Em todas as análises de regressão feitas neste trabalho houve correlação positiva entre as variáveis estudadas.

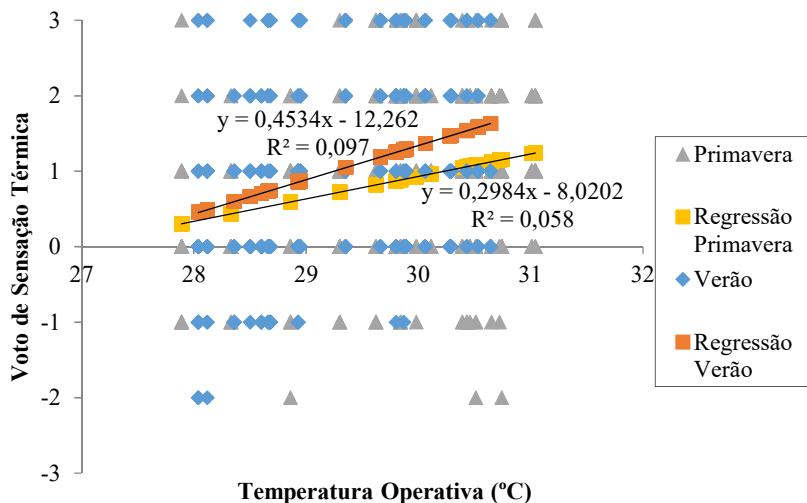
As análises de aplicação dos métodos propostos pela norma da ASHRAE 55 (2013) foram efetivadas em sua totalidade adotando-se o índice de temperatura operativa por se tratar de um padrão normativo. Devido a isso, as Figuras de 44 a 46 representam as análises de regressão linear entre os votos de sensação térmica dos alunos com a temperatura operativa (T_{op}) calculada através das variáveis ambientais coletadas no local. Em ambas as estações e em todas as salas analisadas as correlações são positivas.

Figura 44 - Regressão entre o voto de sensação térmica e a temperatura operativa - salas com ventilação natural.



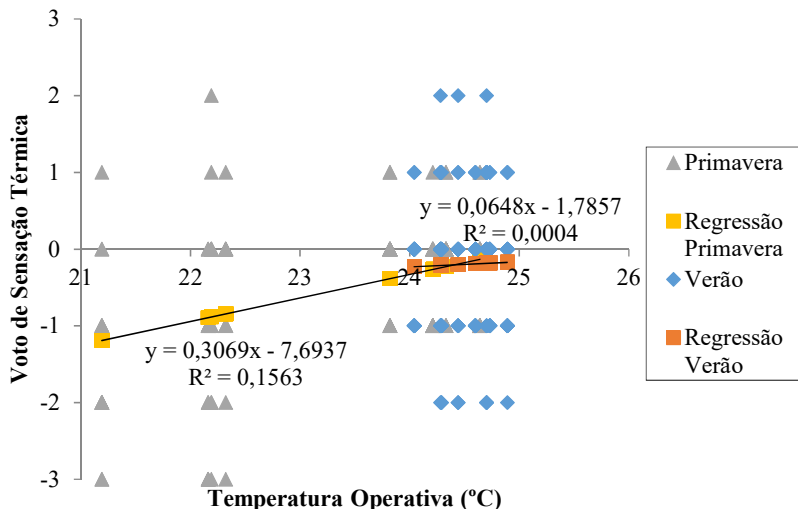
Fonte: Autor (2017).

Figura 45 - Regressão entre o voto de sensação térmica e a temperatura operativa - salas com ventilação de modo misto.



Fonte: Autor (2017).

Figura 46 - Regressão entre o voto de sensação térmica e a temperatura operativa - salas com ar-condicionado.



Fonte: Autor (2017).

Para encontrar a temperatura de conforto das salas de aula analisadas no estudo de campo, foram obtidas as Equações (10) a (15) através das análises de regressão linear dos votos de sensação térmica (VST) em relação à temperatura operativa (T_{op}), conforme a estação e os tipos de sistemas de ventilação das salas.

- Para salas com ventilação natural:

$$VST_{PRIMAVERA} = 0,2900 \times T_{op} - 6,9148 \quad R^2 = 0,017 \quad (10)$$

$$VST_{VERÃO} = 0,2227 \times T_{op} - 5,3186 \quad R^2 = 0,166 \quad (11)$$

- Para salas com ventilação de modo misto:

$$VST_{PRIMAVERA} = 0,2984 \times T_{op} - 8,0202 \quad R^2 = 0,058 \quad (12)$$

$$VST_{VERÃO} = 0,4534 \times T_{op} - 12,262 \quad R^2 = 0,097 \quad (13)$$

- Para salas com ar-condicionado:

$$VST_{PRIMAVERA} = 0,3069 \times T_{op} - 7,6937 \quad R^2 = 0,1563 \quad (14)$$

$$VST_{VERÃO} = 0,0648 \times T_{op} - 1,7857 \quad R^2 = 0,0004 \quad (15)$$

Com base nas Equações de (10) a (15), obteve-se as temperaturas de conforto para cada tipo de sala de aula. A Tabela 13 especifica as temperaturas de conforto para cada tipo de sala de aula e estação, quando os votos de sensação térmica são neutros (0).

Tabela 13 - Temperatura de conforto.

Salas	Temperatura de Conforto (°C)	
	Primavera	Verão
Ventilação Natural	23,8	23,8
Ventilação de Modo Misto	26,8	27,0
Ar-condicionado	25,0	27,5

Fonte: Autor (2017).

4.1.3. Variáveis subjetivas

A Tabela 14 apresenta as escalas utilizadas para análise dos dados obtidos através das questões subjetivas coletadas por meio dos questionários.

Tabela 14 - Escalas utilizadas para as questões subjetivas.

Escala	Questões Subjetivas			
	Sensação térmica	Estado térmico	Preferência térmica	Velocidade do ar
+3	Com muito calor	Desconfortável	Mais aquecido	-
+2	Com calor	Levemente desconfortável	Aquecido	Muito alta
+1	Levemente com calor	Levemente confortável	Levemente aquecido	Alta
0	Neutro	Confortável	Neutro	Neutro
-1	Levemente com frio	-	Levemente resfriado	Baixa
-2	Com frio	-	Resfriado	Muito baixa
-3	Com muito frio	-	Mais resfriado	-

Fonte: Autor (2016).

4.1.3.1. *Sensação térmica x Estado térmico*

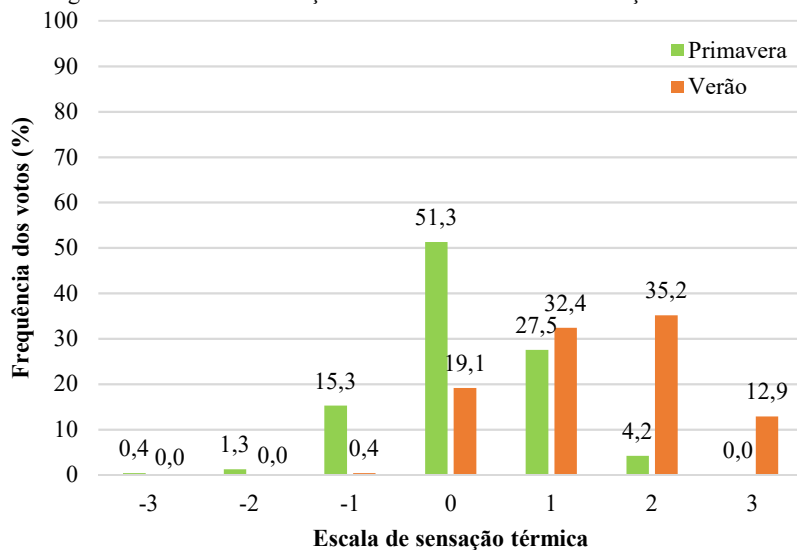
Com o intuito de verificar a sensação térmica e o estado térmico dos alunos, foram realizadas as seguintes perguntas: “*Como você está se sentindo neste momento?*” e “*De que maneira você está termicamente neste momento?*”.

As análises dos dados obtidos ressaltam a avaliação dos alunos sobre a sensação térmica e o estado térmico. As Figuras 47 a 52 apresentam a distribuição em forma de frequência dos votos das escalas de sensação térmica e estado térmico das salas analisadas.

Durante a primavera os votos de sensação térmica coletados nas salas ventiladas naturalmente variaram entre -3 a +2 e durante o verão entre -1 a +3 (ver Figura 47). A maioria das respostas dos alunos, durante a primavera, estava dentro de uma zona de aceitabilidade térmica, com votos variando entre ± 1 (94,1%), porém no verão essa porcentagem diminuiu para 51,9%. A Figura 48 apresenta o resultado dos votos do estado térmico dos alunos das salas com ventilação natural. No experimento realizado na primavera, cerca de 88,2% dos alunos estavam “confortáveis” ou “levemente confortáveis”. No verão essa porcentagem diminuiu para 49,2%. Um dos fatores que influenciaram o estado térmico dos alunos foi a temperatura operativa do ambiente: a diferença, entre as estações, das temperaturas operativas médias encontradas nas salas com ventilação natural foi de 5,8°C a mais no verão.

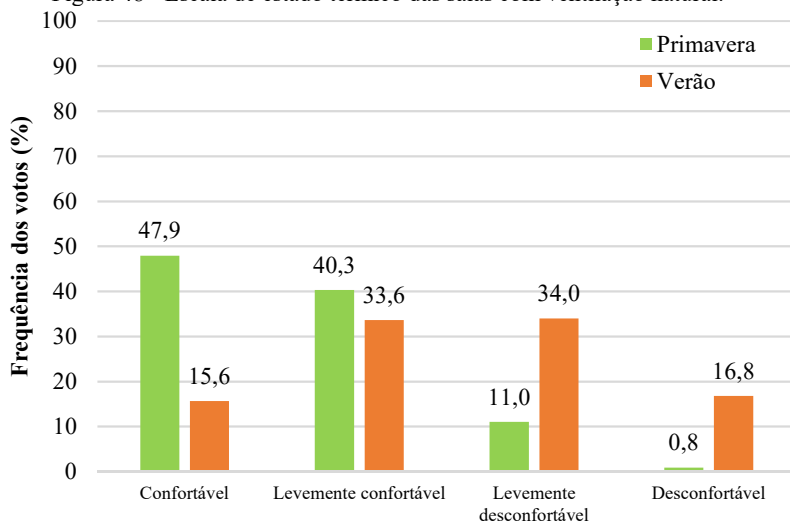
Notou-se certa correlação entre os votos de sensação térmica com os votos de estado térmico dos alunos. Na primavera cerca de 94% dos votos de sensação térmica estavam entre “levemente com frio” a “levemente com calor” e a porcentagem de pessoas “confortáveis ou” “levemente confortáveis” foi cerca de 88%. Durante o verão, a diminuição da porcentagem de votos variando entre ± 1 (51,9%) acompanhou também a diminuição de alunos se sentindo confortáveis ou levemente confortáveis (49,2%).

Figura 47 - Escala de sensação térmica das salas com ventilação natural.



Fonte: Autor (2017).

Figura 48 - Escala de estado térmico das salas com ventilação natural.



Fonte: Autor (2017).

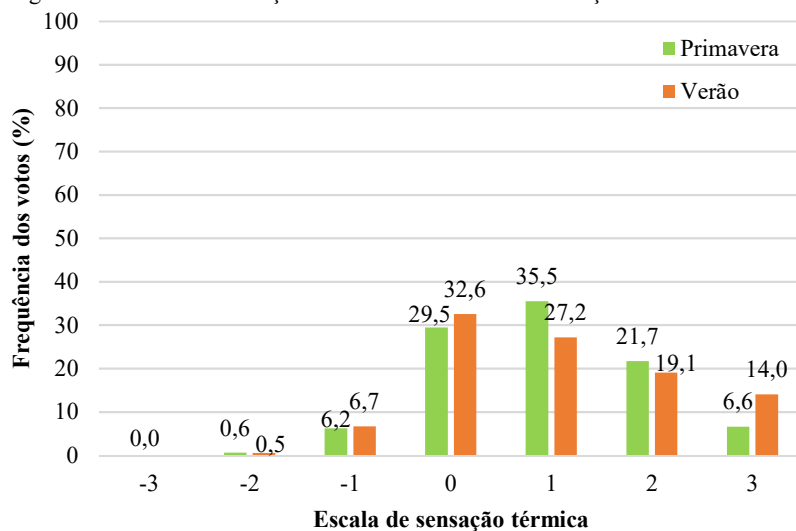
Nas salas com ventilação de modo misto, a porcentagem dos votos de alunos que indicaram sensações de neutralidade térmica foi de 29,5% na primavera e 32,6% no verão (ver Figura 49). A maior parte dos alunos relatou estar se sentindo entre “levemente com calor” a “com muito calor”, em ambas as estações. Menos de 8% dos alunos relataram - em ambas as estações - que estavam entre “levemente com frio” a “com frio”. A maior porcentagem de respostas que classificaram sua sensação térmica “com muito calor” ocorreu na estação de verão, cerca de 14% dos votos (ver Figura 49).

Os alunos que aceitaram termicamente o ambiente das salas de aula com ventilação de modo misto indicaram sensações térmicas que variaram entre “ ± 1 ”, totalizando cerca de 71% na estação de primavera e 66% no verão; esses resultados não alcançaram o ideal proposto pela norma ISO 7730 (2005) que seria de 75% para votos variando entre “ ± 1 ”.

Quando analisada a escala de estado térmico dos alunos das salas com ventilação de modo misto (ver Figura 50), notou-se que a porcentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico - por estarem “desconfortáveis” ou “levemente desconfortáveis” - foi maior na primavera (36,7%) que a observada no verão (36,5%), devido ao fato da temperatura média interna no verão ter sido 0,4°C menor que a encontrada na primavera.

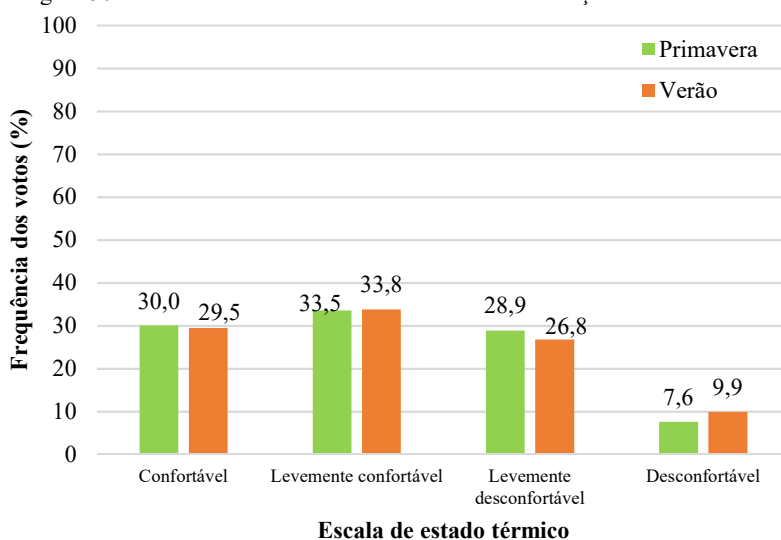
Apesar de 71,2% e 66,4% (primavera e verão respectivamente) aceitarem termicamente o ambiente das salas com ventilação de modo misto, apenas 63,3% e 63,5% (primavera e verão respectivamente) dos alunos estavam se sentindo confortáveis ou levemente confortáveis.

Figura 49 - Escala de sensação térmica das salas com ventilação de modo misto.



Fonte: Autor (2017).

Figura 50 - Escala de estado térmico das salas com ventilação de modo misto.



Fonte: Autor (2017).

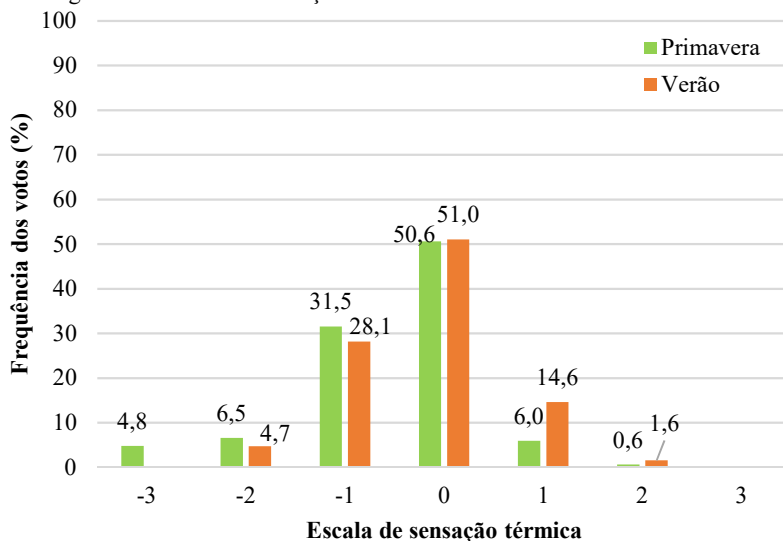
Reiterando que ambientes aceitáveis termicamente por seus usuários não expressa necessariamente ambientes confortáveis termicamente para os mesmos. Porém, a associação entre dois sistemas de ventilação, como o natural e o mecânico (ventiladores de teto), pode auxiliar no conforto térmico e na diminuição dos gastos energéticos em regiões com temperaturas internas altas (DE FREITAS et al., 2018).

Ao longo da pesquisa, as salas com ar-condicionado apresentaram a menor porcentagem de alunos insatisfeitos termicamente com o ambiente de suas salas (alunos desconfortáveis ou levemente desconfortáveis), totalizando 11,9% na primavera e 6,3% no verão (ver Figura 52).

Na primavera os votos dos alunos que se concentraram na zona de aceitabilidade térmica de ± 1 foram de 88,1%; no verão essa porcentagem aumentou para 93,7% (ver Figura 51), apesar da temperatura média interna das salas com ar-condicionado ter sido maior no verão (26,9°C) que a coletada na primavera (24,9°C).

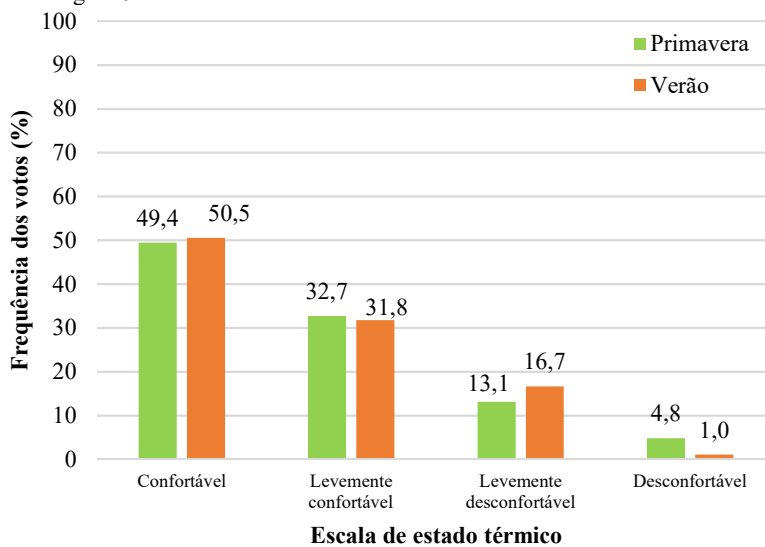
Durante a primavera 82,1% dos alunos estavam “confortáveis” ou “levemente confortáveis” e 11,3% dos alunos estavam se sentindo “com muito frio” e “com frio”; no verão essa porcentagem caiu para 4,7%, porém a porcentagem de alunos que votaram estar “confortáveis” ou “levemente confortáveis” permaneceu em torno de 80% (ver Figura 52).

Figura 51 - Escala de sensação térmica das salas com ar-condicionado.



Fonte: Autor (2017).

Figura 52 - Escala de estado térmico das salas com ar-condicionado.

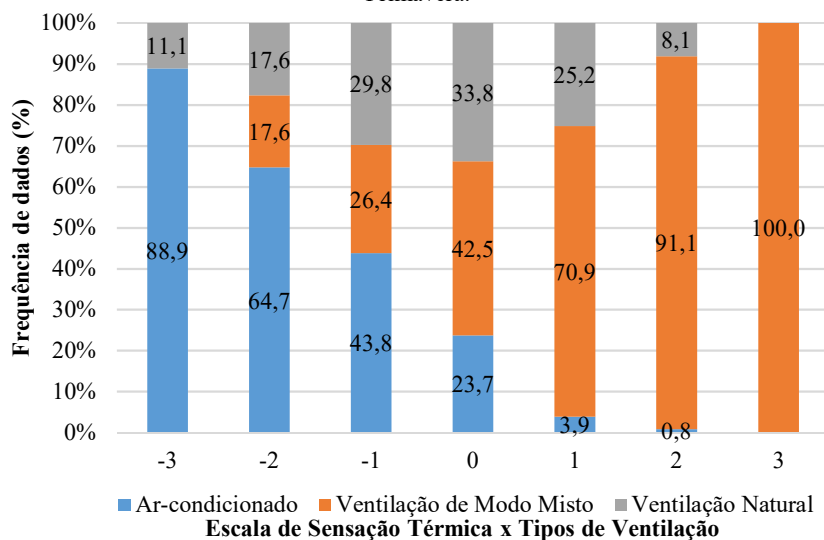


Fonte: Autor (2017).

Observou-se que durante as medições da primavera, o manuseio dos controles das splits ficava a cargo dos professores; e durante a primeira coleta de dados nas salas com ar-condicionado o visor do controle da split constava a temperatura de 18°C. Ao longo da primeira rodada de perguntas alguns alunos estavam se sentindo “com muito frio” ou “com frio”, apesar do professor responsável pela sala assegurar que estava “com muito calor”. Após a primeira rodada de perguntas a temperatura da split foi alterada para 23°C, devido a isso aguardou-se a aclimação dos alunos para as próximas rodadas de perguntas. Após a alteração da temperatura de 18°C para 23°C, foi constatado um aumento gradativo - a cada rodada de perguntas - de alunos se sentindo em neutralidade térmica. Confirmando que a problemática principal dessa dissertação é válida, ambientes termicamente confortáveis para adultos não necessariamente serão ambientes confortáveis para crianças ou adolescentes; porém, a possibilidade de adaptação e controle das variáveis ambientais internas auxiliam no conforto térmico dos usuários de uma edificação.

