

Renata De Vecchi

**AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES  
COMERCIAIS QUE OPERAM SOB SISTEMAS MISTOS DE  
CONDICIONAMENTO AMBIENTAL EM CLIMA  
TEMPERADO E ÚMIDO**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil.

Orientador: Roberto Lamberts, PhD.

Coorientadora: Dra. Christhina Cândido.

Florianópolis  
2015

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

De Vecchi, Renata

Avaliação de conforto térmico em edificações comerciais que operam sob sistemas mistos de condicionamento ambiental em clima temperado e úmido. / Renata De Vecchi; orientador, Roberto Lamberts; coorientadora, Christhina M. Cândido. - Florianópolis, SC, 2015. 237 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Conforto térmico. 3. Sistemas mistos de climatização. 4. Clima temperado e úmido. I. Lamberts, Roberto. II. Cândido, Christhina. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. IV. Título.

Renata De Vecchi

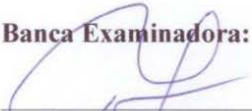
**AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES  
COMERCIAIS QUE OPERAM SOB SISTEMAS MISTOS DE  
CONDICIONAMENTO AMBIENTAL EM CLIMA TEMPERADO  
E ÚMIDO**

Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Civil, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 28 de Agosto de 2015.

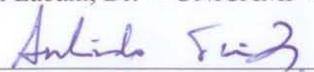
\_\_\_\_\_  
Prof. Glicério Trichês, Dr.  
Coordenador do Curso

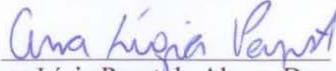
**Banca Examinadora:**

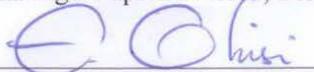
  
\_\_\_\_\_  
Prof. Roberto Lamberts, PhD  
Orientador - UFSC

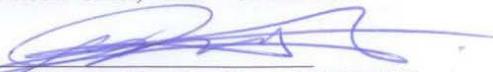
*Candido*  
\_\_\_\_\_  
Dr.<sup>a</sup> Christhina Cândido  
Coorientadora – USYDNEY

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Lucila Chebel Labaki, Dr.<sup>a</sup> – UNICAMP - (Videoconferência)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Arlindo Tribess, Dr. – USP - (Videoconferência)

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Ana Lígia Papst de Abreu, Dra. – IFSC

  
\_\_\_\_\_  
Prof. EneDir Ghisi, PhD. – UFSC/ECV

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Martin Ordenes Mizgier, Dr. – UFSC/ARQ



*Á minha querida família,  
imprescindível em minha formação.*



## AGRADECIMENTOS

Certamente esta não é a parte mais fácil de uma tese, contrariando talvez a opinião alheia. Agradecer a todas as pessoas envolvidas nestes anos de estudo é uma tarefa árdua, e, ao mesmo tempo emocionante, que me tomou muito mais que algumas poucas horas.

A começar pelo meu orientador e coorientadora, que me orientaram e às vezes até “desorientaram” (quase nunca, é importante dizer!) nestes últimos seis anos. Professor Roberto Lamberts, a quem devo profundo agradecimento por toda a sabedoria dispensada, daquele tipo que só quem trabalhou muito e se dedicou de corpo e alma possui. À Christhina Cândido, que muito mais que minha coorientadora, é também minha amiga, parceira, cicerone, conselheira, psicóloga, cozinheira... é, faltam palavras e sobram lágrimas para falar dela; muito obrigada Chris, por tudo. Tenho muito orgulho de ter sido orientada por vocês dois.

Ao querido Richard de Dear, que me recebeu no *Indoor Environmental Quality Laboratory* da *University of Sydney* e me proporcionou sete meses de aprendizado incrível, que levarei por toda a vida. Obrigada, Ritchie, por todas as orientações na sua sala, no pub e até mesmo durante as aulas de BodyPump e RPM.

Ao Karran Besen, que colocou a ideia do questionário em prática, desenvolveu o software e criou o banco de dados no servidor da Universidade do jeitinho que nós pedimos; ao Ricardo Rupp e ao Bernardo Asmus, que estiveram comigo nos experimentos de campo.

Ao Saulo Güths e sua equipe do Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas da UFSC, que atenderam a todas as nossas solicitações e calibraram os equipamentos incansavelmente.

A todos os diretores e responsáveis pelas empresas onde os experimentos foram realizados, que nos receberam e abriram as portas gentilmente. Aos participantes que responderam pacientemente ao questionário desta tese. Graças à compreensão e colaboração de vocês, os resultados poderão ser publicados e a pesquisa de conforto térmico no Brasil dará um passo adiante.

Aos professores que participaram da banca de qualificação: EneDir Ghisi, Fernando RuttKay e Lucila Labaki, muito obrigada. Este volume contém os comentários e contribuições de vocês.

Aos amigos do IEQ Lab que, por compartilharem a mesma paixão que eu, contribuíram em altíssimo grau para o fechamento desta tese. Tenho certeza que cada um deles poderá lembrar-se de alguma conversa que tivemos ao folhear o capítulo de resultados. Ashak Nathwani, Fan Jessy Zhang, Jungsoo Kim e Thomas Parkinson, thank you guys so much!