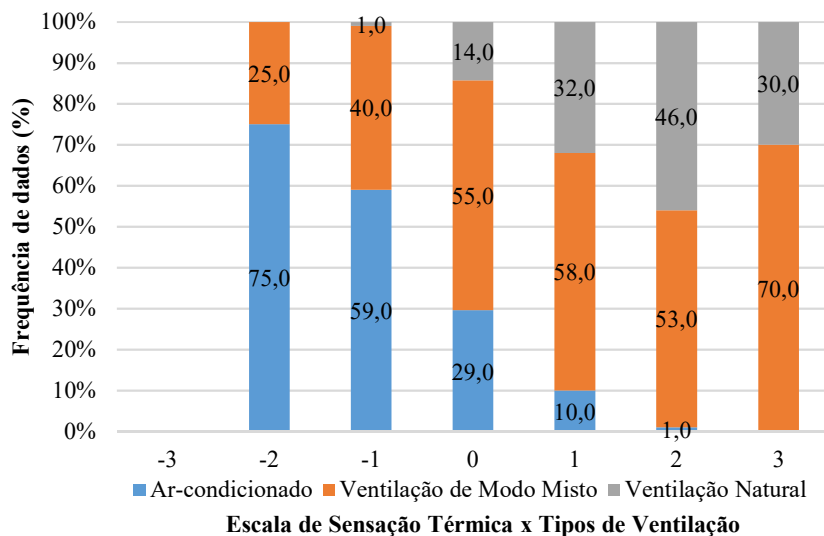
As Figuras 53 e 54 apresentam a porcentagem dos votos da escala de sensação térmica correlacionados com os tipos de salas analisadas, conforme a estação pesquisada. Os votos dos alunos que estavam se sentindo “com muito frio” ocorreu apenas durante a estação de primavera e em grande parte nas salas com ar-condicionado (89%). Em contrapartida, os alunos que se sentiram “com muito calor” estavam em grande parte ou totalmente nas salas com ventilação de modo misto (100% na primavera e 70% no verão). Nas salas com ventilação natural não houve alunos se sentindo “com muito calor”, durante a primavera. Porém, durante o verão essa porcentagem passou a existir (30% dos votos), provavelmente pelo aumento da temperatura média interna de 6,7°C.

Figura 53 - Correlação entre a escala de sensação térmica versus tipos de ventilação - Primavera.



Fonte: Autor (2016).

Figura 54 - Correlação entre a escala de sensação térmica versus tipos de ventilação - Verão.

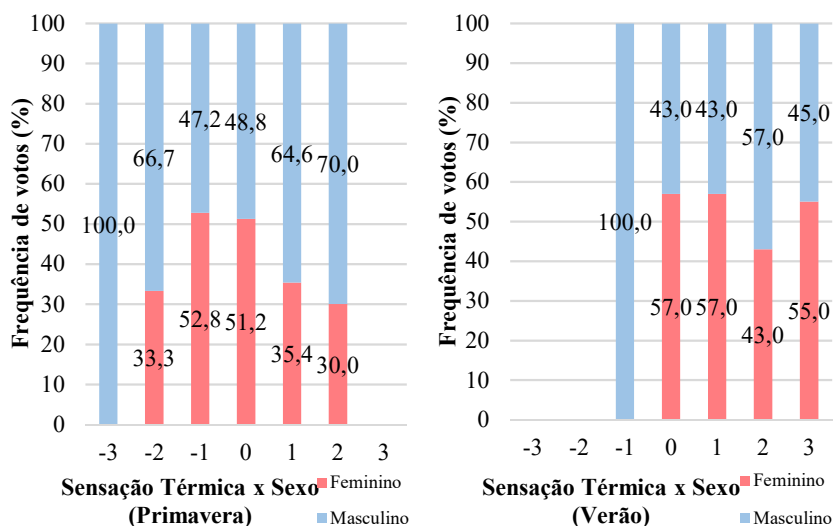


Fonte: Autor (2017).

Das salas analisadas através dos votos de sensação térmica dos alunos, as salas com ventilação natural apresentaram o melhor ambiente térmico para os alunos da edificação durante a estação de primavera, pois menos de 12% dos alunos dentre “levemente desconfortáveis” e “desconfortáveis” estavam insatisfeitos com o ambiente térmico de suas salas. Entretanto, no verão estas salas foram as que apresentaram a maior porcentagem de alunos insatisfeitos com o ambiente térmico: mais de 40% dos alunos dentre “levemente desconfortáveis” e “desconfortáveis” estavam insatisfeitos. É válido ressaltar que o uso de estratégias bioclimáticas pode auxiliar no conforto ambiental, mas não garante necessariamente o conforto, como observado ao longo da pesquisa.

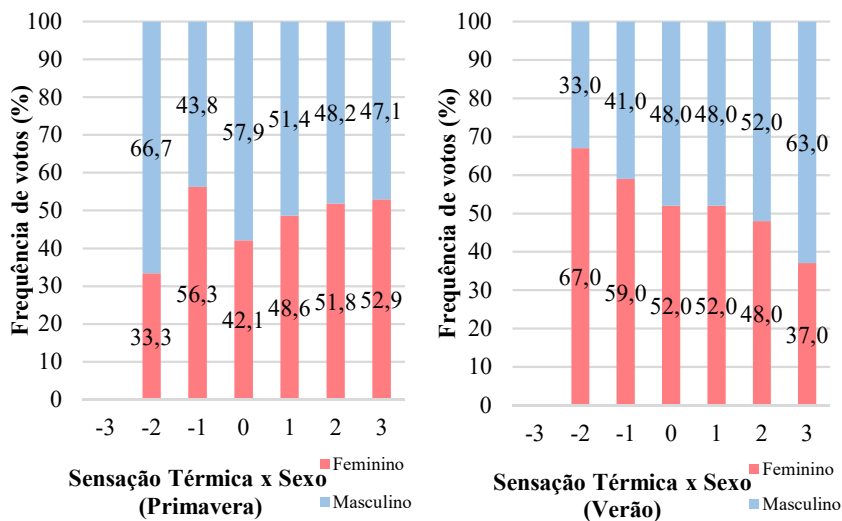
Um dos fatores que pode influenciar nos votos de sensação térmica é o sexo do usuário. As Figuras 55 a 57 apresentam as correlações entre os votos da escala de sensação térmica com o sexo dos alunos, conforme os tipos de salas analisadas e estações.

Figura 55 - Correlação entre a escala de sensação térmica versus sexo – salas com ventilação natural.



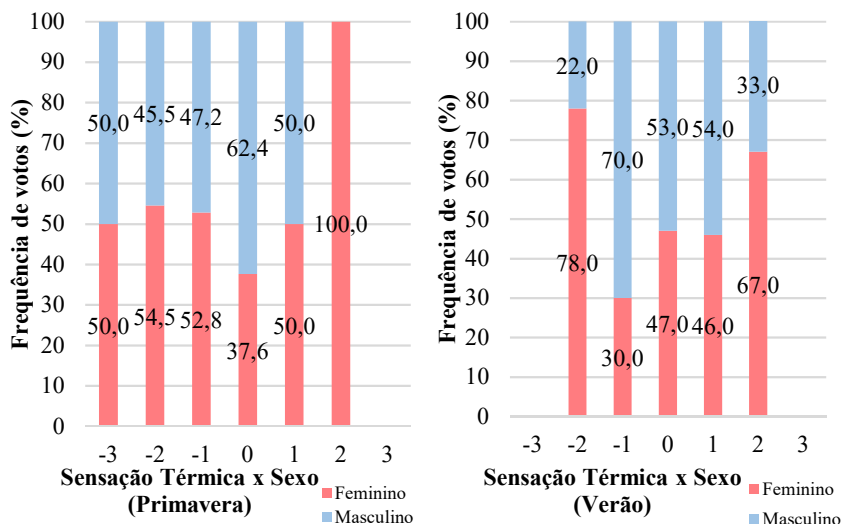
Fonte: Autor (2017).

Figura 56 - Correlação entre a escala de sensação térmica versus sexo – salas com ventilação de modo misto.



Fonte: Autor (2017).

Figura 57 Correlação entre a escala de sensação térmica versus sexo – salas com ar-condicionado.



Fonte: Autor (2017).

Nas salas ventiladas naturalmente (ver Figura 55), observou-se que durante a primavera não houve nenhum voto de alunos se sentindo “com muito calor” e os votos de alunos se sentindo “com muito frio” em sua totalidade eram do sexo masculino. No verão não houve nenhum voto de sensação térmica de aluno se sentindo “com muito frio” e “com frio”, devido ao aumento das temperaturas internas nas salas com ventilação natural. O sexo masculino foi o que demonstrou maior sensibilidade às temperaturas internas inferiores coletadas nas salas com ventilação natural.

Nas salas ventiladas de modo misto (ver Figura 56) houve certo equilíbrio nos votos de ambos os sexos. Não houve votos de alunos se sentindo “com muito frio”, em ambas as estações. Na primavera, a porcentagem de alunos do sexo masculino “com frio” (cerca de 67%) foi maior que a do sexo feminino (cerca de 33%). Entretanto, no verão houve uma inversão dessa porcentagem entre os sexos, a maior porcentagem de votos se sentindo “com frio” foi do sexo feminino (cerca de 67%).

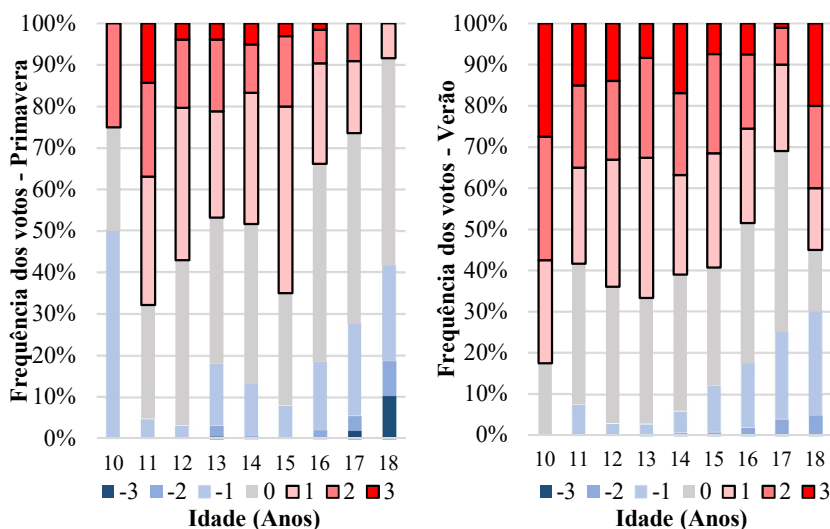
Nas salas com ar-condicionado (ver Figura 57) não houveram votos de alunos se sentindo “com muito calor” em ambas as estações. Notou-se que na primavera 100% dos votos de alunos que estavam se sentindo “com calor” eram do sexo feminino. Durante o verão, o sexo feminino se mostrou mais sensível às variações ambientais, pois mais de 60% dos votos de sensação térmica “com calor” ou “com frio” eram das alunas.

Para uma pesquisa empírica, buscou-se analisar a correlação entre os votos de sensação térmica com a idade dos alunos (ver Figura 58). Durante a primavera foi observado que entre 50 - 70% dos alunos com fixa etária de 11 a 15 anos de idade estavam se sentindo entre “levemente com calor” a “com muito calor” e mais de 60% dos alunos com 10 e 16 anos de idade estavam se sentindo “neutros” ou “levemente com calor”, provavelmente por suas salas de aula serem ventiladas naturalmente ou de modo misto. A faixa etária predominante nas salas com ar-condicionado foi de 17 e 18 anos de idade, cujos votos variaram

entre “com muito frio” a “com calor” na primavera e no verão variaram entre “com frio” a “com muito calor”.

As porcentagens dos votos de alunos se sentindo “com calor” foram maiores no verão devido ao aumento das temperaturas internas nessa estação. Houve um declínio nos votos dos alunos com 10 anos, pois durante a primavera mais de 70% dos alunos estavam dentro da zona de aceitabilidade térmica “ ± 1 ”, porém, durante o verão essa porcentagem caiu para aproximadamente 40% dos votos. Durante a primavera, cerca de 80% dos alunos com 16 anos estavam se sentindo dentro da zona de aceitabilidade térmica “ ± 1 ”. No verão, foram os alunos com 17 anos que apresentaram a maior porcentagem (cerca de 85%).

Figura 58 - Correlação entre a escala de sensação térmica e a idade.



Fonte: Autor (2017).

4.1.3.2. *Preferência térmica*

Para a obtenção dos dados relacionados à preferência térmica dos alunos foi realizada a seguinte pergunta: “*Como você preferiria estar termicamente neste momento?*”.

A Tabela 15 foi desenvolvida para auxiliar nas análises dos dados obtidos das salas de aula, ressaltando a preferência térmica dos alunos. As Figuras 59 a 61 apresentam, em forma de frequência, os votos reais da escala de preferência térmica conforme o tipo de sala.

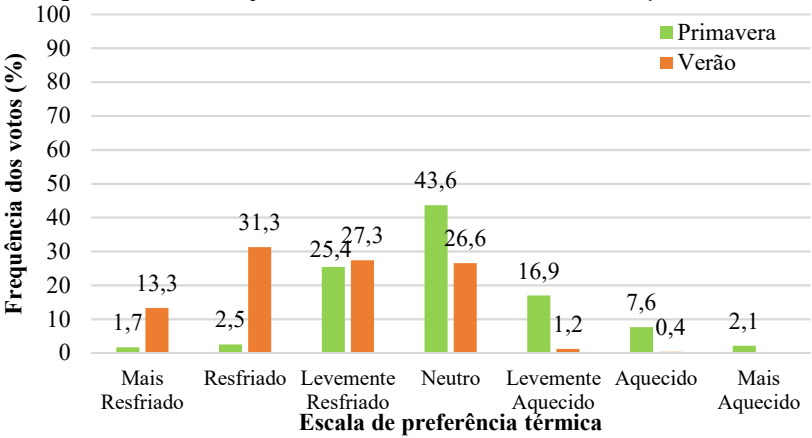
Tabela 15 - Escala de preferência térmica dos alunos.

Mais resfriado			Neutro	Mais aquecido		
Mais resfriado	Resfriado	Levemente resfriado	Neutro	Levemente aquecido	Aquecido	Mais aquecido
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3

Fonte: Autor (2017).

Ao longo do experimento de campo realizado na primavera nas salas com ventilação natural (ver Figura 59) foi observado que cerca de 56% dos alunos preferiram estar ou mais resfriados ou mais aquecidos e aproximadamente 44% dos alunos estavam neutros. A porcentagem de alunos que preferiram estar mais resfriados foi superior no verão (71,9%) que a observada na primavera (29,6%). Esse aumento ocorreu devido à elevação na temperatura média interna durante o verão, cerca de 7°C maior que o coletado na primavera. Com relação aos alunos que preferiram estar mais aquecidos, a porcentagem de votos na primavera foi superior à encontrada no verão (26,6% e 1,6% respectivamente).

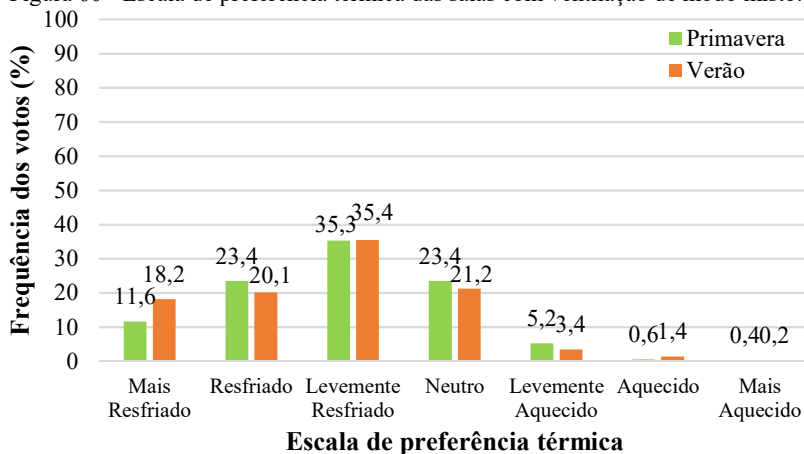
Figura 59 - Escala de preferência térmica das salas com ventilação natural.



Fonte: Autor (2017).

Nas salas com ventilação de modo misto (ver Figura 60), a maioria dos alunos preferiram estar mais resfriados do que aquecidos, em ambas as estações. Porém, a estação de verão obteve mais votos que a primavera (73,7% e 70,3% respectivamente). As altas temperaturas coletadas nas salas com ventilação de modo misto foram um dos fatores que colaborou para que a maioria dos votos estivesse na escala de preferência de “mais resfriado” (faixas de 26,9 - 30,3°C na primavera e 27,9 - 30,9°C no verão). Menos de 25% dos alunos estavam neutros em relação a sua preferência térmica. Conforme o observado na escala de estado térmico (ver Figura 50, pág. 113) - em ambas as estações - mais de 60% dos alunos estavam se sentindo entre “confortáveis” e “levemente confortáveis”, ainda que sua preferência térmica fosse por estarem mais resfriados ou mais aquecidos.

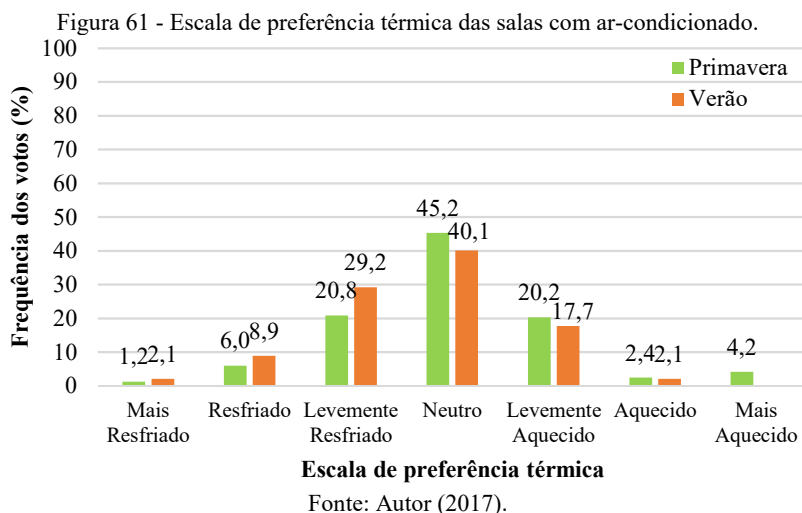
Figura 60 - Escala de preferência térmica das salas com ventilação de modo misto.



Fonte: Autor (2017).

A Figura 61 apresenta os votos da escala de preferência térmica das salas com ar-condicionado, em ambas as estações. Durante a primavera cerca de 65% dos alunos preferiram estar ou mais resfriados ou mais aquecidos. No verão essa porcentagem diminuiu para 60%, dos quais cerca de 40% dos alunos preferiram estar mais resfriados e menos de 20% preferiram estar mais aquecidos.

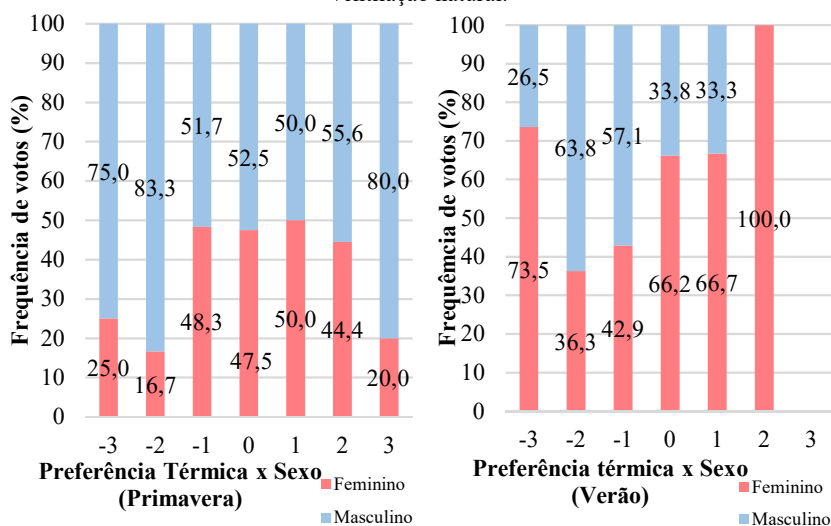
Quando analisada a escala de estado térmico (ver Figura 52, pág. 115) das salas com ar-condicionado, mais de 80% dos alunos estavam ou “confortáveis” ou “levemente confortáveis”. Das salas analisadas, as com ar-condicionado apresentaram o melhor ambiente térmico segundo a avaliação dos alunos, visto que mais de 40% dos votos dos alunos estavam na escala neutra (sem preferência de mudança). Os outros tipos de salas analisadas apresentaram menos de 27% dos votos na escala neutra, exceto as salas com ventilação natural durante a primavera que apresentaram 43,6% dos votos na escala neutra.



É válido ressaltar que os estudos de campo foram realizados nas estações com as temperaturas mais altas do contexto climático da pesquisa (clima temperado úmido) e conforme o observado nas coletas de dados. Os alunos que estavam nas salas com ar-condicionado apresentaram a maior porcentagem de votos na escala neutra, uma vez que nos outros tipos de salas a maioria dos alunos preferiram estar mais resfriados.

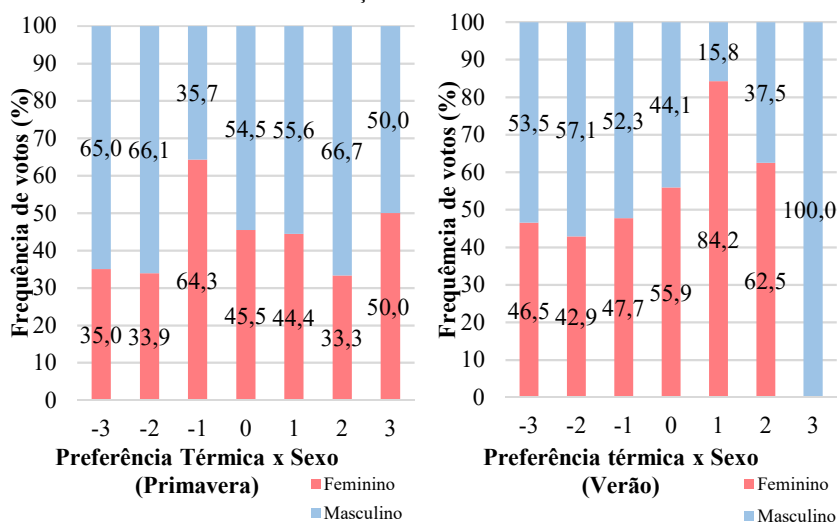
As Figuras 62 a 64 apresentam as correlações entre os votos da escala de preferência térmica com o sexo dos alunos, conforme os tipos de salas analisadas e estações.

Figura 62 - Correlação entre a escala de preferência térmica versus sexo – salas com ventilação natural.



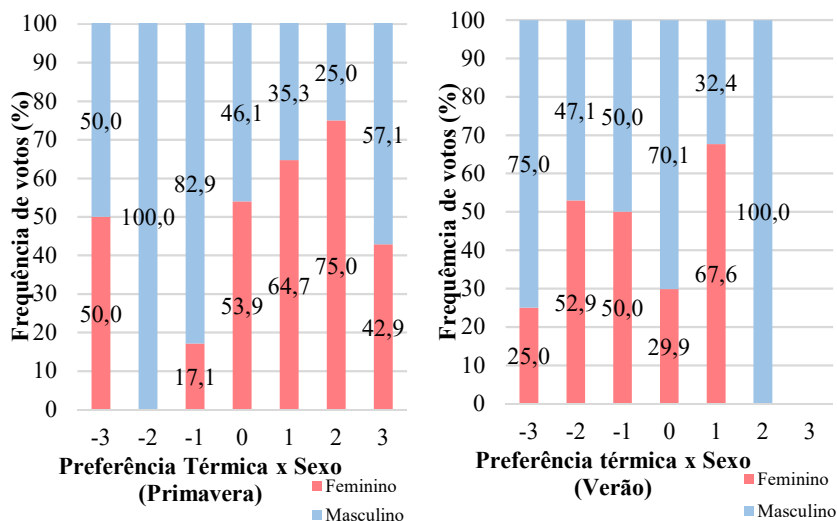
Fonte: Autor (2017).

Figura 63 - Correlação entre a escala de preferência térmica versus sexo – salas com ventilação de modo misto.



Fonte: Autor (2017).

Figura 64 - Correlação entre a escala de preferência térmica versus sexo – salas com ar-condicionado.



Fonte: Autor (2017).

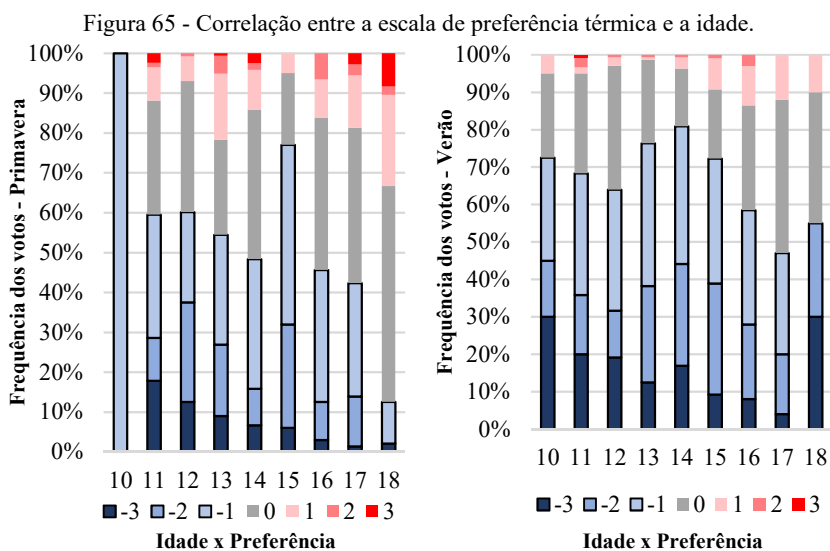
A Figura 62 apresenta a correlação entre a escala de preferência térmica versus o sexo dos alunos das salas com ventilação natural. Foi observado que, na estação de primavera, a maioria dos votos de alunos que prefeririam estar mais resfriados eram do sexo masculino. Notou-se um certo equilíbrio - na primavera - entre os votos dos alunos que estavam em estado neutro (52,5% do sexo masculino e 47,5% do sexo feminino). No verão (ver Figura 62), o sexo feminino apresentou estar mais satisfeito com o ambiente térmico de suas salas de aula, visto que 66,2% das mulheres estavam em estado neutro contra apenas 33,8% do sexo masculino. Assim como na primavera, na estação de verão o sexo masculino apresentou uma porcentagem maior na preferência por ambientes mais resfriados que o sexo feminino, que por sua vez preferiu ambientes mais aquecidos. Estes resultados condizem com as pesquisas realizadas por Indraganti e Rao (2010) que apontaram que as mulheres se sentem mais “confortáveis” às temperaturas mais altas, enquanto homens se sentem “desconfortáveis” expostos às mesmas condições.

A Figura 63 apresenta a correlação entre a escala de preferência térmica versus o sexo dos alunos das salas com ventilação de modo misto. Na estação de primavera foi observado que a maioria dos votos de alunos que prefeririam estar mais resfriado era do sexo masculino; no verão também houve predominância dos votos masculinos. Em ambas as estações se observou um certo equilíbrio entre os votos dos alunos que estavam em estado neutro: na primavera 54,5% dos votos foram do sexo masculino e 45,5% do sexo feminino; no verão 44,1% dos votos foram do sexo masculino e 55,9% do sexo feminino. Durante o verão as alunas apresentaram a preferência por ambientes mais aquecidos e os alunos por ambientes mais resfriados.

A Figura 64 apresenta a correlação entre a escala de preferência térmica versus o sexo dos alunos das salas com ar-condicionado. Durante a primavera a maioria dos alunos do sexo masculino prefeririam estar mais resfriados e a maioria das alunas prefeririam estar mais aquecidas. No verão a predominância dos votos de alunos que prefeririam estar mais resfriados era do sexo masculino. Ainda que as temperaturas internas fossem superiores às encontradas na primavera, as alunas apresentaram a preferência por um ambiente um pouco mais aquecido e uma pequena parcela dos votos masculinos também apresentou essa preferência.

Quando analisados os votos dos alunos que estavam em estado neutro (ver Figura 64), foi observado que: na primavera 53,9% dos votos foram do sexo feminino e 46,1% do sexo masculino; no verão 70,1% dos votos foram do sexo masculino e apenas 29,9% do sexo feminino. É válido ressaltar que durante a primavera foi notado um certo equilíbrio entre os votos de alunos (ambos os sexos) que estavam neutros em relação à sua preferência térmica, com uma variação para mais ou para menos de 5%. Porém, no verão foi observado que as únicas salas que permaneceram com esse equilíbrio encontrado na primavera foram as salas com ventilação de modo misto; pois nas salas com ventilação natural as mulheres apresentaram estar mais satisfeitas com o ambiente térmico e nas salas com ar-condicionado os homens.

Quando correlacionados os votos de preferência térmica com a idade dos alunos (ver Figura 65), observou-se que durante a primavera, 100% dos votos dos alunos com 10 anos de idade preferiram um ambiente mais refrigerado; no verão essa porcentagem foi menor (70%). Na primavera, os alunos com 11 - 15 anos de idade preferiram estar mais resfriados (entre 50 - 80%) e os alunos com 16 - 18 anos de idade apresentaram uma faixa menor (entre 12 - 45%). Os alunos com 18 anos de idade foram os que apresentaram a maior porcentagem de preferência térmica para salas mais aquecidas (mais de 30% dos votos). No experimento de campo realizado no verão foi observado que mais de 48% dos alunos preferiram estar mais resfriados (em todas as faixas etárias). E menos de 15% dos alunos gostariam de um ambiente mais aquecido.



Fonte: Autor (2017).

4.1.3.3. *Velocidade do ar*

A análise da velocidade do ar deu-se através da seguinte pergunta: “*Como você avalia a velocidade do ar neste momento?*”.

A Tabela 16 foi desenvolvida para auxiliar nas análises dos dados obtidos, ressaltando a sensação e a aceitabilidade dos alunos com relação à velocidade do ar. As Figuras 66 a 71 apresentam, em forma de frequência, os votos reais da escala de sensação da velocidade do ar e aceitabilidade da velocidade do ar conforme os tipos de salas.

Tabela 16 - Escala de velocidade do ar.

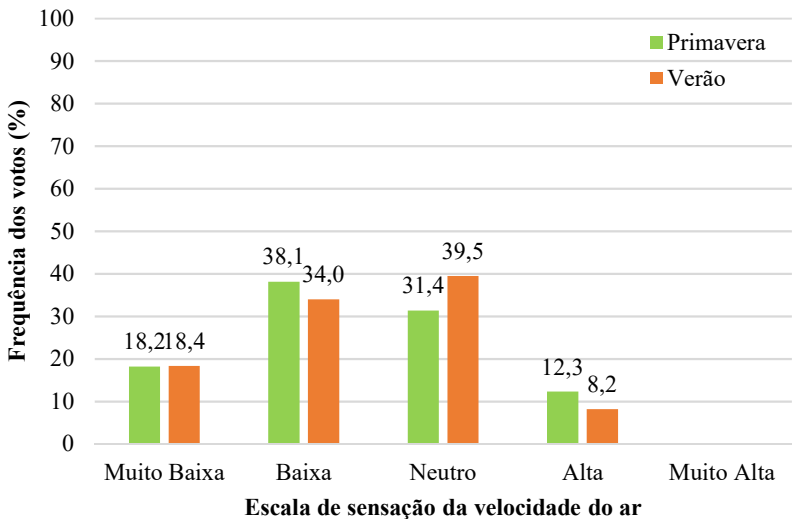
Inaceitável	Aceitável			Inaceitável
Muito baixa	Baixa	Neutro	Alta	Muito alta
-2	-1	0	+1	+2

Fonte: Autor (2017).

As Figuras 66 e 67 apresentam as porcentagens dos votos dos alunos com relação a sensação da velocidade do ar e aceitabilidade da velocidade do ar encontradas nas salas com ventilação natural. Os votos dos alunos que sentiram a velocidade do ar como “neutro” foram de 31,4% na primavera e 39,5% no verão (ver Figura 66). Em nenhuma das estações analisadas os alunos sentiram a velocidade do ar “muito alta”, pelo contrário, grande parte dos votos se concentrou entre “baixa” ou “muito baixa” (em ambas as estações). Apesar disso, é possível identificar que a maioria das amostras está concentrada nas três categorias tidas como aceitáveis (-1, 0 e 1). Quando correlacionados os votos de aceitabilidade da velocidade do ar, mais de 80% dos alunos avaliaram-na como aceitável nas estações analisadas. Menos de 20% avaliaram-na como inaceitável, devido ao fato da velocidade do ar estar muito baixa, tanto na estação de primavera quanto na estação de verão (ver Figura 67).

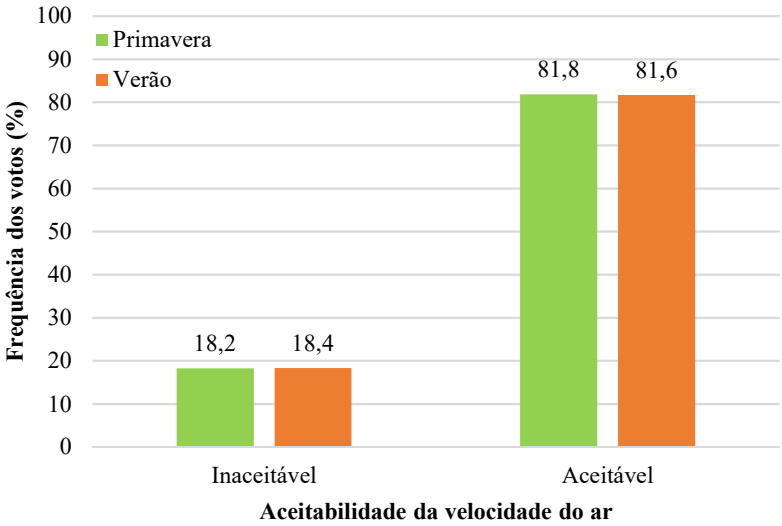
Com isso é possível afirmar que a utilização de sistemas construtivos que permitem a ventilação natural cruzada (como é o caso das salas analisadas), quando bem implantados, gera trocas constantes do ar dentro do ambiente, tornando-o aceitável por seus usuários e auxiliando na redução do consumo energético.

Figura 66 - Escala de sensação da velocidade do ar das salas com ventilação natural.



Fonte: Autor (2017).

Figura 67 - Escala de aceitabilidade da velocidade do ar das salas com ventilação natural.



Fonte: Autor (2017).

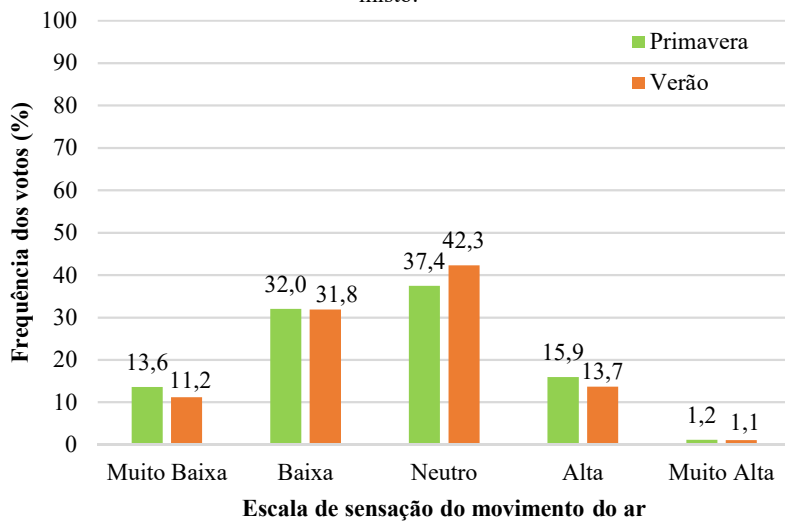
A porcentagem de alunos que indicaram sensações de velocidade do ar de “neutro” nas salas com ventilação de modo misto representou 37,4% na estação de primavera e 42,3% no verão (ver Figura 68). O percentual de participantes que relataram estar neutros durante a pesquisa nas salas com ventilação de modo misto foi levemente maior que o observado nas salas com ventilação natural. Mais de 40% dos alunos votaram que a sensação da velocidade do ar estava “muito baixa” e “baixa” em ambas as estações. É possível identificar que a maioria dos votos estão concentrados nas três categorias tidas como aceitáveis (-1, 0 e 1).

Quando correlacionados os votos dos usuários com a aceitabilidade da velocidade do ar das salas com ventilação de modo misto (ver Figura 69), mais de 85% dos alunos avaliaram-na como aceitável nas estações analisadas. Menos de 15% avaliaram-na como inaceitável, devido ao fato da velocidade do ar estar muito baixa ou muito alta, tanto na primavera quanto no verão. Resultados semelhantes foram encontrados em um estudo realizado em salas de aula em clima quente e úmido (CÂNDIDO et. al., 2010).

As salas com ar-condicionado apresentaram o maior percentual de aceitação entre os alunos da pesquisa (ver Figura 71). Mais de 90% dos alunos avaliaram-na como aceitável nas estações analisadas. Menos de 10% avaliaram-na como inaceitável, devido à velocidade do ar estar muito baixa ou muito alta, tanto na primavera quanto no verão.

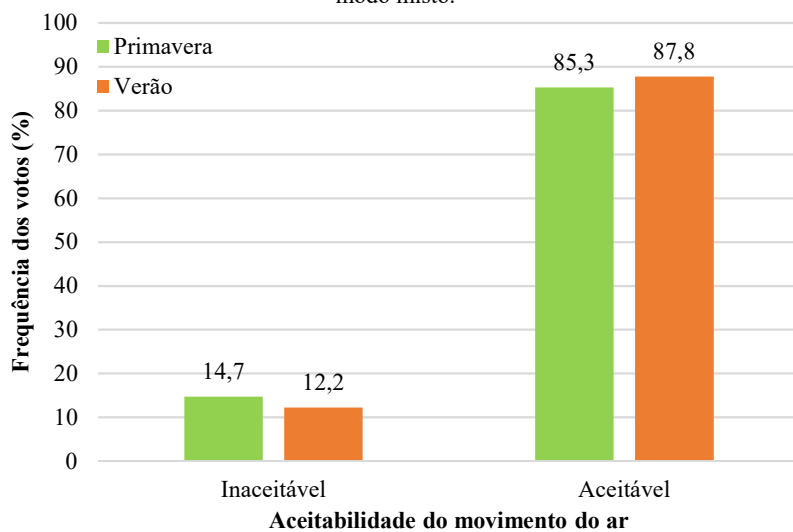
Conforme a Figura 70, constatou-se uma frequência maior nos votos considerados como “neutros” (57,1% na primavera e 49,5% no verão). Menos de 8% dos alunos votaram que a sensação da velocidade do ar estava “muito baixa” ou “muito alta”, em ambas as estações. Assim como nas outras salas, a maioria dos votos estão concentrados nas três categorias tidas como aceitáveis (-1, 0 e 1).

Figura 68 - Escala de sensação da velocidade do ar das salas com ventilação de modo misto.



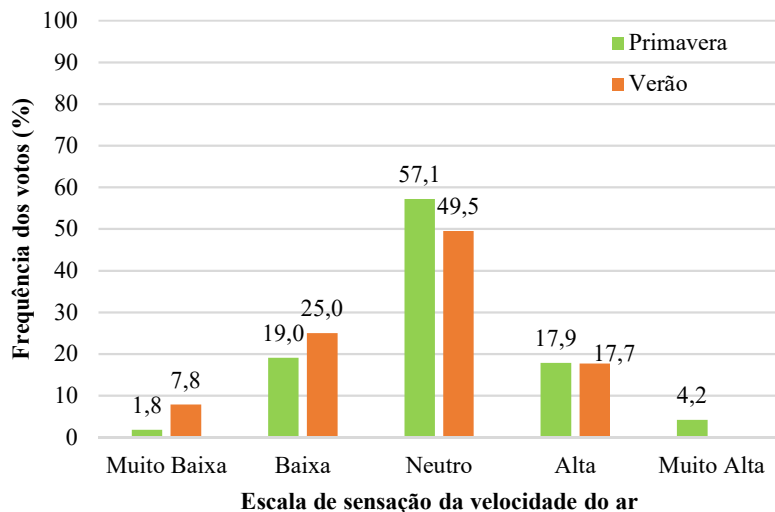
Fonte: Autor (2017).

Figura 69 - Escala de aceitabilidade da velocidade do ar das salas com ventilação de modo misto.



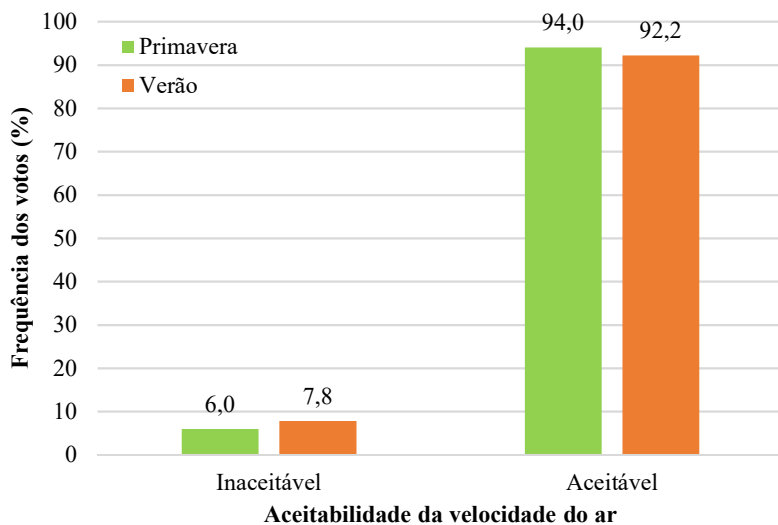
Fonte: Autor (2017).

Figura 70 - Escala de sensação do movimento do ar das salas com ar-condicionado.



Fonte: Autor (2017).

Figura 71 - Escala de aceitabilidade do movimento do ar das salas com ar-condicionado.



Fonte: Autor (2017).

Sendo assim a Tabela 17 apresenta a comparação entre as porcentagens dos votos neutros encontrados nas salas analisadas. É interessante notar que apesar do percentual de aceitação da velocidade do ar ser maior que 80% (em todas as salas), menos de 60% dos usuários estavam neutros em relação à sensação da velocidade do ar. Esses resultados demonstram a importância da velocidade do ar para o usuário alcançar o conforto térmico.

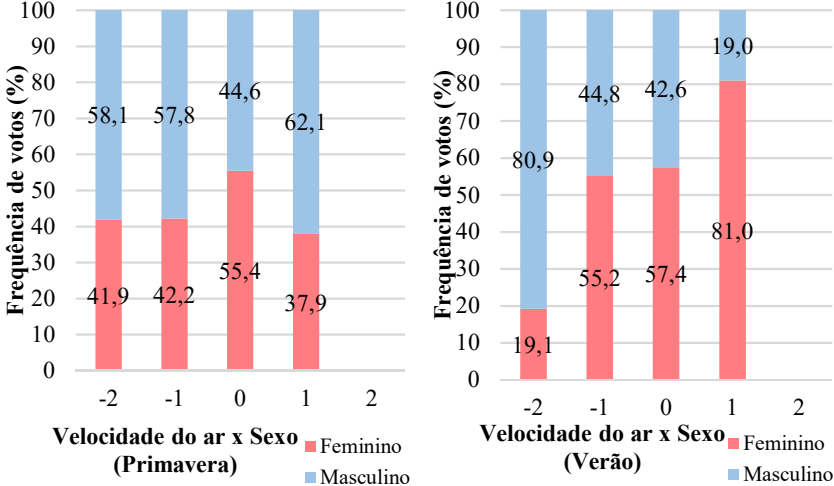
Tabela 17 Porcentagem de votos neutros conforme o tipo de sala.