A todos os amigos do LabEEE pelas conversas, convívio, almoços, churrascos, cervejas e discussões científicas. Em especial à Andrea Triana, Ana Paula Melo, Márcio Sorgato, Miguel Pacheco e Rogério Versage - amigos do peito que acompanharam um pouco mais de perto os momentos de alegria e tensão durante o doutorado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), que financiou grande parte desta pesquisa, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), que financiou o período entre o sanduíche na Austrália e a reta final.

À banda The Kooks, que embalou a trilha sonora do mestrado, e agora vem embalando a trilha sonora dos momentos finais desta tese (em especial estas folhas de agradecimentos). A criatividade dos álbuns e o lançamento constante de músicas novas fez com que eu nunca me cansasse de ouvi-las.  You give it away so eaaaasy, babe. 

Finalmente, mas nunca menos importante, à minha Família – com F maiúsculo mesmo. Meus pais, Osmar e Marly, meus irmãos Rodrigo, Rafael, Giovanna e Francesco, e meu maior cúmplice Marcelo, que nasceu em uma família diferente da minha, mas que se tornou parte dela nos últimos 12 anos (embora o destino tenha nos unido desde muito cedo, ainda na infância). Muito obrigada a todos vocês, que estiveram perto de mim e acreditaram – na maioria das vezes muito mais que eu mesma – que este trabalho seria entregue. Vocês me inspiram todos os dias, e me fazem uma pessoa muito melhor. Obrigada de coração!

*“...a rational calculation of heating and air-conditioning systems must begin with the conditions for comfort...”*

(P.O. Fanger)



## RESUMO

Edificações mistas, de uma forma geral, são aquelas que operam predominantemente de forma passiva, mas que de acordo com a necessidade dos ocupantes podem recorrer à utilização do condicionamento artificial. Tais edifícios, ao oferecer a oportunidade de controle aos seus ocupantes, se tornam mais eficientes, reduzem os problemas relacionados à qualidade interna do ar e, assim, resultam em níveis mais altos de satisfação térmica. Embora o número de edificações mistas tenha crescido significativamente nos últimos anos, existe pouca informação a respeito do desempenho e da forma como elas são operadas. Nesse contexto, o principal objetivo deste trabalho é avaliar as condições de conforto térmico em edificações que operam sob o modo misto de condicionamento, comparando-as às edificações que operam com sistemas centrais durante todo o ano, reunindo informações valiosas para a futura proposição de um método de avaliação no contexto brasileiro. Para este fim, foram selecionadas edificações comerciais que operam com os dois tipos de sistemas discutidos, onde se mediram as variáveis ambientais (temperatura do ar, velocidade do ar, temperatura de globo e umidade relativa do ar) simultaneamente ao preenchimento de questionários, aplicados a partir de um software desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE/UFSC). Coletou-se um total de 2.688 votos subjetivos relacionados à percepção térmica e da velocidade do ar (1.274 em uma edificação com sistema central, e 1.414 em duas edificações com sistemas mistos), que envolveram todas as estações do ano de 2014. Os resultados apontaram diferenças pouco significativas entre os dois tipos de edificações analisadas, se considerados os votos de sensação, conforto e aceitabilidade térmica. No entanto, a temperatura neutra preferida apontou diferenças de  $1,1^{\circ}\text{C}$  entre os dois tipos de edificações, e de  $2,6^{\circ}\text{C}$  entre os dois modos de operação observados em edificações com sistemas mistos (ar condicionado vs. ventilação natural). Entre os gêneros, idades e condições físicas consideradas, estas diferenças atingiram  $3,0^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Os dados coletados em edificações que funcionam de forma mista mostraram que a sensação e a preferência térmica, além da preferência pela velocidade do ar, são dependentes do modo de operação e variam significativamente quando se transita entre um modo e outro. Concluiu-se ainda que a memória térmica é um fator de grande importância na escolha pela estratégia de climatização ambiental dos ocupantes, enquanto o método proveniente do modelo

adaptativo foi considerado o mais eficaz para a avaliação de conforto térmico em edificações que operam de forma mista.