Salas	Voto neutro (0)	
	Primavera (%)	Verão (%)
Ventilação natural	31,4	39,5
Ventilação de modo misto	37,4	42,3
Ar-condicionado	57,1	49,5

Fonte: Autor (2017).

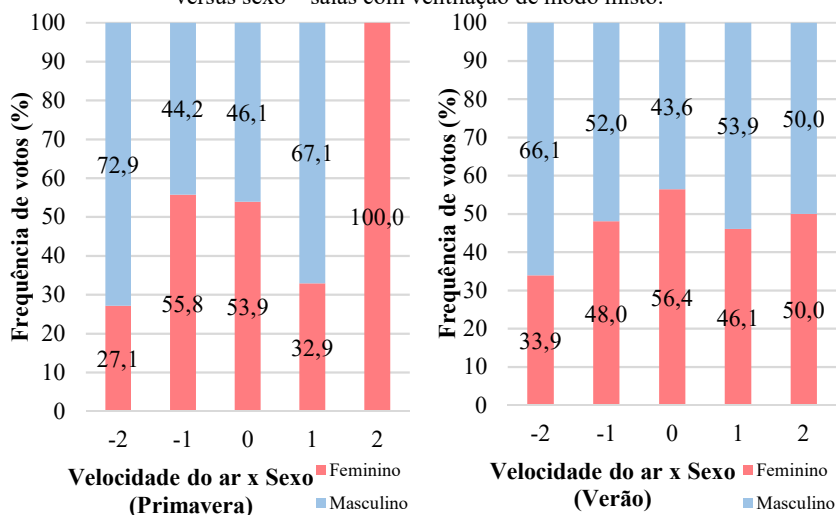
As Figuras 72 a 74 apresentam as correlações entre os votos da escala de sensação da velocidade do ar com o sexo dos alunos, conforme os tipos de salas analisadas e estações.

Figura 72 - Correlação entre a escala de sensação da velocidade do ar versus sexo – salas com ventilação natural.



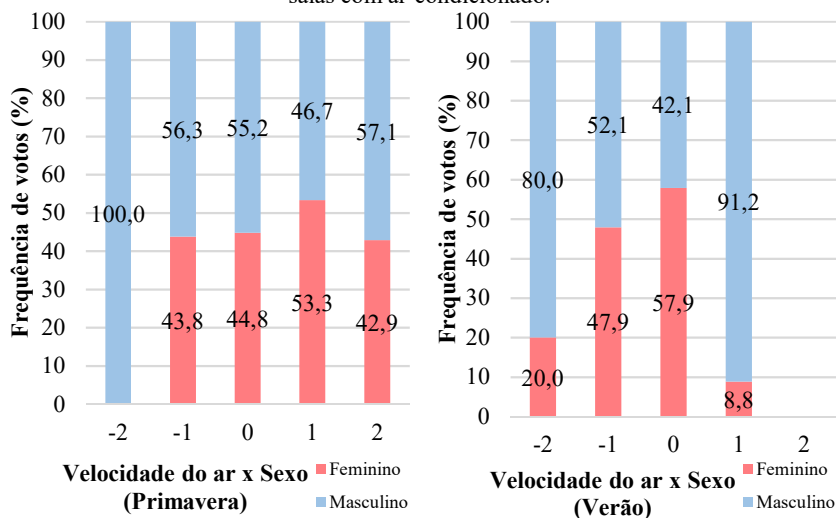
Fonte: Autor (2017).

Figura 73 - Figura 73 – Correlação entre a escala de sensação de velocidade do ar versus sexo – salas com ventilação de modo misto.



Fonte: Autor (2017).

Figura 74 - Correlação entre a escala de sensação de velocidade do ar versus sexo – salas com ar-condicionado.



Fonte: Autor (2017).

A Figura 72 apresenta a correlação entre a escala de velocidade do ar versus o sexo dos alunos das salas com ventilação natural. Em ambas as estações não houve votos de alunos sentindo a velocidade do ar “muito alta”. Durante a primavera mais de 55% dos alunos do sexo masculino acharam a velocidade do ar “baixa” e “muito baixa”, provavelmente porque a média da velocidade do ar nas salas com ventilação natural foi a menor encontrada (0,12 m/s). As alunas, por sua vez, foram as que apresentaram a maior porcentagem de votos de sensação “neutra” (55,4%). No verão a predominância dos votos de alunos que sentiram a velocidade do ar “muito baixa” era do sexo masculino (80,9%) e mais de 81% dos votos de sensação da velocidade do ar “alta” eram do sexo feminino. Assim como na primavera, mais de 55% dos votos de sensação “neutra” coletados no verão foram do sexo feminino.

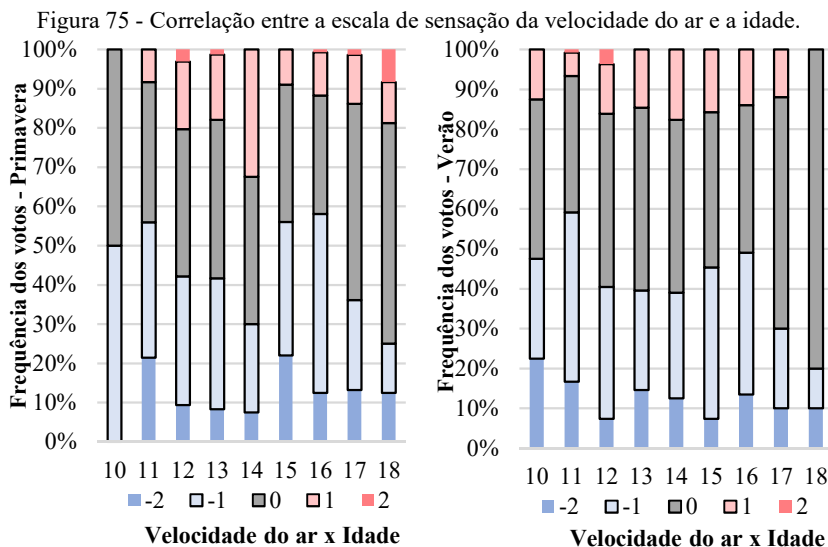
A Figura 73 apresenta a correlação entre a escala de sensação da velocidade do ar versus o sexo dos alunos das salas com ventilação de modo misto. Em ambas as estações as salas com ventilação de modo misto - por operarem com ventilação natural e mecânica simultaneamente - obtiveram as máximas velocidades do ar coletadas (0,65 m/s na primavera e 0,95 m/s no verão). Com isso, houve votos de sensação da velocidade do ar “muito alta”. Na primavera, os votos de alunos que sentiram a velocidade do ar “muito alta” eram do sexo feminino (100%) e os que sentiram a velocidade “muito baixa” eram do sexo masculino (72,9%). No verão a predominância dos votos de alunos que sentiram a velocidade do ar “muito baixa” e “baixa” era do sexo masculino (66,1% e 52%, respectivamente). Quando analisados os votos de sensação “neutra”, mais de 50% deles foram do sexo feminino, assim como nas salas ventiladas naturalmente. Foi observado que nas salas ventiladas de modo misto e naturalmente, o maior percentual dos indivíduos da pesquisa que estavam se sentindo neutros com relação à velocidade do ar era do sexo feminino. E os homens se mostraram mais sensíveis às baixas velocidades.

A Figura 74 apresenta a correlação entre a escala de sensação da velocidade do ar versus o sexo dos alunos das salas com ar-condicionado. Durante a primavera, observou-se que os homens se mostraram mais neutros - com relação à velocidade do ar - que as mulheres. Entretanto, no verão, cerca de 58% dos votos de sensação de velocidade do ar “neutra” foram do sexo feminino. Em ambas as estações, observou-se que os alunos se mostraram mais sensíveis às baixas velocidades do ar, pois a predominância dos votos de alunos que sentiram a velocidade do ar “muito baixa” era do sexo masculino (100% na primavera e 80% no verão). Foi observado durante a pesquisa de campo, em todas as salas de aula analisadas, que a maioria dos votos de sensação de velocidade do ar “muito baixa” era do sexo masculino. As salas com ar-condicionado apresentaram a velocidade do ar média de 0,27 m/s na primavera e 0,19 m/s no verão, sendo que na primavera a porcentagem de aceitação da velocidade do ar foi superior à observada no verão (94% na primavera e 92,2% no verão).

Pode-se concluir que a velocidade do ar desempenha um papel importante na busca do conforto térmico dos usuários de uma edificação e que condições estacionárias (ambientes condicionados artificialmente) podem diminuir a velocidade do ar interno e interferir no conforto dos seus usuários.

Quando correlacionados os votos da velocidade do ar com a idade dos alunos (ver Figura 75), observou-se que durante a primavera, 100% dos votos dos alunos com 10 anos de idade aceitaram a velocidade do ar presente em suas salas; no verão essa porcentagem foi menor (cerca de 80%). Na primavera, entre 75 - 90% dos alunos com 11 - 18 anos de idade aceitaram a velocidade do ar, pois a maioria dos votos estão concentrados nas três categorias tidas como aceitáveis (-1, 0 e 1). No experimento de campo realizado no verão foi observado que os alunos com 10 anos de idade apresentaram a menor porcentagem de aceitação com relação à velocidade do ar (cerca de 80%) enquanto que a aceitação dos alunos com 11 - 18 anos de idade foi superior a 80%. É válido ressaltar que durante o verão, apesar das temperaturas internas serem superiores às coletadas na

primavera, a porcentagem de votos concentrados nas três categorias tidas como aceitáveis (-1, 0 e 1) é superior à observada na primavera.



Fonte: Autor (2017).

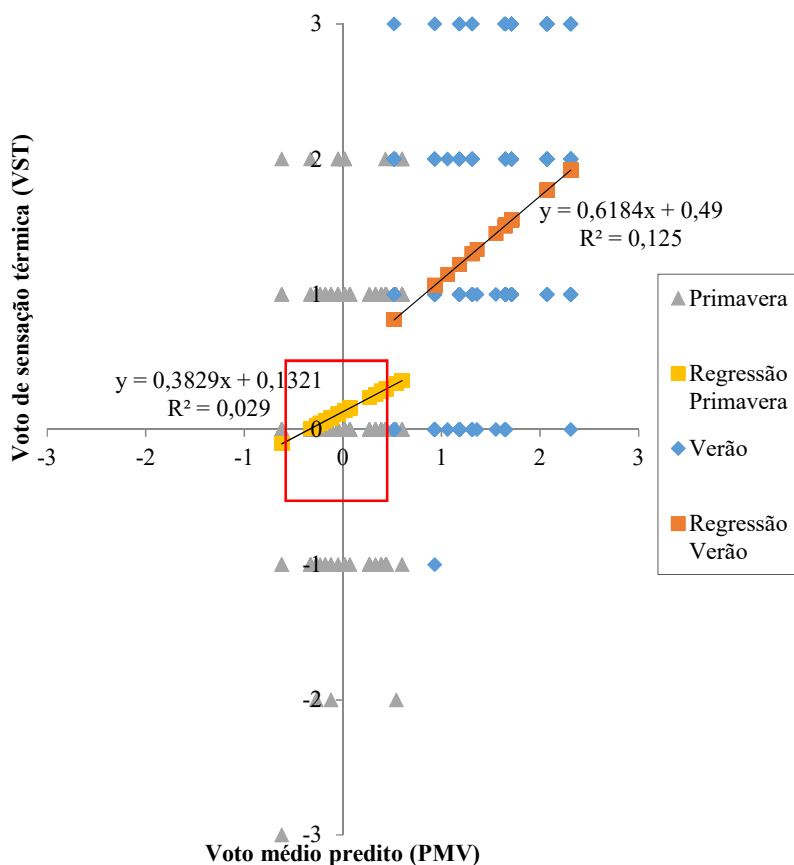
4.2. APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE CONFORTO TÉRMICO

4.2.1. Método estático

Através de regressões lineares foram desenvolvidas as Figuras 76 a 78 com intuito de apresentarem as correlações entre os votos de sensação térmica reais (VST_{REAL}) com os votos médios preditos (PMV) para encontrar quais salas estavam na zona de conforto. O VST_{REAL} foi obtido através dos questionários e o índice PMV foi calculado individualmente a partir do modelo estático proposto pela norma ISO 7730 (2005), de acordo com os dados coletados nos três tipos de salas investigadas. O retângulo vermelho delimitado na figura representa a faixa ideal de conforto regulamentada pela norma em questão com intervalo entre $\pm 0,5$ do índice PMV para um percentual de pessoas insatisfeitas de 10%.

Nas salas com ventilação natural (ver Figura 76) foi observado que durante a primavera os valores nas regressão entre os votos coletados e o índice PMV calculado estão concentrados no eixo central, dentro do intervalo ($\pm 0,5$) indicado pela norma ISO 7730; diferentemente dos valores obtidos através da regressão do verão, que estão concentrados no eixo de usuários “com calor” (+1 a +3).

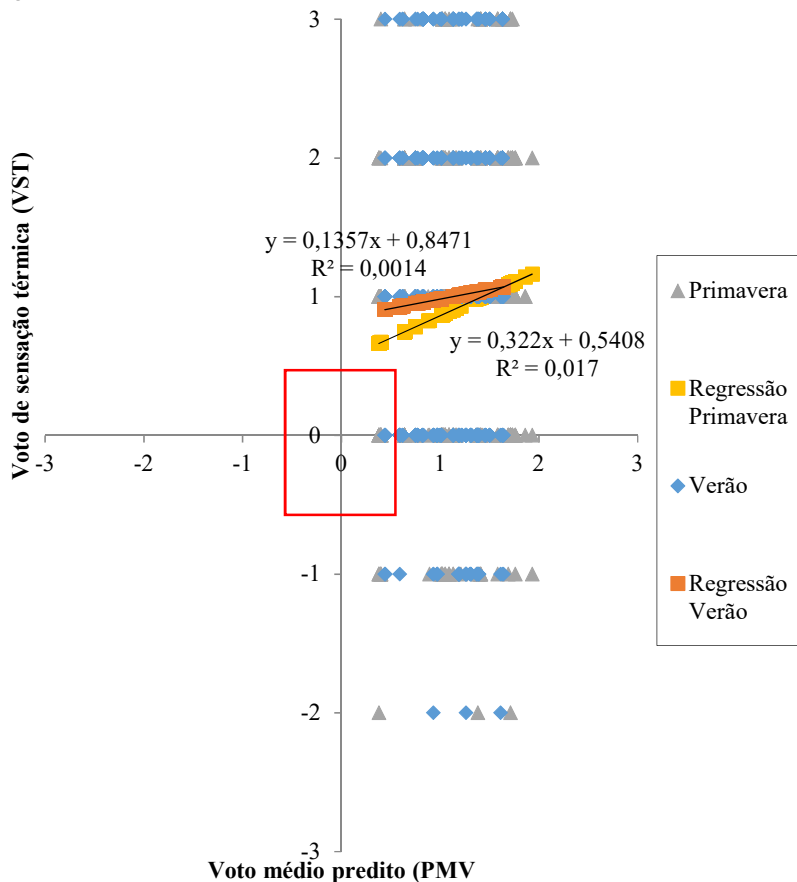
Figura 76 - Correlação entre o VST e o PMV – salas com ventilação natural.



Fonte: Autor (2017).

Nas salas com ventilação de modo misto (ver Figura 77) foi observado que os valores da regressão entre os votos coletados e o índice PMV calculado em ambas as estações estavam fora do intervalo ($\pm 0,5$) indicado pela norma ISO 7730, pois os votos estavam concentrados no eixo de usuários “com calor” (0 a +2).

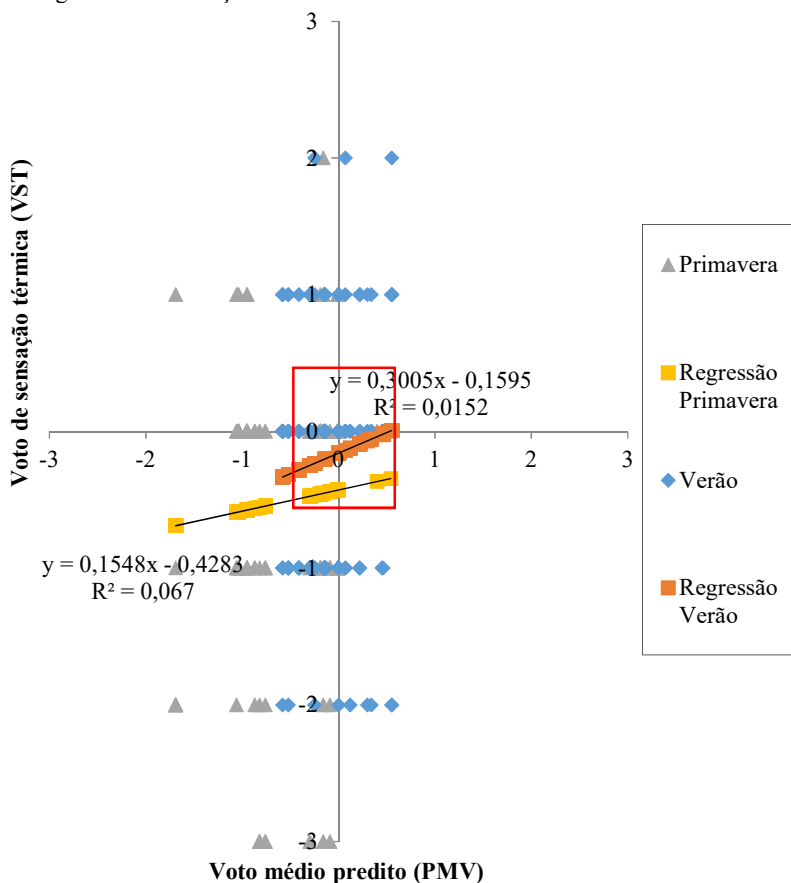
Figura 77 - Correlação entre o VST e o PMV – salas com ventilação de modo misto.



Fonte: Autor (2017).

Nas salas com ar-condicionado (ver Figura 78) foi observado que os valores da regressão entre os votos coletados e o índice PMV calculado durante a primavera estavam concentrados no eixo de usuários “com frio” (-2 a +1). Entretanto, durante o verão os valores da regressão obtida estavam concentrados no eixo central, dentro do intervalo ($\pm 0,5$) indicado pela norma ISO 7730.

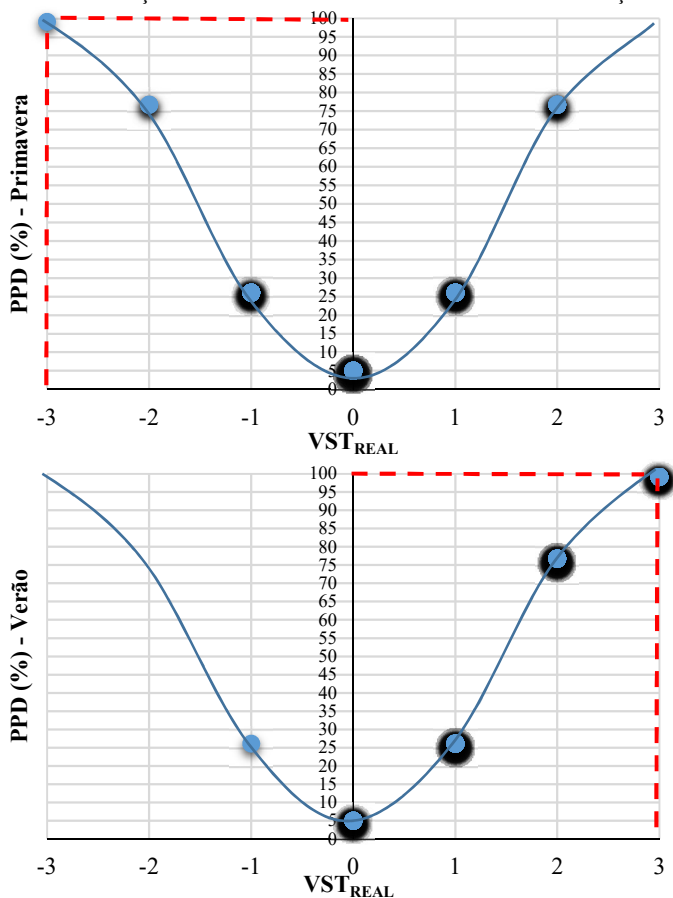
Figura 78 - Correlação entre o VST e o PMV – salas com ar-condicionado.



Fonte: Autor (2017).

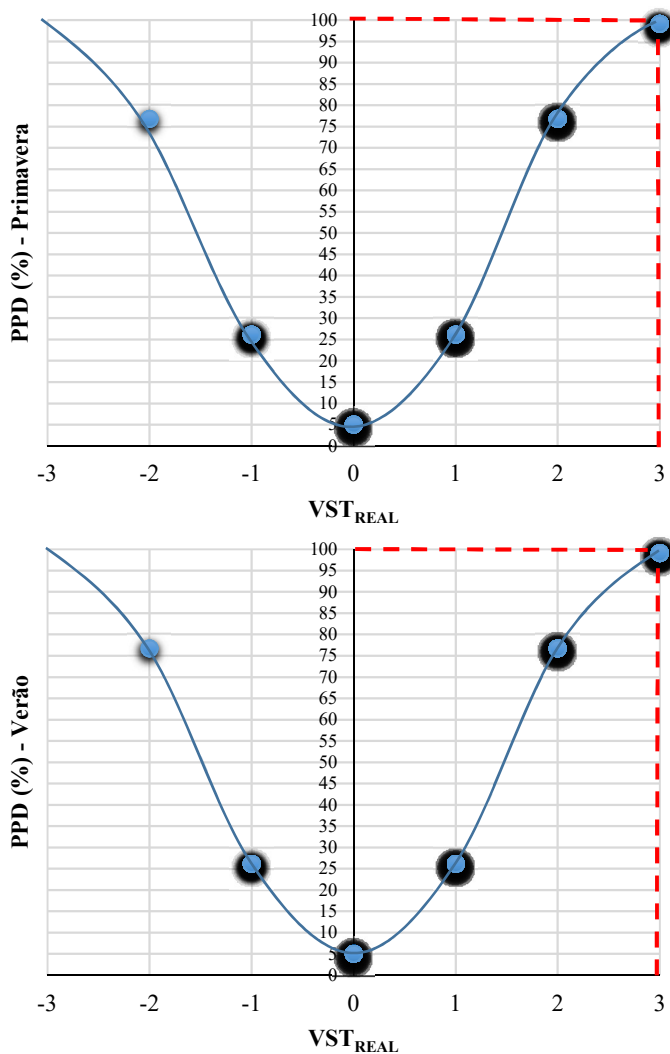
As Figuras 79 a 81 apresentam as correlações entre o percentual de pessoas insatisfeitas (PPD) e os votos de sensação térmica reais (VST_{REAL}), de acordo com os dados coletados nos três tipos de salas investigadas. Os pontos em azul representam os votos de sensação térmica reais dos alunos, os pontos em azul sombreado representam onde a concentração da maioria dos votos e as linhas tracejadas em vermelho representam o percentual máximo de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico de suas salas de aula.

Figura 79 - Correlação entre o PPD e o VST_{REAL} – Salas com ventilação natural.



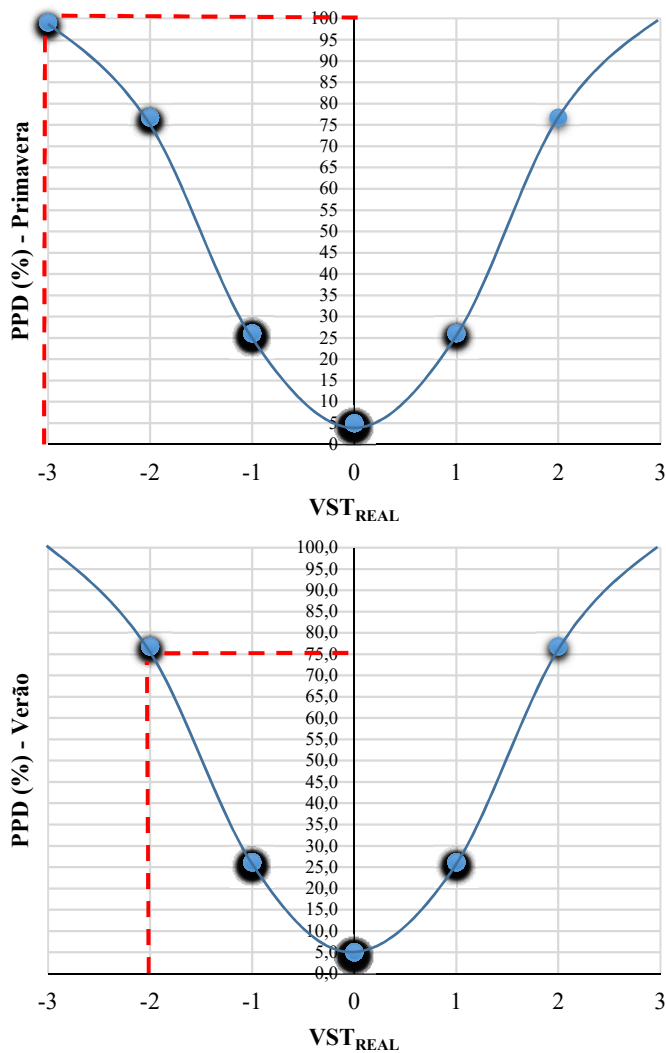
Fonte: Autor (2017).

Figura 80 - Correlação entre o PPD e o VST_{REAL} – Salas com ventilação de modo misto.



Fonte: Autor (2017).

Figura 81 -- Correlação entre o PPD e o VST_{REAL} – Salas com ar-condicionado.



Fonte: Autor (2017).

O percentual máximo de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico das salas com ventilação natural foi de 100% (ver Figura 79), em ambas as estações. Durante a primavera, a maior concentração dos votos de sensação térmica (VST_{REAL}) deu-se entre os votos de -1 a +1, com isso, o percentual de pessoas insatisfeitas encontrado para votos variando entre ± 1 foi de até 25%. No verão a maior concentração ocorreu entre os votos de 0 a +2 e a variação do percentual alcançado de pessoas insatisfeitas foi entre 5 - 75%.

Nas salas com ventilação de modo misto, o percentual máximo de pessoas insatisfeitas foi de 100% (ver Figura 80), em ambas as estações. Nas duas estações analisadas, a maior concentração dos votos de sensação térmica reais deu-se entre os votos de -1 a +2, com isso, o percentual de pessoas insatisfeitas encontrado possuiu uma variação de 5 - 75%.

O percentual máximo de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico das salas com ar-condicionado foi de 100% na primavera e 75% no verão (ver Figura 81). Durante a primavera, a maior concentração dos votos de sensação térmica reais deu-se entre os votos de -1 a 0, com isso, o percentual de pessoas insatisfeitas encontrado foi entre 5 - 25%. No verão a maior concentração ocorreu entre os votos de -1 a +1 e o percentual de pessoas insatisfeitas foi entre 5 - 25% assim como o observado durante a primavera.

Pode-se concluir, que as salas com ar-condicionado apresentaram em ambas as estações um ambiente térmico mais aceitável que os outros tipos de salas analisadas, porque a faixa de variação de percentual de pessoas insatisfeitas foi inferior que o observado nas demais.

Como os votos de sensação térmica foram abertamente declarados pelos alunos das salas de aula e não preditos como os demais índices, estes foram considerados como os votos de sensação térmica reais. O índice PMV foi calculado através das metodologias de análise de conforto térmico em ambientes internos. Sendo assim, cada índice calculado teve seu resultado comparado com os valores do VST_{REAL} conforme a estação analisada (ver Tabelas 18 e 19).

Foram realizados os testes de normalidade Shapiro-Wilk e T-Test nos índices calculados para identificar se o conjunto de dados da amostra seguem em distribuição normal. Como o p-value obtido nos testes foi menor ou igual a 0,05 (5%), os dados da amostra não foram considerados em distribuição normal.

Tabela 18 - Comparação entre as metodologias - Primavera.

Salas		Questionário	PMV -		PMV -	ANDREASI (2009)
			Comfort Tool		LADesys	
			ASHRAE	EN	ISO	
			VST _{REAL}	55 (2013)	15251 (2007)	
VN	Mín.	-3,00	-0,62	-0,57	-0,68	-0,74
	Méd.	0,17	0,10	0,06	-0,03	-0,24
	Máx.	2,00	0,60	0,60	0,60	0,31
	D. P.	0,81	0,36	0,38	0,42	0,36
VM	Mín.	-2,00	0,38	0,63	0,55	0,57
	Méd.	0,91	1,16	1,42	1,37	0,88
	Máx.	3,00	1,93	1,97	1,94	1,24
	D. P.	1,03	0,43	0,33	0,33	0,19
AC	Mín.	-3,00	-1,69	-1,82	-1,90	-3,71
	Méd.	-0,52	-0,58	-0,60	-0,66	-0,95
	Máx.	2,00	0,54	0,54	0,48	0,90
	D. P.	0,90	0,48	0,49	0,49	0,90
Legenda:		VN – Ventiladas naturalmente			Méd. – Média	
		VM – Ventiladas de modo misto			Máx. – Máxima	
		AC – Ar-condicionado			D. P. – Desvio padrão	
		Mín. – Mínima				

Fonte: Autor (2017).

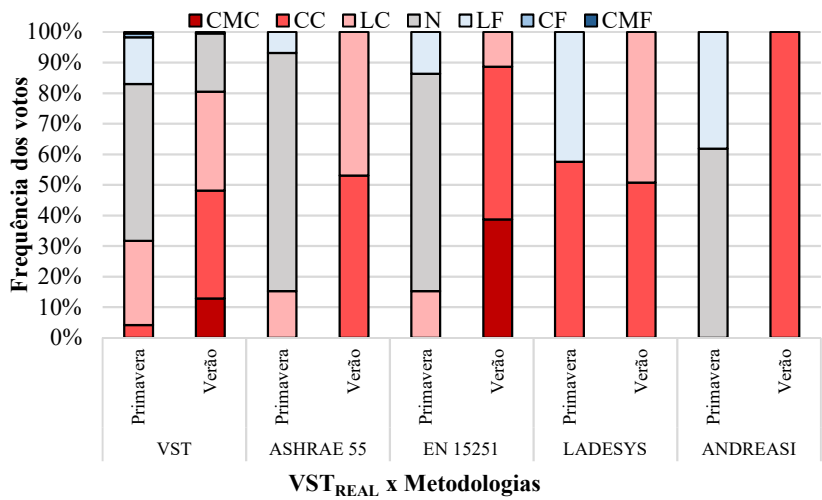
Tabela 19 - Comparação entre as metodologias - Verão.

Salas		Questionário	PMV -		PMV -	ANDREASI (2009)
			Comfort Tool		LADesys	
			ASHRAE	EN	ISO	
			VST _{REAL}	55 (2013)	15251 (2007)	7730 (2005)
VN	Mín.	-1,00	0,52	0,86	0,81	1,02
	Méd.	1,41	1,49	1,67	1,62	1,23
	Máx.	3,00	2,31	2,40	2,38	1,42
	D. P.	0,95	0,55	0,55	0,57	0,17
VM	Mín.	0,00	0,62	1,30	1,26	0,99
	Méd.	1,27	1,00	1,50	1,47	1,16
	Máx.	3,00	1,63	2,00	1,99	1,30
	D. P.	1,10	0,28	0,15	0,15	0,07
AC	Mín.	-2,00	-0,58	-0,57	-0,65	-0,38
	Méd.	-0,20	-0,13	-0,09	-0,15	0,54
	Máx.	2,00	0,55	0,56	0,56	2,21
	D. P.	0,80	0,33	0,35	0,37	0,60
Legenda:		VN – Ventiladas naturalmente			Méd. – Média	
		VM – Ventiladas de modo misto			Máx. – Máxima	
		AC – Ar-condicionado			D. P. – Desvio padrão	
		Mín. – Mínima				

Fonte: Autor (2017).

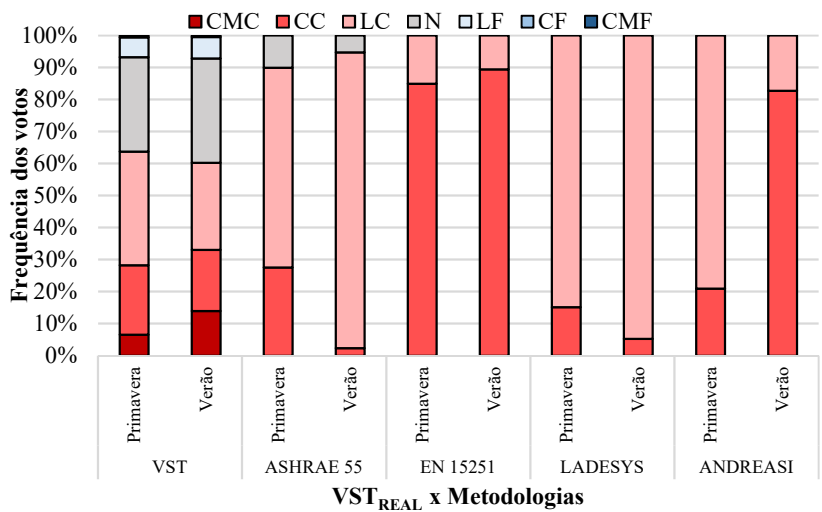
As Figuras 82 a 84 demonstram as correlações existentes entre os votos de sensação térmica reais com o índice PMV das metodologias e foram desenvolvidas com o auxílio das tabelas do Apêndice B.

Figura 82 - Comparação entre o VST_{REAL} com o índice PMV das metodologias – Salas com ventilação natural.



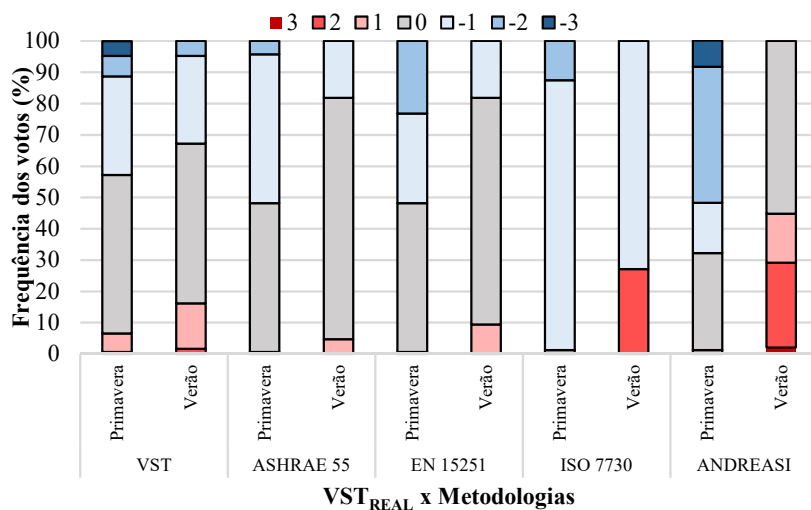
Fonte: Autor (2017).

Figura 83 - Comparação entre o VST_{REAL} com o índice PMV das metodologias – Salas com ventilação de modo misto.



Fonte: Autor (2017).

Figura 84 - Comparação entre o VST_{REAL} com o índice PMV das metodologias – Salas com ar-condicionado.



Fonte: Autor (2017).

De todos os índices analisados para as salas com ventilação natural (ver Figura 82), os índices calculados conforme a ASHRAE 55 (2013), EN 15251(2007) e $VST_{ANDREASI}$ (2009) superestimaram (5,9%) os votos tidos como aceitáveis (-1, 0 e +1) do VST_{REAL} durante a primavera, porém foram os índices que apresentaram os melhores desempenhos em comparação com a ISO 7730 (2005). Entretanto, no verão, a ISO 7730 foi a que apresentou o melhor desempenho em relação aos outros, pois subestimou (2,7%) o VST_{REAL} , enquanto os outros subestimaram entre 5 - 51,9% os votos reais.

Nas salas com ventilação de modo misto (ver Figura 83), durante a primavera, os índices calculados conforme a ASHRAE 55 (2013), ISO 7730 (2005) e $VST_{ANDREASI}$ (2009) superestimaram (1,3%, 13,7% e 7,9%, respectivamente) os votos tidos como aceitáveis (-1, 0 e +1) do VST_{REAL} . Porém, apesar de superestimar em 1,3% o VST_{REAL} , a ASHRAE 55 foi a que apresentou a melhor performance entre os índices, por apresentar proximidade ao resultado encontrado nos votos reais. E a EN 15251 foi a que apresentou o pior desempenho, pois

subestimou em 56,1% o VST_{REAL} . No verão, a ISO 7730 foi a que apresentou o melhor desempenho em relação aos outros, pois superestimou (28,3%) o VST_{REAL} , enquanto os outros subestimaram ou superestimaram em até 55,9% os votos reais.

De todos os índices analisados para as salas com ar-condicionado (ver Figura 84), a ISO 7730 subestimou (0,6%) os votos tidos como aceitáveis (-1, 0 e +1) do VST_{REAL} , porém, foi a que apresentou o melhor desempenho durante a primavera em relação aos outros índices que também subestimaram (EN 15251 com 11,3% e o $VST_{ANDREASI}$ com 38,8%) os votos reais. O índice calculado conforme a ASHRAE 55 (2013) foi o único que superestimou (7,7%) o VST_{REAL} . No verão, a ASHRAE 55 e EN 15251 foram os índices que apresentaram a melhor performance, pois superestimaram (6,3%) os votos tidos como aceitáveis (-1, 0 e +1) do VST_{REAL} , enquanto os outros subestimaram entre 20,8 - 22,9% os votos reais.

Um dos objetivos específicos dessa dissertação foi a avaliação dos modelos de conforto térmico existentes e análise dos mesmos, para verificar se são aplicáveis em salas de aula com crianças e adolescentes. Mediante análise do método estático, verificou-se que o índice PMV (calculado conforme as metodologias analisadas) não são 100% precisos, mas em muitos casos houve proximidade dos votos reais dos alunos, ainda que o índice PMV superestimasse ou subestimasse o VST_{REAL} .

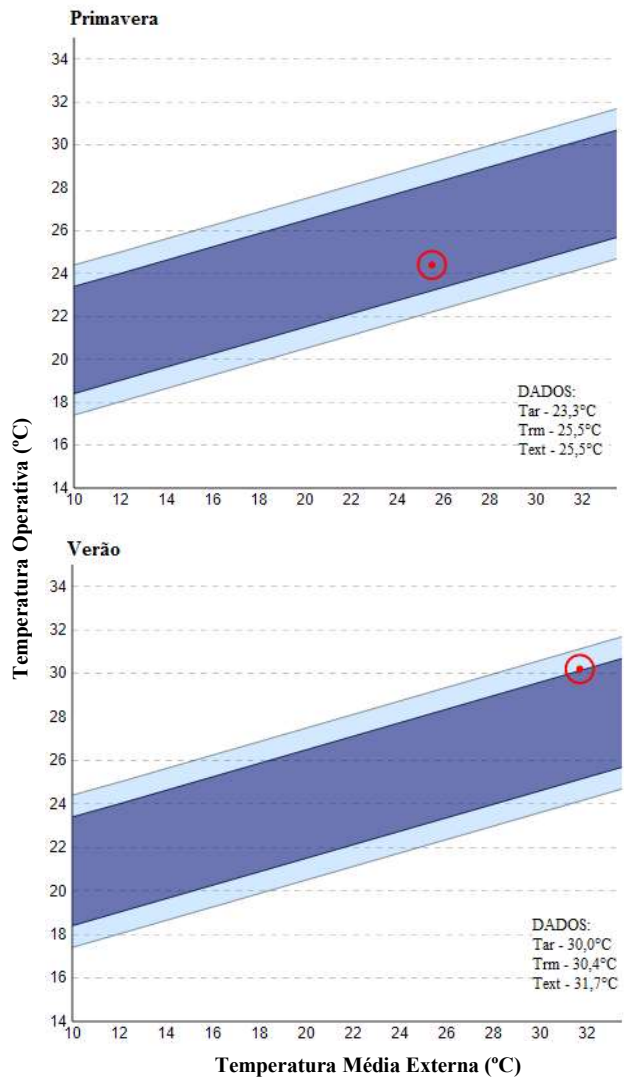
Dos índices analisados para as salas com ventilação natural, os que apresentaram a melhor precisão durante a primavera foram ASHRAE 55, EN 15251 e o $VST_{ANDREASI}$; e durante o verão, somente a ISO 7730. Nas salas com ventilação de modo misto, durante a primavera, o índice calculado pela ASHRAE 55 (2013) apresentou a melhor precisão, enquanto no verão, o calculado pela ISO 7730 (2005) apresentou a melhor precisão para este tipo de sala. Por fim, nas salas com ar-condicionado, o índice calculado pela ISO 7730 (2005) apresentou a melhor precisão durante a primavera e durante o verão foram os calculados pela ASHRAE 55 (2013) e EN 15251 (2007).

4.2.2. Método adaptativo

O método adaptativo proposto pela ASHRAE 55 (2013) é aplicável somente em espaços ventilados naturalmente, controlados por seus ocupantes e que atendam aos seguintes critérios: (a) não existir sistema de resfriamento mecânico e/ou sistema de aquecimento em operação; (b) as taxas metabólicas devem variar entre 1,0 a 1,3 met; e (c) os ocupantes terem a autonomia para adaptar suas roupas às condições térmicas internas e/ou externas dentro de uma faixa de 0,5 a 1,0 clo. Dos critérios exigidos para a análise através do método adaptativo, todas as salas de aula do estudo de campo atendem aos itens b e c, porém, somente as salas com ventilação natural se enquadram ao item a.

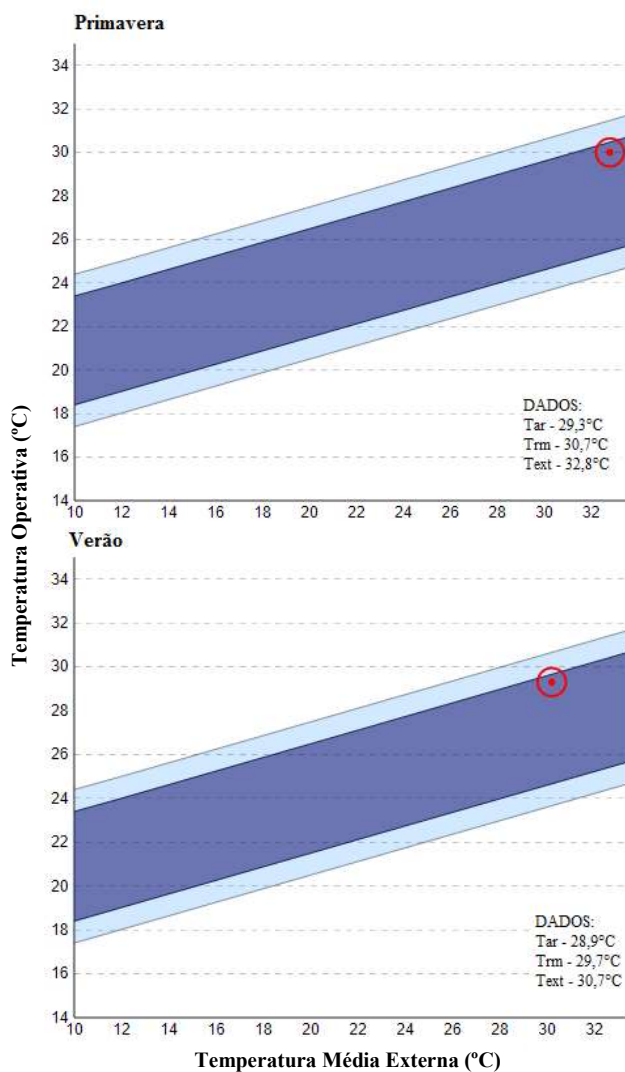
Para uma análise empírica, com o objetivo de se chegar a novas conclusões, aplicou-se o método adaptativo proposto pela ASHRAE 55 (2013) também nas salas com sistemas de ventilação de modo misto e com ar-condicionado. Através da ferramenta Comfort Tool foi obtida a performance das salas de aula analisadas com base no modelo adaptativo proposto pela ASHRAE 55 (ver Figuras 85 a 87).