**Palavras-chave:** Conforto térmico, sistemas mistos de climatização, clima temperado e úmido.

## ABSTRACT

Mixed-mode buildings, briefly, are those that operate with a passive cooling system, changing accordingly with the occupants needs by using the air-conditioning system whenever the outdoor weather conditions turn into unfeasible for them. When offering the control opportunity to occupants, such buildings become more efficient, improve the internal air quality and deliver higher levels of thermal satisfaction. Although the number of these kinds of buildings significantly increased over the last years, the knowledge about the performance and operation mode is still unknown. Thus, the main objective of this work is to evaluate thermal comfort conditions in mixed-mode buildings and compare them to HVAC buildings, bringing together a framework for a future method under the Brazilian context. In order to achieve this particular aim, commercial buildings with the two kinds of climatization systems were analysed by measuring indoor climatic variables (air temperature, air speed, globe temperature and relative humidity) simultaneously to the application of electronic questionnaires, which were developed by the Energy Efficiency in Buildings Laboratory (LabEEE/UFSC). A total of 2.688 votes related to thermal and air speed perception were collected (1.247 votes in HVAC buildings and 1.414 in mixed-mode buildings), including the four seasons of 2014. The results showed no significant differences between the two kinds of buildings analysed when thermal sensation and acceptability votes were considered. However, the preferred neutral temperature showed 1.1K differences between the two types of buildings; and 2.6K between the two operating modes observed in the mixed-mode buildings (air conditioning or natural ventilation). The gender, age groups and body composition analysis resulted in  $3.0K \pm 0.5K$  differences in the preferred temperature. In addition, thermal sensation and preference votes in mixed-mode buildings showed a great dependence of the operating mode, varying when the building changes from naturally ventilated to artificially conditioning. Thermal history revealed to be a major factor in the climatization system chosen by the occupant, whereas the method from adaptive model was considered the most effective one in the evaluation process of thermal comfort in mixed-mode buildings.

**Keywords:** thermal comfort, mixed-mode buildings, temperate and humid climates.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Exemplos de cilindros e representação do núcleo do corpo até a superfície da pele. ....	31
Figura 2. Comparação entre a previsão do modelo de Fanger e o modelo de Gagge.....	34
Figura 3. Comparação entre a sensibilidade dos modelos de Fanger e Tranmod às mudanças nos valores de velocidade do ar. ....	34
Figura 4. Comparação entre a previsão de valores provenientes de diferentes modelos adaptativos.....	39
Figura 5. Média de votos por categoria de uso da edificação. ....	41
Figura 6. Distribuição da frequência acumulada de votos de satisfação térmica da base de dados do CBE.....	42
Figura 7. Zona de conforto térmico para ambientes internos em espaços comerciais no Brasil de acordo com a NR 17 (1990). ....	45
Figura 8. Zona de conforto térmico para ambientes internos em espaços comerciais no Brasil de acordo com a NBR 16401-2 (2008).....	47
Figura 9. Representação da forma de operação do sistema simultâneo. ....	49
Figura 10. Representação da forma de operação do sistema de conversão. ....	50
Figura 11. Representação da forma de operação do sistema de zoneamento. ....	51
Figura 12. Aceitabilidade da velocidade do ar em diferentes estudos. ....	56
Figura 13. Votos de sensação térmica relacionados à velocidade do ar considerando diferentes intervalos de temperatura. ....	56
Figura 14. Fluxograma para determinação da zona de conforto em ambientes com alta velocidade do ar. ....	57
Figura 15. Modificações na zona de neutralidade térmica.....	59
Figura 16. Série de indicadores apontados como fatores-chave no crescimento do número de obesos nas últimas décadas. ....	68
Figura 17. Dados climáticos de Florianópolis e faixas de aceitabilidade.....	74
Figura 18. Modelos das cadeiras de escritório utilizadas nas empresas envolvidas nos experimentos. ....	75
Figura 19. Confortímetro SENSU: componentes e sensores. ....	79
Figura 20. Termoanemômetro portátil de fio quente. ....	81
Figura 21. Termoanemômetro portátil digital AirFlow TA35. ....	82
Figura 22. Comparação entre os dados diários de temperatura média do ar externo medido em três estações meteorológicas diferentes nos dias em que os experimentos foram realizados. ....	83
Figura 23. Exemplo de croquis com informações adicionais e plantas das salas onde se realizavam os experimentos de campo.....	84
Figura 24. Telas de avisos durante as etapas de participação do questionário. A) programação inicial; B) notificação de tempo e C) tela final de agradecimento. ....	90
Figura 25. Execução do questionário e demais procedimentos durante a realização dos experimentos de campo. ....	91

Figura 26. Intervalo de temperatura operativa e SET* aceitáveis de acordo com a velocidade do ar do método gráfico para altas velocidades do ar. ....	93
Figura 27. Intervalo de temperaturas operativas aceitáveis para espaços naturalmente ventilados. ....	94
Figura 28. Protocolo de medição adotado na realização dos experimentos. ...	101
Figura 29. Variação da temperatura operativa e frequência de valores observados na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b). ....	103
Figura 30. Variação da umidade relativa do ar e frequência de valores observados na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b). ....	104
Figura 31. Histograma dos valores de temperatura efetiva padrão (SET*) observados na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b). ....	105
Figura 32. Frequência dos valores de velocidade do ar medidos na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b). ....	106
Figura 33. Distribuição da vestimenta (clo) entre ocupantes do gênero masculino e feminino. ....	107
Figura 34. Relação entre a vestimenta dos usuários e a estação do ano. ....	107
Figura 35. Distribuição dos valores de vestimenta (clo) de acordo com o SET* na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b). ....	108
Figura 36. Classificação dos ocupantes de acordo com o índice de massa corporal na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b). ....	109
Figura 37. Distribuição das diferentes classes de peso de acordo com o gênero dos ocupantes na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b). ....	110
Figura 38. Rotina de exercícios físicos de ocupantes do gênero feminino e masculino na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b). ....	110
Figura 39. Conforto térmico de acordo com a temperatura efetiva padrão (SET*) na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b). ....	111
Figura 40. Conforto térmico vs. sensação térmica na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b). ....	112
Figura 41. Sensação térmica dos ocupantes de acordo com a temperatura efetiva padrão (SET*) na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b). ....	113
Figura 42. Comportamento da sensação térmica média em função do SET* em edificações que operam com sistema central e sistemas mistos. ....	114
Figura 43. Aceitabilidade térmica de acordo com o SET* na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b). ....	114