Figura 85 - Modelo adaptativo conforme a ASHRAE 55 – Salas com ventilação natural.



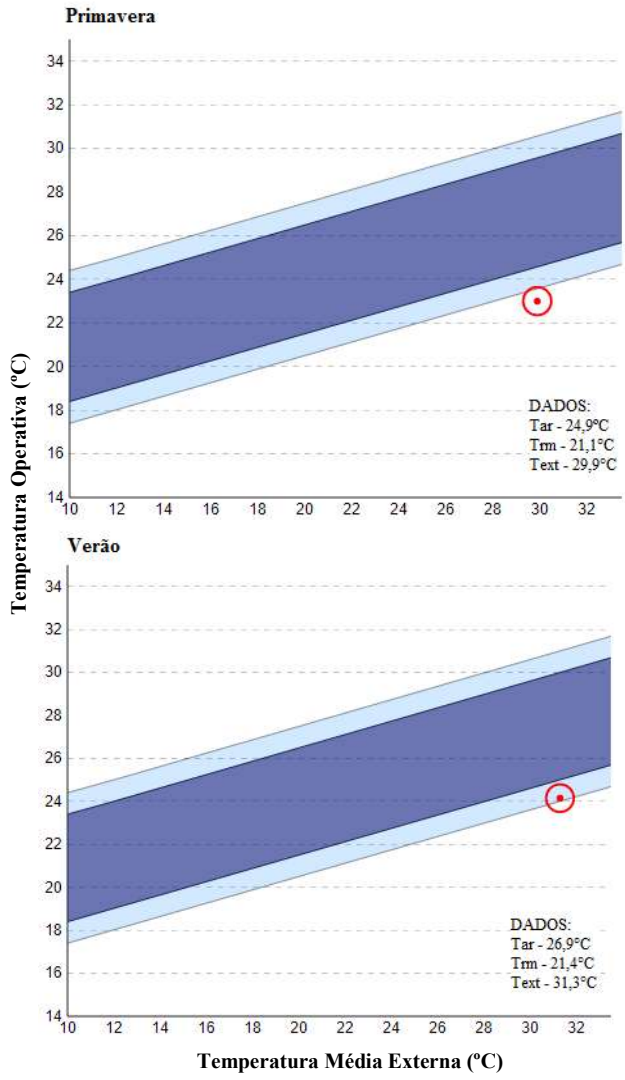
Fonte: Figura obtida pela ferramenta Comfort Tool, adaptada pelo autor (2017).

Figura 86 - Modelo adaptativo conforme a ASHRAE 55 – Salas com ventilação de modo misto.



Fonte: Figura obtida pela ferramenta Comfort Tool, adaptada pelo autor (2017).

Figura 87 - Modelo adaptativo conforme a ASHRAE 55 – Salas com ar-condicionado.



Fonte: Figura obtida pela ferramenta Comfort Tool, adaptada pelo autor (2017).

Observou-se que as salas com ventilação natural estão de acordo com o modelo adaptativo proposto pela norma em ambas as estações (ver Figura 85). O ponto em vermelho significa a sala analisada e as faixas em azul claro e azul escuro são os níveis de aceitabilidade térmica de cada sala (80% e 90%, respectivamente). Durante a estação de primavera as salas com ventilação natural ficaram na faixa de aceitabilidade térmica de 90% e durante o verão essa faixa diminuiu para 80%. Apesar da mudança de faixa de aceitabilidade térmica, as condições internas encontradas nas salas estavam dentro do limite aceitável pela norma da ASHRAE 55 (2013).

As salas com ventilação de modo misto (ver Figura 86) ficaram dentro da faixa de aceitabilidade térmica de 90%, em ambas as estações analisadas, ou seja, as condições internas encontradas nas salas estavam dentro do limite aceitável pela norma da ASHRAE 55 (2013). Dessa forma, o modelo proposto pela norma da ASHRAE 55 foi capaz de analisar não apenas salas com ventilação natural, mas também salas com ventilação de modo misto inseridas no contexto climático tropical úmido.

Quando analisadas as salas com ar-condicionado (ver Figura 87), foi observado que apenas na estação de verão elas ficaram dentro da faixa de aceitabilidade térmica de 80% proposta pela norma da ASHRAE 55. Durante a primavera, as salas com condicionamento artificial não se enquadraram dentro dos limites aceitáveis pela ASHRAE 55.

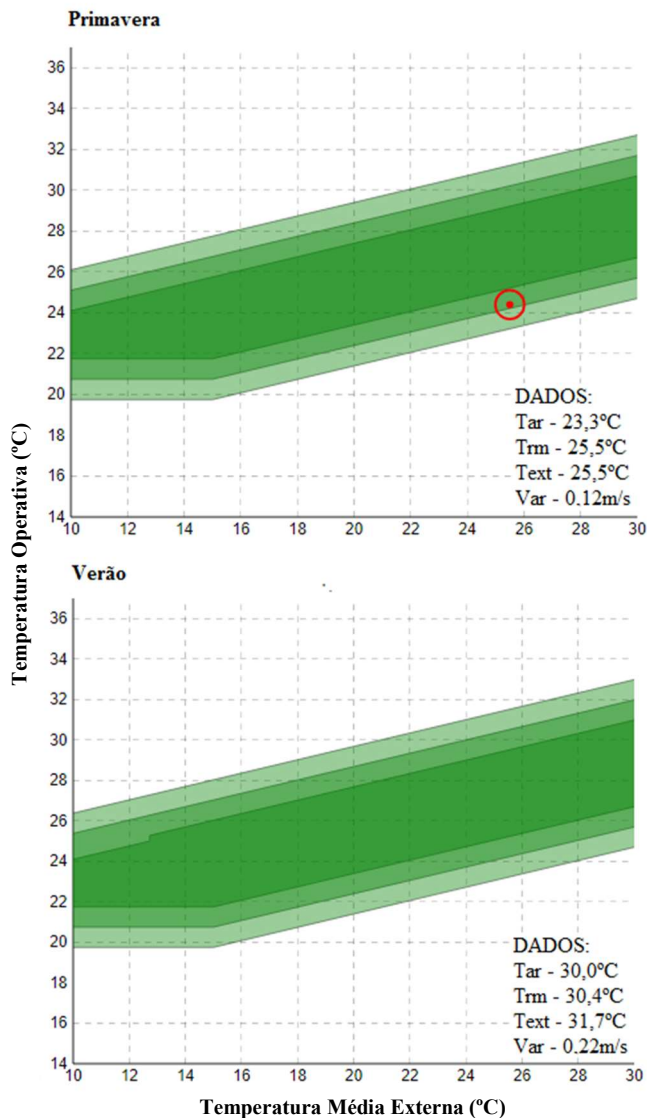
Assim como o proposto pela ASHRAE 55 (2013), o método adaptativo indicado pela EN 15251 (2007) é aplicável somente em edifícios sem sistemas de resfriamento mecânico, com janelas acessíveis e operáveis por seus usuários e possibilidade de adaptação da vestimenta dos mesmos.

Para análise através do método adaptativo proposto pela EN 15251 (2007), o ambiente analisado deve atender aos seguintes critérios: (a) não existir sistema de resfriamento ou aquecimento mecânico em operação; (b) as taxas metabólicas devem variar entre 1,0

a 1,3 met; e (c) os ocupantes devem ter autonomia para adaptar suas roupas às condições térmicas internas e/ou externas. Critérios semelhantes com os que são exigidos pela ASHRAE 55. Assim como a análise feita anteriormente, todas as salas de aula do estudo de campo atendem aos itens b e c, porém, somente as salas com ventilação natural se enquadram ao item a.

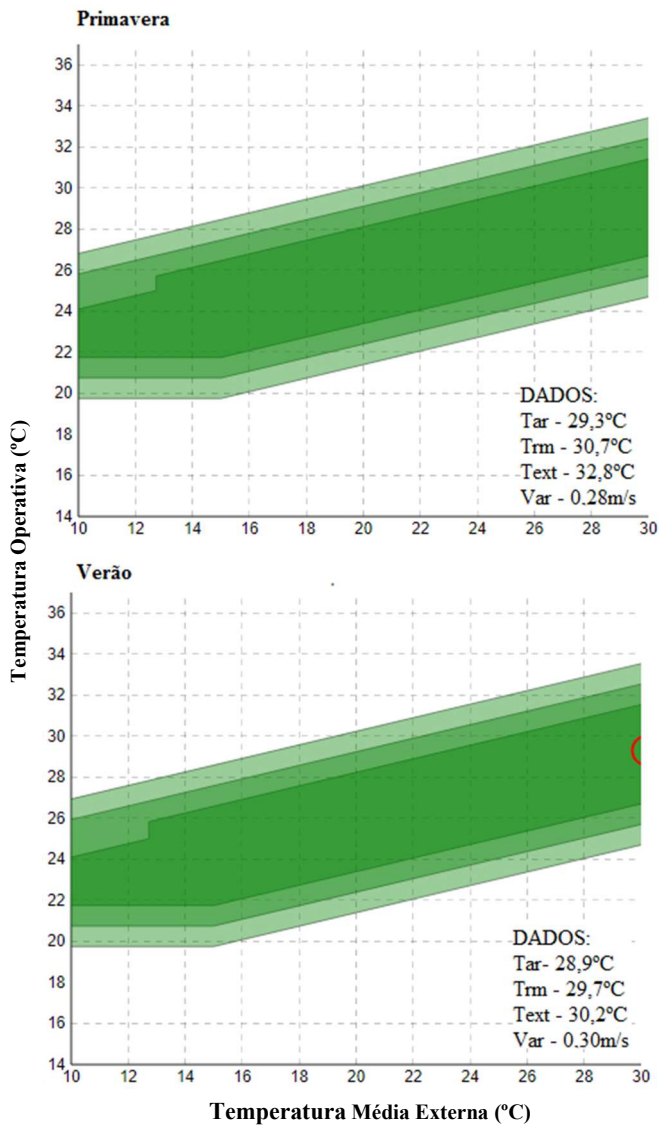
As Figuras 88 a 90 foram desenvolvidas com base no método adaptativo proposto pela norma europeia EN 15251. As faixas em verde claro, médio e escuro são os níveis de aceitabilidade térmica de cada sala (classe III, II e I respectivamente).

Figura 88 - Modelo adaptativo conforme a EN 15251 – Salas com ventilação natural.



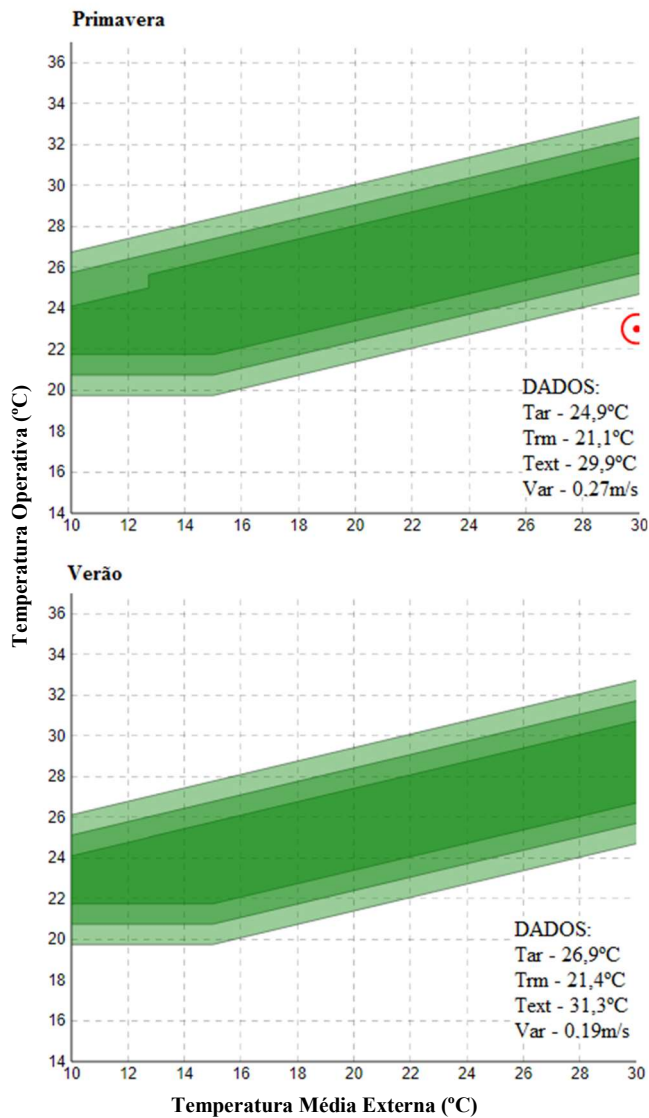
Fonte: Figura obtida pela ferramenta Comfort Tool, adaptada pelo autor (2017).

Figura 89 - Modelo adaptativo conforme a EN 15251 – Salas com ventilação de modo misto.



Fonte: Figura obtida pela ferramenta Comfort Tool, adaptada pelo autor (2017).

Figura 90 - Modelo adaptativo conforme a EN 15251 – Salas com ar-condicionado.



Fonte: Figura obtida pela ferramenta Comfort Tool, adaptada pelo autor (2017).

Foi observado que as salas com ventilação natural estão de acordo com o modelo adaptativo proposto pela norma europeia EN 15251 apenas durante a estação de primavera (ver Figura 88). As mesmas se enquadraram na classe II de aceitabilidade térmica proposta pela norma. Com temperaturas internas superiores às encontradas na estação de primavera, durante o verão, as salas com ventilação natural não se enquadraram nos limites aceitáveis pela norma europeia EN 15251.

Quando analisadas as salas com ventilação de modo misto (ver Figura 89), notou-se que, em ambas as estações, as mesmas não se enquadraram dentro das classes de aceitabilidade térmica propostas pela norma europeia EN 15251.

Assim como as salas com ventilação de modo misto, tanto na estação de primavera quanto na de verão as salas com ar-condicionado (ver Figura 90) não se enquadraram dentro das classes de aceitabilidade térmica propostas pelo modelo adaptativo da norma europeia EN 15251.

De todas as salas analisadas, somente durante a primavera as salas com ventilação natural se enquadraram em uma das classes (classe II) de aceitabilidade térmica proposta pela norma europeia; as demais salas não estavam de acordo com o modelo adaptativo da norma, por excederem às condições exigidas pela norma para a operação de um ambiente térmico tido como confortável para seus usuários; vale salientar que o modelo europeu foi desenvolvido para atender a demanda necessária das características climáticas da Europa, sendo este analisado no presente trabalho por carência de normas que atendam a demanda do Brasil.

Mediante essas informações, a Tabela 20 foi desenvolvida para visualização da aplicabilidade dos métodos adaptativos analisados nas salas de aula.

Tabela 20 - Aplicação do método adaptativo conforme o tipo de sala.

Tipos de salas	ASHRAE 55		EN 15251	
	Primavera	Verão	Primavera	Verão
Ventilação natural	Aplica	Aplica	Aplica	Não aplica
Ventilação de modo misto	Aplica	Aplica	Não aplica	Não aplica
Ar-condicionado	Não aplica	Aplica	Não aplica	Não aplica

Fonte: Autor (2017).

Dos métodos analisados nas salas com ventilação natural, os que se aplicaram durante a primavera foram os da norma da ASHRAE 55 e EN 15251; durante o verão, somente a ASHRAE 55. Nas salas com ventilação de modo misto, durante a primavera e verão, somente o método adaptativo proposto pela ASHRAE 55 apresentou aplicabilidade para este tipo de sala. Por fim, nas salas com ar-condicionado, durante a primavera nenhum método apresentou aplicabilidade e durante o verão somente o método adaptativo proposto pela ASHRAE 55 se aplicou a este tipo de sala.

É válido ressaltar que somente as salas com ventilação natural se enquadraram nos critérios exigidos para análise através dos métodos adaptativos propostos pelas normas da ASHRAE 55 e EN 15251. Entretanto, como foi verificado nos resultados desta dissertação, as condições ambientais encontradas nas salas com ventilação natural, ao longo da pesquisa de campo realizada durante o verão, mostraram que as mesmas não se enquadram em nenhuma classe de aceitabilidade térmica proposta pela norma europeia. Mas o método adaptativo proposto pela norma da ASHRAE 55 é aplicável nas salas com ventilação natural durante as estações de primavera e verão, assim como pode ser aplicado nas salas com ventilação de modo misto.

5. CONCLUSÕES

Esta dissertação avaliou as condições de conforto e preferência térmica de alunos em nove salas de aula, compostas por três tipos de sistemas de climatização: ventilação natural, ventilação de modo misto (abrangendo dois tipos de sistemas, natural e mecânico) e condicionamento artificial. Os dados subjetivos foram analisados com base nas respostas de 1924 votos válidos coletados através de questionários, com questões relacionadas aos dados pessoais, vestimenta, sensação térmica, estado térmico, preferência térmica e velocidade do ar. Os dados das variáveis ambientais foram coletados durante experimentos de campo na cidade de Campo Grande / MS, abrangendo duas estações (primavera e verão) nos anos de 2016 e 2017. Os resultados encontrados auxiliam trabalhos futuros, arquivando informações importantes que podem ser estudadas e incorporadas em futuras versões de normas e métodos de avaliação voltados a estes tipos de ambientes.

A comparação entre os resultados das salas de aula revelou uma diferença significativa em termos de sensação e estado térmico. As salas com ventilação natural e com ventilação de modo misto apresentaram uma porcentagem levemente superior de desconforto térmico por calor que o observado nas salas com ar-condicionado, as quais, por sua vez, apresentaram desconforto térmico por frio em uma porcentagem levemente superior à verificada nas salas que operaram com ventilação natural e de modo misto.

É válido ressaltar que, independentemente do sistema de climatização adotado nas salas de aula, os alunos demonstraram se adaptar às condições internas ambientais, seja com ajustes na vestimenta, possibilidades de adaptações nas aberturas e equipamentos de ventilação e/ou pela mudança de metabolismo e ingestão de bebidas. O sistema arquitetônico das salas foi um dos fatores que permitiu a aclimação dos alunos, através do fluxo livre de ventilação cruzada. A possibilidade de renovação do ar interno e uma certa variação na velocidade do ar auxiliaram os alunos das salas com ventilação natural e de modo misto na adaptação dos mesmos em suas respectivas salas.

Entretanto, nas salas com ar-condicionado, foi encontrado um ambiente em condições estacionárias, sem possibilidade de ventilação cruzada e renovação do ar interno; os alunos destas salas não interagiam com o ambiente, assim, a adaptação climática dos mesmos foi restringida a apenas ingestão de bebidas e/ou ajustes na vestimenta.

Sobre os resultados encontrados nas salas de aula, pode-se afirmar que nas salas com ventilação natural a possibilidade de interação com a construção auxiliou na adaptabilidade térmica dos alunos. Vale ressaltar que os dias analisados na estação de primavera foram considerados atípicos, pois suas temperaturas médias (interna - 23,3°C e externa - 25,5°C) foram inferiores às encontradas nos outros tipos de salas da pesquisa, influenciando diretamente na porcentagem de alunos que se sentiram confortáveis e levemente confortáveis (88,2%). Durante o verão, essa porcentagem foi inferior (49,2%) devido ao aumento das temperaturas internas e externas no período, com médias de 30,0°C (interna) e 31,7°C (externa), tornando-as com as maiores médias do período. Quando analisada a temperatura de conforto para as salas com ventilação natural, em ambas as estações a temperatura de conforto obtida foi de 23,8°C.

As salas com ventilação de modo misto demonstraram que na escala de preferência térmica mais de 70% (em ambas as estações) dos alunos prefeririam estar mais resfriados. E apesar das mesmas possuírem dois tipos de sistemas de climatização operando simultaneamente, as temperaturas do ar médias coletadas ficaram acima dos 28,0°C (interna e externa, em ambas as estações). Com temperaturas superiores às encontradas nos outros tipos de salas, as salas com ventilação de modo misto apresentaram uma baixa porcentagem de alunos que se sentiram confortáveis e levemente confortáveis (63,3% na primavera e 63,5% no verão). As temperaturas de conforto encontradas para este tipo de sala foram de 26,8°C (primavera) e 27,0°C (verão).

A utilização do condicionamento artificial nas salas com ar-condicionado ocorre independentemente da estação do ano, pois as mesmas não possuem outro tipo de sistema de ventilação alternativo

instalado. Entretanto, foram as salas que apresentaram a maior porcentagem de alunos se sentindo confortáveis e levemente confortáveis (82,1% na primavera e 82,3% no verão) da pesquisa de campo. Quando analisada a temperatura de conforto para as salas com ar-condicionado, foram obtidas as seguintes temperaturas: 25,0°C (primavera) e 27,5°C (verão).

Analisando a percepção térmica dos alunos sob as diferentes formas de operação das salas, conclui-se ainda que existe uma forte tendência ao desconforto térmico pelo frio durante a operação do ar-condicionado e desconforto térmico por calor quando a ventilação natural ou de modo misto são utilizadas. É possível afirmar que a sensação e a preferência térmica dos alunos são dependentes do tipo de sistema de climatização, variando significativamente quando analisados os tipos. Assim como o observado por Lucchese (2016), porém no contexto de ambiente interno, a percepção térmica dos alunos se mostrou fortemente associada à temperatura do ar interno. Dentre os sexos analisados, o sexo feminino apresentou preferência por ambientes mais aquecidos e o sexo masculino por ambientes mais resfriados.