Figura 44. Frequência de votos de preferência térmica de acordo com o SET na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b).....	116
Figura 45. Análise <i>probit</i> a partir da preferência térmica na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b).....	117
Figura 46. Aceitabilidade da velocidade do ar de acordo com a temperatura efetiva padrão na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b). .....	119
Figura 47. Preferência da velocidade de acordo com a temperatura efetiva padrão na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b). .....	120
Figura 48. Preferência da velocidade do ar de acordo com o SET* e a velocidade do ar medida na edificação que opera com sistema central de condicionamento artificial. ....	120
Figura 49. Preferência da velocidade do ar de acordo com o SET* e a velocidade do ar medida em edificações que operam com sistemas mistos de condicionamento ambiental. ....	121
Figura 50. Aceitabilidade térmica vs. a preferência pela velocidade do ar na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b).....	121
Figura 51. Frequência de ocupantes com e sem exposição prévia na edificação com sistema central (tipo 1) e sistemas mistos (tipo 2).....	122
Figura 52. Preferência pela estratégia de climatização em períodos quentes de ocupantes da edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b). ....	123
Figura 53. Exposição prévia vs. a preferência pelo sistema de climatização da edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b).....	124
Figura 54. Frequência de votos coletados de acordo com o modo de operação e estação do ano em edificações que operam de forma mista.....	127
Figura 55. Dados de temperatura média do ar externo de acordo com o SET* durante os períodos de medição em edificações mistas no modo de operação 1. ....	128
Figura 56. Dados de temperatura média do ar externo de acordo com a temperatura efetiva padrão interna durante os períodos de medição em edificações mistas no modo de operação 2. ....	128
Figura 57. Operação de edificações mistas observada em cada um dos experimentos de campo. ....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 58. Conforto térmico de acordo com a temperatura efetiva padrão (SET*) durante o modo de operação 1 (a), e durante o modo de operação 2 (b). ....	131
Figura 59. Conforto térmico vs. sensação térmica durante o modo de operação 1 (a), e durante o modo de operação 2 (b). ....	132

Figura 60. Frequência dos votos de sensação térmica de acordo com o SET* durante o modo de operação 1 (a), e durante o modo de operação 2 (b).....	132
Figura 61. Diferenças na sensação térmica média em edificações mistas considerando os votos provenientes dos modos de operação 1 e 2.....	133
Figura 62. Frequência de votos de aceitabilidade térmica de acordo com o SET* durante o modo de operação 1 e modo de operação 2.....	134
Figura 63. Comportamento dos votos de preferência térmica de acordo com as faixas de SET* durante o modo de operação 1 e modo de operação 2. ....	135
Figura 64. Modelo de análise <i>PROBIT</i> a partir dos votos de preferência térmica provenientes de ambos os modos de operação em edificações mistas.....	136
Figura 65. Frequência de votos de aceitabilidade relacionada à velocidade do ar de acordo com os valores de SET* durante o modo de operação 1 e modo de operação 2 .....	137
Figura 66. Aceitabilidade relacionada à velocidade de acordo com os valores de SET* durante o modo de operação 1 e modo de operação 2 .....	137
Figura 67. Preferência pela velocidade do ar de acordo com os valores de SET* durante o modo de operação 1 (a), e durante o modo de operação 2 (b).....	138
Figura 68. Frequência dos valores de temperatura efetiva padrão observados a partir do novo volume de dados amostrais considerado.....	142
Figura 69. Caracterização dos participantes de acordo com o gênero e faixa etária. ....	143
Figura 70. Caracterização dos participantes de acordo com a classe de peso e faixa etária considerada. ....	143
Figura 71. Frequência de votos na escala de sensação térmica de acordo com o SET* no grupo de ocupantes do gênero masculino. ....	144
Figura 72. Frequência de votos na escala de sensação térmica de acordo com o SET* no grupo de ocupantes do gênero feminino. ....	145
Figura 73. Frequência dos votos de sensação térmica entre homens e mulheres. ....	145
Figura 74. Comparação das médias entre os votos de sensação térmica em função do SET* de ocupantes do gênero masculino e feminino.....	146
Figura 75. Preferência térmica de acordo com a escala de valores de SET* no grupo masculino.....	147
Figura 76. Preferência térmica de acordo com a escala de valores de SET* no grupo feminino.....	147
Figura 77. Preferência térmica de acordo com a escala de valores de SET* no grupo feminino.....	148
Figura 78. Exposição prévia entre os ocupantes de diferentes gêneros.....	149
Figura 79. Preferência pela estratégia de climatização entre os ocupantes de diferentes gêneros. ....	149
Figura 80. Preferência pelo sistema de climatização de acordo com exposição prévia ao condicionamento artificial no grupo masculino (a) e feminino (b). ....	150
Figura 81. Sensação térmica de ocupantes do grupo etário 1 (< 30 anos) de acordo com o SET* interno. ....	151

Figura 82. Sensação térmica de ocupantes do grupo etário 2 (entre 31 e 50 anos) de acordo com o SET*.	151
Figura 83. Sensação térmica de ocupantes do grupo etário 3 (> 51 anos) de acordo com SET*.	151
Figura 84. Comportamento da média dos votos de sensação térmica entre os grupos etários e o SET*.	152
Figura 85. Votos de preferência térmica de acordo com os valores de SET* no grupo etário 1.	153
Figura 86. Votos de preferência térmica de acordo com os valores de SET* no grupo etário 2.	153
Figura 87. Votos de preferência térmica de acordo com os valores de SET* no grupo etário 3 (> 50 anos).	153
Figura 88. Exposição prévia entre grupos de diferentes faixas etárias.	154
Figura 89. Preferência pelo sistema de climatização entre grupos de diferentes faixas etárias.	154
Figura 90. Preferência pelo sistema de climatização de acordo com a existência ou não da exposição prévia entre os diferentes grupos etários.	155
Figura 91. Sensação térmica de ocupantes “abaixo do peso”.	156
Figura 92. Sensação térmica de ocupantes com o peso “normal”.	156
Figura 93. Sensação térmica de ocupantes “acima do peso”.	156
Figura 94. Sensação térmica de ocupantes “obesos”.	156
Figura 95. Votos de sensação térmica médios dentre os ocupantes de diferentes índices de massa corporal.	157
Figura 96. Preferência térmica de acordo com o SET* de ocupantes “abaixo do peso”.	158
Figura 97. Preferência térmica de acordo com o SET* de ocupantes com “peso normal”.	158
Figura 98. Preferência térmica de acordo com o SET* de ocupantes “acima do peso”.	159
Figura 99. Preferência térmica de acordo com o SET* de ocupantes “obesos”.	159
Figura 100. Preferência pela estratégia de climatização de grupos com diferentes classificações de índice de massa corporal.	160
Figura 101. Preferência sistema de climatização x exposição prévia de usuários classificados como “abaixo do peso” (a) e “peso normal” (b), “acima do peso” (c) e com “obesidade” (d).	161
Figura 103. Preferência térmica de ocupantes que nunca se exercitam.	162
Figura 104. Preferência térmica de ocupantes que se exercitam de duas a três vezes por semana.	162
Figura 105. Preferência térmica de ocupantes que fazem exercícios físicos diariamente.	163
Figura 106. Rotina de exercícios físicos de acordo com a classificação do índice de massa corporal.	164

Figura 107. Comparação entre o voto médio real (AMV) e o voto médio predito (PMV) de ocupantes na edificação com sistema central de climatização ambiental. ....	167
Figura 108. Comparação entre o voto médio real (AMV) e o voto médio predito (PMV) de ocupantes em edificações que operam de forma mista, independentemente do modo de operação. ....	168
Figura 109. Comparação entre o voto médio real (AMV) e o voto médio predito (PMV) de ocupantes em edificações que operam de forma mista durante a utilização da ventilação natural. ....	169
Figura 110. Comparação entre o voto médio real (AMV) e o voto médio predito (PMV) de ocupantes em edificações que operam de forma mista durante a utilização do condicionamento artificial. ....	169
Figura 111. Aplicação da zona de conforto térmico de acordo com a velocidade do ar interna nos votos de aceitabilidade térmica coletados na edificação que opera com sistema central de condicionamento ambiental. ....	172
Figura 112. Aplicação da zona de conforto térmico de acordo com a velocidade do ar interna no total de votos de aceitabilidade térmica de edificações que operam de forma mista, independentemente da forma de operação. ....	173
Figura 113. Votos de aceitabilidade térmica provenientes da edificação com sistema central de condicionamento ambiental plotados na zona de aceitabilidade térmica do modelo adaptativo. ....	174
Figura 114. Votos de aceitabilidade térmica provenientes de edificações que operam de forma mista plotados na zona de aceitabilidade térmica do modelo adaptativo, independente da estratégia de climatização utilizada. ....	175
Figura 115. Estações microclimáticas SENSU durante a medição realizada para a primeira comparação (à esquerda), e a medição realizada para a segunda comparação (à direita) . ....	206
Figura 116. Primeira comparação dos valores de temperatura do ar. ....	207
Figura 117. Segunda comparação dos valores de temperatura do ar. ....	207
Figura 118. Primeira comparação dos valores de velocidade do ar. ....	208
Figura 119. Segunda comparação dos valores de velocidade do ar. ....	209
Figura 120. Primeira comparação dos valores de temperatura de globo. ....	209
Figura 121. Segunda comparação dos valores de temperatura de globo. ....	210
Figura 122. Primeira comparação dos valores de umidade relativa do ar. ....	210
Figura 123. Segunda comparação dos valores de umidade relativa do ar. ....	211
Figura 124. Dados da avaliação do software do questionário relacionados à facilidade de uso. ....	216
Figura 125. Dados da avaliação do software do questionário relacionados à interpretação das perguntas. ....	216
Figura 126. Dados da avaliação do software do questionário relacionados à rapidez de uso na primeira parte de perguntas. ....	217
Figura 127. Dados da avaliação do software do questionário relacionados à rapidez de uso na segunda parte de perguntas. ....	217
Figura 128. Dados da avaliação do software do questionário relacionados à rapidez de uso na terceira parte de perguntas. ....	217