Quando correlacionada a faixa etária com a preferência dos alunos, conclui-se que os alunos entre 10 e 16 anos de idade apresentaram preferência por ambientes mais resfriados, porque suas salas de aulas eram as ventiladas naturalmente ou de modo misto. Em contrapartida, apesar da coleta de dados ter sido realizada em estações com temperaturas altas, os alunos de 17 e 18 anos de idade, cujas salas eram as com ar-condicionado, apresentaram preferência por ambientes mais aquecidos. O tipo de sistema de ventilação instalado no ambiente influencia diretamente as respostas dos seus usuários. E o uso incorreto de equipamentos de condicionamento artificial pode gerar gastos energéticos e desconforto para os seus usuários.

Analisando a sensação e a aceitabilidade da velocidade do ar, foi observado que mais de 80% dos alunos aceitaram a velocidade do ar coletada no interior de suas salas de aulas. Entretanto, as salas com ventilação natural apresentaram a maior porcentagem de alunos

insatisfeitos (mais de 18% em ambas as estações), por sentirem a velocidade do ar no interior de suas salas muito baixa.

Foi observado nos resultados que a velocidade do ar é um fator que corrobora na aceitação do ambiente e no conforto térmico, como o observado pelos autores Zhu et. al. (2015), que afirmam que o movimento do ar pode ser usado para compensar o aumento da temperatura do ar e melhorar o conforto térmico em climas quentes. A velocidade do ar afeta as perdas de calor do corpo humano, influenciando diretamente o conforto térmico dos usuários (MCINTRYE, 1978)

Quanto à adequabilidade dos atuais métodos de conforto térmico para avaliação de ambientes internos, conclui-se que os resultados de todas as metodologias utilizadas nesta dissertação para o cálculo do índice PMV ou superestimaram ou subestimaram os votos de sensação térmica reais das salas investigadas. Constatou-se a carência de um método de correção para o cálculo do índice PMV para indivíduos com idade inferior a 18 anos.

Apesar de superestimarem ou subestimarem os votos de sensação térmica reais e na falta de um método mais preciso para analisar ambientes ocupados por usuários de faixa etária 10-18 anos de idade, é possível utilizar-se dessas metodologias para análise de conforto. Com os resultados obtidos nesta dissertação, conclui-se que para o cálculo do índice PMV:

- Em ambientes ventilados naturalmente, durante a primavera poderão ser aplicados os métodos propostos pela ASHRAE 55 (2013), EN 15251(2007) e ANDREASI (2009); durante o verão, o proposto pela ISO 7730 (2005).
- Em ambientes ventilados de modo misto, durante a primavera poderá ser aplicado o método proposto pela ASHRAE 55 (2013) e durante o verão o proposto pela ISO 7730 (2005).

- Em ambientes com condicionamento artificial, durante a primavera poderá ser aplicado o método proposto pela ISO 7730 (2005); durante o verão poderão ser aplicados os métodos propostos pela ASHRAE 55 (2013) e EN 15251 (2007).

Quando aplicados aos dados coletados na pesquisa de campo os métodos adaptativos propostos pelas ASHRAE 55 (2013) e EN 15251 (2007), notou-se boa aderência (ligação) entre os resultados obtidos pela ASHRAE 55, apesar de ambos os métodos não poderem ser aplicados em ambientes condicionados artificialmente ou ventilados de modo misto, visto que estes possuem sistema de climatização instalado. O método proposto pela ASHRAE 55 pode ser aplicado nos três tipos de salas analisadas (exceto nas com ar-condicionado durante a primavera).

Para a efetivação de um método simplificado de avaliação de conforto térmico em salas de aula, a melhor alternativa entre os demais investigados é o método adaptativo. Neste contexto, fazem-se necessários mais estudos de campo em diferentes contextos climáticos com usuários de faixa etária 10 - 18 anos de idade para análises e adaptações deste método.

5.1. LIMITAÇÕES DO TRABALHO

As principais limitações desta pesquisa se restringem àquelas provenientes de experimentos de campo onde as principais variáveis de estudo se relacionam às respostas e ao comportamento dos alunos, exercendo sua rotina de estudos. No entanto, é importante destacar que existiram limitações relacionadas aos seguintes aspectos:

- Os experimentos de campo deste trabalho foram realizados durante as estações de primavera e verão nos anos de 2016 e 2017. Devido a restrições de horários não foi possível coletar os dados em um período total (manhã ou tarde), apenas parte dele, sendo escolhido o horário de 10 à 12h da manhã.

- Pelo fato do período escolar nas estações de inverno e outono coincidir com épocas de provas, trabalhos e jogos escolares, tornou-se impossível realizar medições nessas estações, pois os alunos não estariam em sua rotina normal.

5.2. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Para maior compreensão e ampliação de dados, observou-se áreas referentes ao tema que poderiam ser exploradas:

- Novos levantamentos de campo com foco nas edificações escolares com diferentes fases educacionais e sistemas de ventilação (natural, modo misto e com ar-condicionado) tais como jardim de infância e universidades, para verificar a diferença dos votos de sensação térmica da faixa etária (até 18 anos) com os modelos de conforto térmico, pois tal assunto foi muito pouco explorado no Brasil;
- Análise da velocidade do ar, com relação à aceitabilidade de velocidades maiores que as propostas pelas normas de conforto;
- Análise de fatores não usuais e sua influência na percepção térmica, tais como: histórico térmico, estresse, humor e condição física. Poucos estudos da área de conforto térmico focaram nestes aspectos; porém, sabe-se que estes aspectos podem influenciar nas análises finais e provocar resultados equivocados;
- Desenvolver novas análises e métodos focados nas diferenças entre a percepção térmica de homens e mulheres. Fatores como a vestimenta e o metabolismo podem resultar em grandes diferenças nos votos de sensação e preferência térmica, quando se trata de usuários não adultos;
- Desenvolver método de correção para o índice PMV, quando tratar de ambientes ocupados por pessoas com faixa etária até 18 anos.

REFERÊNCIAS

- ABBASZADEH, S.; ZAGREUS, L.; LEHRER, D.; HUIZANGA, C. Occupant satisfaction with indoor environmental quality in green buildings. **Proceedings of Healthy Buildings**, v. 3, p. 365-370, 2006.
- ANDRESI, W. A. **Método para avaliação de conforto térmico em região de clima quente e úmido do Brasil**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. 204p. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC. 2009.
- ANDREASI, W. A.; LAMBERTS, R.; CÂNDIDO, C. Thermal acceptability assessment in buildings located in hot and humid regions in Brazil. **Building and Environment**, v. 45, n. 5, p. 1225–1232, 2010.
- ANSI/ASHRAE Standard 55: **Thermal environmental conditions for human occupancy**. Atlanta, Georgia: American Society of Heating, Refrigerating Air-Conditioning Engineers, 2013.
- ARENS, E.; HUMPHREYS, M. A. DE DEAR, R.; ZHANG, H. Are ‘class A’ temperature requirements realistic or desirable? **Building and Environment**, v. 45, p. 4-10, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-2. Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários Parte 2: Parâmetros de conforto térmico**. Rio de Janeiro, 2008.
- AULICIEMS, A. Thermal requirements of secondary school children winter. **Journal of Hygiene**, v. 67, n. 1, p. 59-65, 1969a.
- AULICIEMS, A. Effects of weather on indoor thermal comfort. **International Journal of Biometeorology**, v. 13, n. 2, p. 147-162, 1969b.
- AULICIEMS, A. Thermal sensations of secondary schoolchildren in summer. **Journal of Hygiene**, v. 71, p. 453-458, 1973.

AULICIEMS, A. Warmth and comfort in the subtropical winter: A study in Brisbane schools. **Journal of Hygiene**, v. 74, n. 3, p. 339-343, 1975.

BARBETTA, P. A. **Estatística Aplicada às Ciências Sociais**. 5ª edição. Florianópolis: Ed. UFSC, 2006.

BARBHUIYA, S.; BARBHUIYA, S. Thermal comfort and energy consumption in a UK educational building. **Building and Environment**, v. 68, p. 1-11, 2013.

BAKÓ – BIRÓ, Z.; CLEMENTS – CROOME, D. J.; KOCHHAR, N.; AWBI, H. B.; WILLIAMS, M. J. Ventilation rates in schools and pupils' performance. **Building and Environment**, v. 48, p. 215-223, 2012.

BORKAN, G. A.; HULTS, D. E.; GERZOF, S. G.; ROBBINS, A. H.; SILBERT, C. K. Age changes in body composition revealed by computed tomography. **The Journals of Gerontology**, v. 38, n. 6, p. 673-677, 1983.

BRAGER, G. S.; DE DEAR, R. Thermal adaptation in the built environment: a literature review. **Energy and Buildings**, v. 27, p. 83-96, 1998.

BURATTI, C.; RICCIARDI, P. Adaptive analysis of thermal comfort in university classrooms: correlation between experimental data and mathematical models. **Building and Environment**, v. 44, p. 674-687, 2009.

CÂNDIDO, C.; DE DEAR, R. J.; LAMBERTS, R.; BITTENCOURT, L. Cooling exposure in hot humid climates: are occupants "addicted?" **Archit. Sci. Rev.**, v. 53, p. 59-64, 2010a.

CÂNDIDO, C.; DE DEAR, R.J.; LAMBERTS, R.; BITTENCOURT, L. Air movement acceptability limits and thermal comfort in Brazil's hot humid climate zone. **Building and Environment**, v. 45, p. 222-229, 2010b.

CÂNDIDO, C.; DE DEAR, R. J.; LAMBERTS, R. Combined thermal acceptability and air movement assessments in hot humid climate. **Building and Environment**, v.46, p. 379-385, 2011.

CARVALHO, P. M.; SILVA, M. G.; RAMOS, J. E. Influence of weather and indoor climate on clothing of occupants in naturally ventilated school buildings. **Building and Environment**, v. 59, p. 38–46, 2013.

CATALINA, T.; IORDACHE, V. IEQ assessment on schools in the design stage. **Building and Environment**, v. 49, p. 129–140, 2012.

CENA, K.; SPOTILA, J. **Thermal comfort of the elderly: effect of indoor microclimate, clothing, activity level and socioeconomics: Final Report on ASHRAE RP - 421**. Hamilton, Ontario. 107pp. 1984.

CENA, K.; SPOTILA, J. **Thermal comfort for the elderly: Behavioral strategies and effort of activities: Final Report, on ASHRAE RP-460**. Hamilton, Ontario: 1986.

CENA, K.; DE DEAR, R. Field study of occupant comfort and office thermal environments in a hot, arid climate. **ASHRAE Transactions**, v. 105, p. 204–217, 1999.

CHOI, J. H.; AZIZ, A.; LOFTNESS, V. Investigation on the impacts of different genders and ages on satisfaction with thermal environments in office buildings. **Building and Environment**, v.45, p. 1529–1535, 2010.

CHUNG, T. M.; TONG, W. C. Thermal comfort study of young Chinese people in Hong Kong. **Building and Environment**, v.25, p. 317-328, 1990.

COLLINS, K. J.; HOINVILLE, E. Temperature requirements in old age. **Building Services Engineering Research and Technology**, v. 1, n. 4, p. 165–172, 1980.

CONCEIÇÃO, E. Z. E.; GOMES, J. M. M.; ANTÃO, N. H.; LÚCIO, M. M. J. R. Application of developed adaptive model in the evaluation of thermal comfort in ventilated kindergarten occupied spaces. **Building and Environment**, v. 50, p. 190-201, 2012.

CORGNATI, S. P.; FILIPPI, M.; VIAZZO, S. Perception of the thermal environment in high school and university classrooms: Subjective preferences and thermal comfort. **Building and Environment**, v.42, p. 951-959, 2007.

CORGNATI, S. P.; ANSALDI, R.; FILIPPI, M. Thermal comfort in Italian classrooms under free running conditions during mid seasons: Assessment through objective and subjective approaches. **Building and Environment**, v. 44, n. 4, p. 785-792, 2009.

CORRADO, V.; ASTOLFI, A. Environmental quality assessment of classrooms. **In: Proceedings of EPIC 2002 AIVC International Conference**, Lyon, 2002.

DASCALAKI, E. G.; SERMPETZOGLOU, V. G. Energy performance and indoor environmental quality in Hellenic schools. **Energy and Buildings**, v.43, p. 718-727, 2011.

DE DEAR, R. J.; FOUNTAIN, M. E. Field experiments on occupant comfort and office thermal environments in a hot-humid climate. **ASHRAE transactions**, v.100, p. 457-474, 1994.

DE DEAR, R. J.; BRAGER, G.; COOPER, D. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. **ASHRAE RP-884**, 1997.

DE DEAR, R.; BRAGER, G. Developing an adaptive model thermal comfort and preference. **ASHRAE transactions**, v. 104, p. 145-167, 1998.

DE DEAR, R. The theory of thermal comfort in naturally ventilated indoor environments - “The pleasure principle”. **International Journal of Ventilation**, v. 8, p. 243–250, 2009.

DE DEAR, R. Revisiting an old hypothesis of human thermal perception: alliesthesia. **Building Research and Information**, v. 39, p. 108–117, 2011.

DE DEAR, R. J.; AKIMOTO, T.; ARENS, E. A.; BRAGER, G.; CÂNDIDO, C.; CHEONG, K.W.; LI, B.; NISHIHARA, N.; SEKHAR, S. C.; TANABE, S.; TOFTUM, J.; ZHANG, H.; ZHU, Y. Progress in thermal comfort research over the last twenty years. **Indoor air**, v. 23, p. 442-461, 2013.

DE DEAR, R.; KIM, J.; CANDIDO, C.; DEUBLE, M. Adaptive thermal comfort in Australian school classrooms. **Building Research & Information**, v. 43, n. 3, p. 383–398, 2015.

DE FREITAS, N. V. S.; MIKURI, L. P.; ANDREASI, W. A. Influence of Air Movement on Human Thermal Sensation in a Tropical Humid Climate. **International Journal of Science and Engineering Investigations**, v. 7, i. 73, p. 70-76, 2018.

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**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011. 142p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC. 2011.

DE VECCHI, R.; CÂNDIDO, C.; LAMBERTS, R. **Thermal history and its influence on occupants’ thermal acceptability and cooling preferences in warm-humid climates: a new desire for comfort?** 190 Proceedings of the 7th Windsor Conference: The changing context of comfort in an unpredictable world. **Anais**: Cumberland Lodge, London UK: 2012.

DE VECCHI, R.; CÂNDIDO, C.; LAMBERTS, R. O efeito da utilização de ventiladores de teto no conforto térmico em salas de aula com condicionamento híbrido em um local de clima quente e úmido. **Ambiente Construído**, v. 13, n. 4, p. 189–202, 2013.

DE VECCHI, R. **Avaliação de conforto térmico em edificações comerciais que operam sob sistemas mistos de condicionamento ambiental em clima temperado e úmido**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. 237p. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC. 2015.

DJONGYANG, N.; TCHINDA, R.; NJOMO, D. Thermal comfort: A review paper. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, p. 2626–2640, 2010.

DONNINI, G.; NGUYEN, V. H.; LAI, D. H. C.; LA FLAMME, M.; HAGHIGHAT, F.; MOLINA, J.; LAI, H. K.; MARTELLO, C.; CHANG, C. Y. Field study of occupant comfort and office thermal environments in a cold climate. **ASHRAE Transactions**, v. 103, p. 205–220, 1997.

DORIZAS, P. V.; ASSIMALOPOULOS, M.-N.; SANTAMOURIS, M. A holistic approach for the assessment of the indoor environmental quality, student productivity, and energy consumption in primary schools. **Environmental monitoring and assessment**, v. 187, 259-259, 2015.

EN 15251. **Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings – Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustic**. European Standard; 2007.

FABBRI, K. Thermal comfort evaluation in kindergarten: PMV and PPD measurement through datalogger and questionnaire. **Building and Environment**, v. 68, p. 202-214, 2013.

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

FANGER, P. O. Assessment of man's thermal comfort in practice. **British Journal of Industrial Medicine**, v. 30, p. 313-324, 1973.

FANGER, P. O.; LANGKILDE, G. Interindividual differences in ambient temperature preferred by seated persons. **ASHRAE Transactions**, v. 81, n. 2, p. 140–147, 1975.

FANGER, P. O.; TOFTUM, J. Thermal comfort in the future excellence and expectation. **In:** Proceedings of the international conference on moving thermal comfort standards into 21st century, Windsor, UK, 2001.

FANGER, P. O.; TOFTUM, J. Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates. **Energy and Buildings**, v. 34, p. 533-536, 2002.

FIALA, D.; LOMAS, J. K.; STOHRER, M. A computer model of human thermoregulation for a wide range of environmental conditions: the passive system. **Journal of Applied Physiology**, v. 87, p. 1957–1972, 1999.

FISK, W. J. How IEQ affects health, productivity, **ASHRAE Journal**, v. 44, p.56, 2002.

FRONTCZAK, M.; WARGOCKI, P. Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. **Building and Environment**, v. 46, p. 922-937, 2011.

GAGGE, A. P.; STOLWIJK, J. A. J.; HARDY, J. D. Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various ambient temperatures. **Environmental Research**, v. 1, p. 1–20, 1967.

GAGGE, A. P.; FOBELTS, A. P.; BERGLUND, L. G. Standard Predictive Index of human response to the thermal environment. **ASHRAE Transactions**, v. 92, p. 709–731, 1986.

GENG, Y.; JI, W.; LIN, B.; ZHU, Y. The impact of thermal environment on occupant IEQ perception and productivity. **Building and Environment**, v. 121, p. 158-167, 2017.

GIULI, V. D.; POS, O. D.; CARLI, M. D. Indoor environmental quality and pupil perception in Italian primary schools. **Building and Environment**, v.56, p. 335-345, 2012.

GIULI, V. D.; PONTAROLLO, C. M.; CARLI, M. D.; BELLA, A. D. Overall assessment of indoor conditions in a school building: an Italian case study, **Int. J. Environ. Res.**, v. 8, p. 27–38, 2014.

GOMES, P. S.; LAMBERTS, R. O estudo do clima urbano e a legislação urbanística: considerações a partir do caso Montes Claros, MG. **Ambiente Construído**, v. 9, n. 1, p. 73-91, 2009.

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

HAVENITH, G. Temperature regulation and technology. **Gerontechnology**, v. 1, n. 1, p. 41–49, 2001.

HAVENITH, G. Metabolic rate and clothing insulation data of children and adolescents during various school activities. **Ergonomics**, v. 50, n. 10, p. 1689-1701, 2007.

HORR, Y. A.; ARIF, M.; KAUSHIK, A.; MAZROEI, A.; KATAFYGIOTOU, M.; ELSARRAG, E. Occupant productivity and office indoor environment quality: A review of the literature. **Building and Environment**, v. 105, p. 369-389, 2016.

HOYT, T.; LEE, K.H.; ZHANG, H.; ARENS, E.; WEBSTER, T. Energy savings from extended air temperature setpoints and reductions in room air mixing. **In: International Conference on Environmental Ergonomics**, Boston, p. 5, 2009.

HOYT, T.; SCHIAVON, S.; PICCIOLI, A.; MOON, D.; STEINFELD, K. **CBE Thermal Comfort Tool**. Center for the Built Environment, University of California Berkeley, 2013. Disponível em: <<http://cbe.berkeley.edu/comforttool/>>. Acesso em: 22 de março, 2016.

HUIZENGA, C.; ZHANG, H.; ARENS, E.; DUAN, T. A model of human physiology and comfort for assessing complex thermal environments. **Building and Environment**, v. 36, p. 691–699, 2001.

HUMPHREYS, M. A. Classroom temperature, clothing and thermal comfort - a study of secondary school children in summertime. **The Journal of the Institution of Heating and Ventilating Engineers**, v. 41, p. 191-202, 1973.

HUMPHREYS, M. A. Field studies of thermal comfort compared and applied. **The Journal of the Institution of Heating and Ventilating Engineers**, v. 44, p. 5-27, 1975.

HUMPHREYS, M. A. Field studies of comfort compared and applied. **Building Services Engineer**, v. 44, p. 5-23, 1976.

HUMPHREYS, M. A. A study of thermal comfort of primary school children in summer. **Building and Environment**, v.12, p. 231-239, 1977.

HUMPHREYS, M. A. Outdoor temperatures and comfort indoors. **Building Research and Practice**, v. 6, p. 92-105, 1978.

HUMPHREYS, M. A.; HANCOCK, M. Do people like to feel "neutral"? Exploring the variation of the desired thermal sensation on the ASHRAE scale. **Energy and Buildings**, v. 39, p. 867-874, 2007.

HUSSEIN, I.; RAHMAN, M. H. A. Field study on thermal comfort in Malaysia. **European Journal of Scientific Research**, v. 37, p. 134–152, 2009.

HWANG, R.-L.; LIN, T.-P.; KUO, N.-J. Field experiments on thermal comfort in campus classrooms in Taiwan. **Energy and Building**, v. 38, p. 53–62, 2006.

HWANG, R.-L.; LIN, T.-P.; CHEN, C.-P.; KUO, N.-J. Investigating the adaptive model of thermal comfort for naturally ventilated school buildings in Taiwan. **International Journal of Biometeorology**, v. 53, p. 189–200, 2009

INDRAGANTI, M.; RAO, K. D. Effect of age, gender, economic group and tenure on thermal comfort: A field study in residential buildings in hot and dry climate with seasonal variations. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 3, p. 273–281, mar. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **População Estimada, 2016**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/ms/campo-grande/panorama>>. Acesso em: 18 de março, 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Normais climatológicas do Brasil, 1961-1990**. Disponível em: <<https://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normais-climatologicas>> Acesso em: 25 de junho, 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Sistema integrado de dados ambientais - Sinda, dados históricos**. Disponível em: <<http://sinda.crn2.inpe.br/PCD/SITE/novo/site/historico/passos2.php>>. Acesso em: 31 de março de 2017.

ISHII, J. A study of the thermal comfort of college students for a year. **15th Conference on Biometeorology and Aerobiology and the 16th International Congress of Biometeorology**, 2002.

ISO/FDIS 7243. **Hot environments – estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature)**. Geneva: International Standards Organization; 1989.

ISO/FDIS 10551. **Ergonomics of the thermal environment - Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales**. Geneva: International Standards Organization; 1995.

ISO/FDIS 7726. **Ergonomics of thermal environment – Instruments for measuring physical quantities**. Geneva: International Standards Organization; 1998.