Figura 129. Dados da avaliação do software do questionário relacionados à interface. ....	218
Figura 130. Dados da avaliação do software do questionário relacionados à interferência no trabalho. ....	218
Figura 131. Análise probit entre os votos de preferencia térmica de ocupantes do grupo masculino comparados aos votos de ocupantes do grupo feminino. ....	229
Figura 132. Análise do modelo de regressão probit entre os diferentes grupos etários. ....	229
Figura 133. Análise de regressão probit entre os grupos com diferentes classificações de índice de massa corporal. ....	230
Figura 134. Análise probit entre os grupos que exercitam fisicamente de duas a três vezes por semana (esquerda), e ocupantes que não praticam atividade física alguma (direita).....	231



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Questões do grupo A e as respectivas alternativas de respostas.....	85
Tabela 2. Questões do grupo B e as respectivas alternativas de respostas e escala considerada. ....	87
Tabela 3. Aplicabilidade dos métodos de avaliação de conforto térmico. ....	94
Tabela 4. Variação do coeficiente A em função da velocidade do ar para o cálculo da temperatura operativa. ....	96
Tabela 5. Valores para a validação do PMV e PPD e os resultados encontrados (PMV* e PPD*, respectivamente). ....	98
Tabela 6. Classificação Internacional de adultos abaixo do peso, normal, acima do peso e obesos de acordo com o IMC.....	100
Tabela 7. Variabilidade das condições ambientais internas medidas e índices de conforto térmico calculados das edificações investigadas. ....	103
Tabela 8. Descrição estatística das características individuais dos ocupantes envolvidos no experimento de campo.....	106
Tabela 9. Preferência térmica dos ocupantes que consideraram o ambiente “inaceitável” .....	118
Tabela 10. Descrição estatística das características individuais de ocupantes envolvidos na amostra total de dados. ....	142
Tabela 11. Avaliação da aceitabilidade térmica de acordo com diferentes faixas de voto médio predito (PMV) na edificação do que opera com um sistema central de condicionamento ambiental.....	170
Tabela 12. Avaliação da aceitabilidade térmica de acordo com diferentes faixas de voto médio predito (PMV) em edificações que operam de forma mista. ...	171



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AC – Ar-condicionado

AMV – Voto Médio Real (*Actual Mean Vote*)

ESC – Edificação com sistema central de condicionamento ambiental

ESM – Edificações com sistemas mistos de condicionamento ambiental

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

LabCon – Laboratório de Conforto Ambiental

LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

LMPT – Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas

PMV – Voto Médio Preditado (*Predicted Mean Vote*)

PPD – Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (*Predicted Percentage of Dissatisfied*)

SET\* - Temperatura Efetiva Padrão Corrigida (*Standard Effective Temperature Star*)

$T_{ar}$  – Temperatura do Ar (°C)

$T_g$  – Temperatura de Globo (°C)

$T_{mpa(ext)}$  – Temperatura Média Predominante do Ar Externo (°C)

$T_{rm}$  – Temperatura Radiante Média (°C)

$T_{op}$  – Temperatura Operativa (°C)

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UR – Umidade Relativa (%)

$V_{ar}$  – Velocidade do Ar (m/s)



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>25</b>
1.1 OBJETIVOS	27
1.1.1 Objetivo Geral	27
1.1.2 Objetivos Específicos	27
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO	27
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>29</b>
2.1 AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO: DOS ÚLTIMOS 50 ANOS AO ESTADO DA ARTE	29
2.1.1 Modelos fisiológicos e psicológicos	30
2.1.2 O modelo adaptativo na área de conforto térmico	35
2.1.3 Edificações com sistemas mistos de condicionamento	40
2.1.4 Normas de conforto térmico e a lacuna atual	43
2.2 SISTEMAS MISTOS DE CONDICIONAMENTO: CONTEXTUALIZAÇÃO E PARÂMETROS DE INFLUÊNCIA	48
2.2.1 Características gerais e modos de operação	48
2.2.2 Estratégias de controle e comportamento do usuário	51
2.2.3 A velocidade do ar como estratégia de climatização	54
2.3 CARACTERÍSTICAS PESSOAIS E IMPLICAÇÕES NOS ESTUDOS DE CONFORTO TÉRMICO	58
2.3.1 Idade	60
2.3.2 Gênero	63
2.3.3 Condição física e peso	66
2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
<b>3 MATERIAIS E MÉTODO</b>	<b>72</b>
3.1 CONTEXTO CLIMÁTICO DE FLORIANÓPOLIS	73
3.2 EDIFICAÇÕES INVESTIGADAS	74
3.2.1 Empresa A	75
3.2.2 Empresa B	76
3.2.3 Empresa C	77

3.3 VARIÁVEIS AMBIENTAIS, INSTRUMENTAÇÃO E TÉCNICAS DE MEDIÇÃO	78
3.3.1 Variáveis ambientais internas	78
3.3.2 Temperatura do ar externo	83
3.3.3 Técnicas de medição	83
3.4 QUESTIONÁRIO ELETRÔNICO E TÉCNICAS DE APLICAÇÃO	85
3.4.1 Questões do grupo A	85
3.4.2 Questões do grupo B	87
3.4.3 Software e as técnicas de aplicação	89
3.5 ANÁLISE DOS DADOS LEVANTADOS	92
3.5.1 Temperatura radiante média	94
3.5.2 Temperatura operativa	96
3.5.3 Temperatura efetiva padrão corrigida	97
3.5.4 Cálculo do PMV e PPD	97
3.5.5 Temperatura média predominante do ar externo	98
3.5.6 Índice de Massa Corporal	99
3.6 AMOSTRA DE DADOS COMPLEMENTAR	100
<b>4 RESULTADOS</b>	<b>102</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO E APRESENTAÇÃO DOS DADOS	102
4.1.1 Variáveis ambientais e índices de conforto térmico	102
4.1.2 Caracterização dos ocupantes	106
4.2 EDIFICAÇÕES CLIMATIZADAS A PARTIR DE SISTEMA CENTRAL VS. EDIFICAÇÕES CONDICIONADAS DE FORMA MISTA	111
4.2.1 Conforto, sensação, preferência e aceitabilidade térmica	111
4.2.2 Aceitabilidade e preferência da velocidade do ar	118
4.2.3 Influência da memória térmica	122
4.2.4 Discussão	124
4.3 CONFORTO E OPERAÇÃO DE EDIFICAÇÕES MISTAS	126
4.3.1 Análise do modo de operação	126
4.3.2 Conforto, sensação, preferência e aceitabilidade térmica	131

4.3.3 Aceitabilidade e preferência da velocidade do ar	136
4.3.4 Discussão	138
4.4 INDICADORES ANTROPOMÉTRICOS ASSOCIADOS AO CONFORTO TÉRMICO	141
4.4.1 Gênero	143
4.4.2 Idade	150
4.4.3 Peso	155
4.4.4 Discussão	164
4.5 APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE CONFORTO TÉRMICO	166
4.5.1 Aplicação do método geral destinado a ambientes térmicos aceitáveis de espaços ocupados	166
4.5.2 Aplicação do método para edificações ventiladas naturalmente	174
4.5.3 Discussão	176
<b>5 CONCLUSÕES</b>	<b>178</b>
5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO	181
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	182
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>184</b>
<b>APÊNDICE A</b>	<b>203</b>
<b>APÊNDICE B</b>	<b>205</b>
B.1 Calibração dos equipamentos	205
B.1.1 Confortímetros SENSU e sensor de velocidade do ar portátil	205
B.2 Aplicação do protocolo de medição	211
B.3 Aplicação do Questionário	212
B.3.1 Ajustes na tela inicial: dados gerais e características pessoais	212
B.3.2 Ajustes na tela de avaliação em tempo real	213
B.3.3 Ajustes na tela final do questionário	215
B.4 Avaliação do questionário pós-participação no experimento	215
B.4.1 Avaliação do questionário	215
<b>APÊNDICE C</b>	<b>219</b>
<b>APÊNDICE D</b>	<b>221</b>
<b>APÊNDICE E</b>	<b>225</b>

**APÊNDICE F**  
**APÊNDICE G**

**228**

**229**

## 1. INTRODUÇÃO

Em uma era em que o consumo da energia elétrica e a escassez de recursos naturais se tornaram discussão recorrente em todo o mundo, a preocupação com a escala de crescimento de custos e demanda de energia elétrica de pico se agravou exponencialmente. Proporcionalmente, as mudanças climáticas e o aumento da frequência e severidade de dias mais quentes durante o ano têm tornado grande parte da população mundial dependente do condicionamento artificial, o que impulsiona ainda mais a demanda de pico durante o verão (ROAF; NICOL; HUMPHREYS, 2010; CÂNDIDO et al., 2010; DE DEAR, 2012; SAMAN et al., 2013). O impacto na demanda de pico é tão significativo no Brasil que, recentemente, o ar-condicionado foi apontado como um dos responsáveis pela interrupção na distribuição de energia elétrica que ocorreu em dez estados e o Distrito Federal em Janeiro de 2015, quando a demanda de energia elétrica bateu recorde e ficou bem acima do programado, conforme informou o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2015).