ISO/FDIS 8996. **Ergonomics of the thermal environment - Determination of metabolic heat production**. International Organization for Standardization, 2004.

ISO/FDIS 7730. **Ergonomics of Thermal Environment – Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria**. Geneva: International Standards Organization; 2005.

ISO/FDIS 9920. **Ergonomics of the thermal environment - Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble**. International Organization for Standardization, 2007.

ISSA, M. H; RANKIN, J. H.; ATTALLA, M.; CHRISTIAN, A. J. Absenteeism, performance and occupant satisfaction with the indoor environment of Green Toronto Schools. **Indoor Built Environment**, v. 20, p. 511–523, 2011.

JUNG, G. J.; SONG, S. K.; AHN, Y. C.; OH, G. S.; BIN, Y. Experimental research on thermal comfort in the university classroom of regular semesters in Korea. **J. Mech. Sci. Technol.**, v. 25, p. 503–512, 2011.

KARJALAINEN, S. Gender differences in thermal comfort and use of thermostats in everyday thermal environments. **Building and Environment**, v. 42, p. 1594-1603, 2007.

KARJALAINEN, S. Thermal comfort and gender: a literature review. **Indoor Air**, v. 22, p. 96-109, 2012

KATAFYGIOTOU, M. C.; SERGHIDES, D. K. Thermal comfort of a typical secondary school building in Cyprus. **Sustainable Cities and Society**, v. 13, p. 303–312, 2014.

KATIĆ, K.; LI, R.; ZEILER, W. Thermophysiological models and their applications: A review. **Building and Environment**, v. 106, p. 286-300, 2016.

KARYONO, T. H. Bandung thermal comfort study: assessing the applicability of an adaptive model in Indonesia. **Archit. Sci. Rev.**, v. 51, p. 60–65, 2008.

KEKÄLÄINEN, P.; NIEMELÄ, R.; TUOMAINEN, M.; KEMPPILÄ, S.; PALONEN, J.; RIUTTALA, H.; NYKYRI, E.; SEPPÄNEN, O.; REIJULA, K. Effect of reduced summer indoor temperature on symptoms, perceived work environment and productivity in office work: an intervention study. **Intelligent Buildings International**, v. 2, n.4, p. 251-266, 2010.

KIM, J.; DE DEAR, R.; CÂNDIDO, C.; ZHANG, H.; ARENS, E. Gender differences in office occupant perception of indoor environmental quality (IEQ). **Building and Environment**, v. 70, p. 245-256, 2013.

KWOK, A. G. Thermal comfort in tropical classrooms. **ASHRAE Transactions**, v. 104, p. 1031-1047, 1998.

KWOK, A. G. Thermal acceptability in tropical schools. **Journal of Human-Environment System**, v. 2, p. 41-46, 1999.

KWOK, A. G.; CHUN, C. Thermal comfort in Japanese schools. **Solar Energy**, v. 74, p. 245-252, 2003.

KWONG, Q. J.; ADAM, N. M.; SAHARI, B. B. Thermal comfort assessment and potential for energy efficiency enhancement in modern tropical buildings: A review. **Energy and Buildings**, v. 68, p. 547-557, 2014.

LADESYS. **Módulo de conforto térmico. Laboratório de Análise e Desenvolvimento de Edificações, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul**. <<http://www.dec.ufms.br/lade/index2.php?p=6&s=10>>. Acesso em: 19 de dezembro, 2016.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. [3.ed.] Rio de Janeiro, 2014.

LAMBERTS, R. **Conforto e Stress térmico**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

LAN, L.; WARGOCKI, P.; WYON, D. P.; LIAN, Z. Effects of thermal discomfort in an office on perceived air quality, SBS symptoms, physiological responses, and human performance. **Indoor Air**, v. 21, p. 376-390, 2011.

LANGKILDE, G. **Thermal comfort for people of high age**. Paris: Confort Thermique: Aspects Physiologiques et Psychologiques, 1979.

LEE, M. C.; MUI, K. W.; WONG, L.T.; CHAN, W. Y.; LEE, E. W. M.; CHEUNG, C.T. Student learning performance and indoor environmental quality (IEQ) in air-conditioned university teaching rooms. **Building and Environment**, v. 49, p. 238-244, 2012.

LÓPEZ, V.; LUCCHESI, J. R.; ANDREASI, W. A. Thermal comfort assessment in the hot and humid region of Paraguay: A comparison between three methodologies. **International Journal of Civil & Environmental Engineering**, v. 15, n. 06, p. 26-31, 2015.

LUCCHESI, J. R.; MIKURI, L. P.; DE FREITAS, N. V. S.; ANDREASI, W. A. Application of selected indices on outdoor thermal comfort assessment in Midwest Brazil. **International Journal of Energy and Environment**, v. 7, n. 4, p. 291-302, 2016.

LUCCHESI, J. R. **Influência das condições microclimáticas no conforto e adaptação térmica: o estudo de caso de uma praça pública em Campo Grande - MS**. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2016. 103p. Dissertação de Mestrado. Pós-graduação em Eficiência Energética e Sustentabilidade, UFMS, 2016.

LUO, M.; CAO, B.; DAMIENS, J.; LIN, B.; ZHU, Y. Evaluating thermal comfort in mixed-mode buildings: A field study in a subtropical climate. **Building and Environment**, v. 88, p. 46–54, 2014.

MCINTYRE, D. A. Preferred air speed for comfort in warm conditions. **ASHRAE transactions**, p. 264-277, 1978.

MCINTYRE, D. A. Indoor climate. **London: Applied Science Publishers**; 1980.

MENDELL, M. J.; HEATH, G. A. Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature. **Indoor Air**, v. 15. p. 27-52, 2005.

MEMON, R. A.; CHIRATTANANON, S.; VANGTOOK, P. Thermal comfort assessment and application of radiant cooling: a case study. **Building and Environment**, v. 43, p. 1185–1196, 2008.

MIKURI, L. P.; DE FREITAS, N. V. S.; ANDREASI, W. A. A Field Study on Thermal Comfort of Occupants at a Library Using Natural Ventilation and Air-Conditioning System in Brazil. **International Journal of Science and Engineering Investigations**, v. 7, n. 74, p. 49–54, 2018.

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, 2015.

MUMOVIC, D.; PALMER, J.; DAVIES, M.; ORME, M.; RIDLEY, I.; ORESZCZYN, T.; JUDD, C.; CRITCHLOW, R.; MEDINA, H.A.; PILMOOR, G.; PEARSON, C.; WAY, P. Winter indoor air quality, thermal comfort and acoustic performance of newly built secondary schools in England. **Building and Environment**, v. 44, p. 1466–1477, 2009.

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 and Buildings**, v. 85, p. 321–328, 2014.

NICO, M. A.; LIUZZI, S.; STEFANIZZI, P. Evaluation of thermal comfort in university classrooms through objective approach and subjective preference analysis. **Applied Ergonomics**, v.48, p. 111-120, 2015.

NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. Thermal comfort as part of a self-regulation system. **Building Research and Practice**, v.6, p.191-197, 1973.

NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. **Energy and Buildings**, v.34, p. 563-572, 2002.

NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. New standards for comfort and energy use in buildings. **Building Research and Information**, v. 37, p. 68-73, 2009

NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A; ROAF, S. **Adaptive Thermal Comfort: Principles and Practice**, Routledge, Abingdon, 2012.

NICOL, F.; HUMPHREYS, M.; ROAF, S. **Adaptive Thermal comfort: foundations and analysis**. New York, USA: Routledge, 2015.

NR 15. **Atividades e operações insalubres**. Brasília/DF, BR: Ministério do Trabalho, 2014.

NR 17. **Ergonomia**. Brasília/DF, BR: Ministério do Trabalho, 2007.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO - ONS. **Boletim diário - eventos e ocorrência**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/resultados_operacao/boletim_diario/2015_01_19/eventos_e_ocorrencias.htm>. Acessado em: 18 set. 2016.

PARSONS, K. C. Environment ergonomics: A review of principles, methods and models. **Applied Ergonomics**, v. 31, p. 581-594, 2000.

PARSONS, K. **Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort and performance**. London, UK: Taylor & Francis, 2003.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.11, p. 1633-1644, 2007.

PEPPLER, R. D.; WARNER, R. E. Temperature and learning: An experimental study. **ASHRAE Transactions**, v. 74, n. 1, p. 211– 219, 1968.

PEPPLER, R. D. The thermal comfort of students in climate controlled and non-climate controlled schools. **ASHRAE Transactions**, v. 78, n. 1, p. 97–109, 1972.

PEREIRA, L. D.; RAIMONDO, D.; CORGNATI, S. P.; DA SILVA, M. G. Assessment of indoor air quality and thermal comfort in Portuguese secondary classrooms: methodology and results. **Building and Environment**, v. 81, p. 69–80, 2014.

RODRIGUES, W. C. 2016. **Teste t-student**. Estatística na Mão. 2016. Disponível em: <<http://estatisticanamao.agroamb.com.br/estatisticanamao/artigos.aspx?ID=8?ID=8>> Acessado em: 04 de setembro, 2018.

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

SCHELLEN, L.; LOOMANS, M. G.; DE WIT, M. H.; OLESEN, B. W.; VAN MARKEN, W. D. The influence of local effects on thermal sensation under non-uniform environmental conditions - gender differences in thermophysiology, thermal comfort and productivity

during convective and radiant cooling. **Physiology & behavior**, v. 107, n. 2, p. 252–61, 2012.

SCHLADER, Z. J.; STANNARD, S. R.; MÜNDEL, T. Human thermoregulatory behavior during rest and exercise - a prospective review. **Physiology & Behavior**, v. 99, p. 269-275, 2010.

SERGHIDES, D. K.; CHATZINIKOLA, C. K.; KATAFYGIOTOU, M. C. Comparative studies of the occupants' behavior in a university building during winter and summer time. **Int. J. Sustainable Energy**, p. 1–24, 2014.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**. v. 52, p. 591–611, 1965.

SMITH, C. E. **A transient, three-dimensional model of the human thermal system**. Kansas State University. PhD Thesis. Mechanical Engineering, 1991.

STOLWIJK, J. A. J.; HARDY, J. D. Temperature regulation in man – a theoretical study. **Pflüger's Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere**, v. 291, p. 129–162, 1966.

STOLWIJK, J. A. J. **A mathematical model of physiological temperature regulation in man**. NASA contractor report, NASA CR-1855, August 1971, Washington, DC, NASA, 1971.

TANABE, S. **Thermal comfort requirements in Japan**. Waseda University, Tokyo: PhD Thesis, 1988.

TANABE, S.; NARITA, C.; OZEKI, Y.; KONISHI, M. Effective radiation area of human body calculated by a numerical simulation. **Energy and Buildings**, v. 32, p. 205–215, 2000.

TANABE, S.; KOBAYASHI, K.; KIYOTA, O.; NISHIHARA, N.; HANEDA, M. The effect of indoor thermal environment on productivity by a year-long survey of a call centre. **Intelligent Buildings International**, v. 1, n. 3, p. 184–194, 2009.

TELI, D.; JENTSCH, M. F.; JAMES, P. A. B. Naturally ventilated classrooms: an assessment of existing comfort models for predicting the thermal sensation and preference of primary school children. **Energy and Building**, v. 53, p. 166–182, 2012.

TELI, D.; JAMES, P. A. B.; JENTSCH, M. F. Thermal comfort in naturally ventilated primary school classrooms. **Building Research and Information**, v. 41, p. 301–316, 2013.

TELI, D.; JENTSCH, M. F.; JAMES, P. A. B. The role of a building's thermal properties on pupils' thermal comfort in junior school classrooms as determined in field studies. **Building and Environment**, v. 82, p. 640–654, 2014.

TER MORS, S.; HENSEN, J. L. M.; LOOMANS, M. G. L. C.; BOERSTRA, A. C. Adaptive thermal comfort in primary school classrooms: creating and validating PMV – based comfort charts. **Building and Environment**, v. 46, p. 2454-2461, 2011.

TURUNEN, M.; TOYINBO, O.; PUTUS, T.; NEVALAINEN, A.; SHAUGHNESSY, R.; HAVERINEN-SHAUGHNESSY, U. Indoor environmental quality in school buildings, and the health and wellbeing of students. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 217, p. 733-739, 2014.

UNITED NATIONS. **World Urbanization Prospects: The 2014 Revision**. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2015. <esa.un.org/unpd/wup/publications/Files/WUP2014-Report.pdf> Acessado em 13 de abril, 2016.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA). **International Energy Outlook 2016.**

U.S. Department of Energy Washington, DC. 2016. Disponível em: <[www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](http://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2016).pdf)> Acessado em: 18 de maio, 2017.

VAN HOOFF, J. Forty years of Fanger's model of thermal comfort for all? **Indoor Air**, v. 18, p. 182-201, 2008.

VAN HOOFF, J. **Female thermal demand.** Nature Climate Changes, London, p. 1029-1030, 2015.

VÁSQUEZ, N. G. Testing a Method to Assess the Thermal Sensation and Preference of Children in Kindergartens. **In:** 30th International PLEA Conference, 16-18 December, CEPT University, Ahmedabad, 2014.

VIEGAS, R. M.; ANDREASI, W. A. Evaluation of Thermal Comfort of Men and Women in Food Courts. **International Journal of Science and Engineering Investigations**, v. 6, n. 65, p. 159-164, 2017.

WAGNER, A.; GROSSAUER, E.; MOSSMANN, C.; GROPP, T. H.; LEONHART, R. Thermal comfort and workplace occupant satisfaction - results of field studies in German low energy office buildings. **Energy and Building**, v. 39, n.7, p. 758-769, 2007.

WANG, Z.; LI, A.; REN, J.; HE, Y. Thermal adaptation and thermal environment in university classrooms and offices in Harbin. **Energy and Building**, v. 77, p. 192-196, 2014.

WISSLER, E.H. A mathematical model of the human thermoregulatory system. **The Bulletin of Mathematical Biophysics**, v. 26, p. 147-166, 1964.

WONG, N. H.; KHOO, S. S. Thermal comfort in classrooms in the tropics. **Energy and Buildings**, v. 35, p. 337–51, 2003.

WYON, D. P.; ANDERSEN, I.; LUNDQVIST, G. R. Spontaneous magnitude estimation of thermal discomfort during changes in the ambient temperature. **Journal of Hygiene**, v. 70, p. 203-221, 1972.

WYON, D.P.; WARGOCKI, P. How indoor environment affects performance. **Ashrae Journal**, v.55, p. 46-52, 2013.

XAVIER, A. A. D. P. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis/SC**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999. 209p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC. 1999.

XAVIER, A. A. D. P.; LAMBERTS, R. Indices of thermal comfort developed from field survey in Brazil. **ASHRAE Transactions**, v.106, 2000.

YANG, L.; YAN, H.; LAM, J. C. Thermal comfort and building energy consumption implications – A review. **Applied Energy**, v. 115, p. 164–173, 2014.

YAO, R.; LIU, J.; LI, B. Occupants’ adaptive responses and perception of thermal environment in naturally conditioned university classrooms. **Applied Energy**, v. 87, p. 1015–1022, 2010.

YUN, H.; NAM, I.; KIM, J.; YANG, J.; LEE, K.; SOHN, J. A field study of thermal comfort for kindergarten children in Korea: Na assessment of existing models and preferences of children. **Building and Environment**, v. 74, p. 182-189, 2014.

ZEILER, W.; BOXEM, G. Effects of thermal activated buildings systems in schools on thermal comfort in winter. **Building and Environment**, v. 44, p. 2308–2317, 2009.

ZHANG G.; ZHENG, C.; YANG, W.; ZHANG, Q.; MOSCHANDREAS, D. J. Thermal comfort investigation of naturally ventilated classrooms in a subtropical region. **Indoor Built Environ.** v. 16, p. 148–158, 2007.

ZHANG, H.; ARENS, E.; HUIZENGA, C.; HAN, T. Thermal sensation and comfort models for non-uniform and transient environments - Part I: local sensation of individual body parts. **Building and Environment**, v. 45, p. 380–388, 2010a.

ZHANG, H.; ARENS, E.; HUIZENGA, C.; HAN, T. Thermal sensation and comfort models for non-uniform and transient environments, Part II: local comfort of individual body parts. **Building and Environment**, v. 45, p. 389–398, 2010b.

ZHANG, H.; ARENS, E.; HUIZENGA, C.; HAN, T. Thermal sensation and comfort models for non-uniform and transient environments, Part III: Whole-body sensation and comfort. **Building and Environment**, v. 45, p. 399–410, 2010c.

ZHANG, Y.; WANG, J.; CHEN, H.; ZHANG, J.; MENG, Q. Thermal comfort in naturally ventilated buildings in hot-humid area of China. **Building and Environment**, v. 45, p. 2562–2570, 2010d.

ZHANG, Y.; CHEN, H.; ZHANG, J.; MENG, Q. Thermal comfort in buildings with split air-conditioners in hot-humid area of China, *Build. Environ.* **Building and Environment**, v. 64, p. 213–224, 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, p. 15–41, 2015.

ZHU, Y.; LUO, M.; OUYANG, Q.; HUANG, L.; CAO, B. Dynamic characteristics and comfort assessments of airflows in indoor environments: A review. **Building and Environment**, v. 91, p. 5–14, 2015.

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 - MODELO DO QUESTIONÁRIO APLICADO NO ESTUDO



Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia
Laboratório de Análise e Desenvolvimento de Edificações
Mestrado Profissional em Eficiência Energética e Sustentabilidade
Conforto e Aceitabilidade Térmica com Eficiência Energética em escola de nível fundamental e médio em região de clima quente e úmido do Brasil
Orientador: Prof. Dr. Wagner Augusto Andreasi
Mestranda: Arquiteta Natácha Viana Seabra de Freitas

Lade

1

QUESTIONÁRIO DE ACEITABILIDADE TÉRMICA

Dados do ambiente estudado:				
Período Manhã		Data: __/__/__	Ambiente Condicionado	
Período Tarde			Naturalmente	Mecanicamente
				Artificialmente

1) Dados pessoais:

Idade: ____ anos Altura: ____ m Peso: ____ kg Sexo: () Masculino () Feminino

2) Marque as roupas que está utilizando neste momento:



3) Como você está se sentindo neste momento?

	1º horário	2º horário	3º horário	4º horário
Com muito calor				
Com calor				
Levemente com calor				
Neutro				
Levemente com frio				
Com frio				
Com muito frio				

4) De que maneira você está termicamente neste momento?

	1º horário	2º horário	3º horário	4º horário
Confortável				
Levemente confortável				
Levemente desconfortável				
Desconfortável				

5) Como você preferiria estar termicamente neste momento?

	1º horário	2º horário	3º horário	4º horário
Mais aquecido				
Aquecido				
Levemente aquecido				
Neutro				
Levemente resfriado				
Resfriado				
Mais resfriado				

6) Como você avalia a velocidade do ar neste momento?

	1º horário	2º horário	3º horário	4º horário
Muito alta				
Alta				
Neutro				
Baixa				
Muito baixa				

APÊNDICE B - TABELAS PARA O DESENVOLVIMENTO DAS CORRELAÇÕES ENTRE OS VOTOS E OS ÍNDICES.

A Tabela 01 auxiliou no desenvolvimento das correlações entre as porcentagens dos votos com os índices calculados nas salas com ventilação natural. A Tabela 02 auxiliou no desenvolvimento das correlações entre as porcentagens dos votos com os índices calculados nas salas com ventilação de modo misto. A Tabela 03 auxiliou no desenvolvimento das correlações entre as porcentagens dos votos e os índices calculados nas salas com ar-condicionado.

Tabela 21 - Salas com ventilação natural.

	VST		ASHRAE 55		EN 15251		ISO 7730		ANDREASI	
	(%)		(%)		(%)		(%)		(%)	
	Pri.	Ver.	Pri.	Ver.	Pri.	Ver.	Pri.	Ver.	Pri.	Ver.
CMC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,1
CC	0,6	1,6	0	0	0	0	0	27,1	0	27,1
LC	6	14,6	0,6	4,7	0,6	9,4	0	0	1,2	15,6
N	50,6	51	47,6	77,1	47,6	72,4	1,2	0	31	55,2
LF	31,5	28,1	47,6	18,2	28,6	18,2	86,3	72,9	16,1	0
CF	6,5	4,7	4,2	0	23,2	0	12,5	0	43,5	0
CMF	4,8	0	0	0	0	0	0	0	8,3	0
Legenda:	Pri. - Primavera Ver. - Verão									

Fonte: Autor (2017).

Tabela 22 - Salas com ventilação de modo misto.

	VST		ASHRAE 55		EN 15251		ISO 7730		ANDREASI	
	(%)		(%)		(%)		(%)		(%)	
	Pri.	Ver.	Pri.	Ver.	Pri.	Ver.	Pri.	Ver.	Pri.	Ver.
CMC	0	12,9	0	0	0	38,7	0	0	0	0
CC	4,2	35,2	0	53,1	0	50	57,6	50,8	0	100
LC	27,5	32,4	15,3	46,9	15,3	11,3	0	49,2	0	0
N	51,3	19,1	78	0	71,2	0	0	0	61,9	0
LF	15,3	0,4	6,8	0	13,6	0	42,4	0	38,1	0
CF	1,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CMF	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Legenda:	Pri. - Primavera Ver. - Verão									

Fonte: Autor (2017).

Tabela 23 - Salas com ar-condicionado.

	VST		ASHRAE 55		EN 15251		ISO 7730		ANDREASI	
	(%)		(%)		(%)		(%)		(%)	
	Pri.	Ver.	Pri.	Ver.	Pri.	Pri.	Ver.	Pri.	Ver.	Pri.
CMC	6,6	14	0	0	0	0	0	0	0	0
CC	21,7	19,1	27,5	2,3	84,9	89,4	15,1	5,2	20,9	82,7
LC	35,5	27,2	62,4	92,4	15,1	10,6	84,9	94,8	79,1	17,3
N	29,5	32,6	10,1	5,2	0	0	0	0	0	0
LF	6,2	6,7	0	0	0	0	0	0	0	0
CF	0,6	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
CMF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Legenda: Pri. - Primavera
Ver. - Verão

Fonte: Autor (2017).