Neste cenário, questões sobre a percepção de conforto térmico e seu consequente impacto no consumo energético vêm sendo discutidas com uma intensidade que a cada ano se torna maior (HOLMES; HACKER, 2007; SPINDLER; NORFORD, 2009; ROAF; NICOL; HUMPHREYS, 2010; DEUBLE; DE DEAR, 2012a; GRIEGO; KRARTI; HERNÁNDEZ-GUERRERO, 2012; BARBHUIYA; BARBHUIYA, 2013; DE DEAR et al., 2013). Isto porque o crescimento acentuado na curva de aquisição e utilização do condicionamento artificial têm resultado em uma espécie de efeito cascata: as altas temperaturas provocadas pelas ondas de calor demandam maior utilização do condicionamento artificial, que contribui com a emissão de gases de efeito estufa e gera maior necessidade de investimentos na infraestrutura do setor elétrico. Este efeito é agravado se considerados os resultados de estudos recentes que associam negativamente o ar condicionado a uma espécie de vício despertado pela memória térmica de seus usuários. Assim, quanto mais uma pessoa é exposta ao condicionamento artificial, maior é o seu desejo de permanecer nestes espaços, e maior a sua intolerância às temperaturas mais altas (ROAF; NICOL; HUMPHREYS, 2010; CÂNDIDO et al., 2010; DE VECCHI; CÂNDIDO; LAMBERTS, 2012).

Apesar de tamanho dispêndio de energia para a promoção de conforto térmico em edificações, mais especificamente edificações do setor comercial, são nestes espaços que se concentram os maiores níveis

de reclamações relacionadas ao ambiente térmico (IFMA, 2009; ASHRAE, 2010). De acordo com Zhang, Arens e Zhai (2015), espaços com sistemas centrais de condicionamento ambiental detêm forte tendência ao resfriamento exacerbado durante o verão e ao aquecimento desnecessário durante o inverno, sendo a preponderância pelo resfriamento além do desejado a tendência de efeito maior nas queixas dos ocupantes. Ademais, pesquisadores da área de fisiologia humana afirmam que além do desconforto por frio e demanda energética, a constante utilização do condicionamento artificial atrai implicações como o ganho de peso e o aumento do número de casos de diabetes (KEITH et al., 2006; VAN MARKEN LICHTENBELT, 2011).

Como alternativa para melhorar a qualidade térmica de ambientes que, quando efetivamente condicionados geram reclamações pelo frio excessivo e quando ventilados naturalmente podem ser considerados quentes e úmidos demais, um outro tipo de edificação onde ambos os sistemas coexistem tem se tornado cada vez mais recorrente (BRAGER, 2006; DEUBLE; DE DEAR 2012b; DE DEAR et al., 2013; CBE, 2013). Neste novo princípio de climatização conhecido como misto, o objetivo é suprir as deficiências que sistemas centrais ou passivos podem oferecer, sendo operado de forma automatizada ou a partir do controle manual de ocupantes. Embora em ascensão, poucos estudos focados no desempenho e modo de operação destas edificações foram efetuados em campo e publicados. Assim, existe pouca informação relacionada à satisfação dos ocupantes em edificações mistas e como ela pode influenciar nos diferentes modos de operação quando não existe automação (BRAGER; BAKER, 2008).

De Dear e Brager (2002b) explicaram que nestes ambientes, os dados reais levantados em campo são insuficientes para avançar cientificamente na área. Por este motivo, os autores esclarecem que na época em que a ASHRAE 55 (2004) incorporou o modelo adaptativo e foi publicada, nenhum método foi incluído ou definido como padrão para se avaliar este tipo de edificação. Tal problema se estendeu às demais revisões, e atualmente nenhuma norma nacional ou internacional esclarece abertamente ao usuário qual modelo utilizar na avaliação de conforto térmico sob o modo misto. Nestas normas, as edificações são puramente divididas em dois tipos, “condicionadas artificialmente” e “ventiladas naturalmente”. Embora ainda exista incentivo à utilização do modelo adaptativo em tais edificações, o problema se agravou após a última revisão da ASHRAE 55 (2013). De acordo com esta versão, o modelo adaptativo se restringe às edificações sem nenhum tipo de condicionamento mecânico “instalado”, quando na prática, o que se

observa é que tal divisão entre diferentes formas de climatização pouco existe, sendo as edificações modernas muito mais complexas do que se prevê atualmente por estas normas (DE DEAR et al., 2013; LUO et al., 2014; ZHANG; ARENS; ZHAI, 2015).

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

O principal objetivo deste trabalho é avaliar a percepção de conforto térmico de ocupantes em edificações que operam com o modo misto de climatização ambiental em clima temperado e úmido.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

De forma secundária, visando atingir o objetivo principal, a pesquisa se desdobrará em etapas intermediárias, de forma a:

1. Comparar a percepção, preferência e aceitabilidade térmica e da velocidade do ar de ocupantes em edificações mistas e condicionadas artificialmente a partir de um sistema central, considerando as mesmas faixas de temperatura efetiva padrão (SET\*);
2. Avaliar as diferenças entre os modos de operação oferecidos pelas edificações com condicionamento ambiental misto e a sua influência no conforto térmico dos ocupantes;
3. Explorar a influência de características antropométricas como a idade, o gênero e a condição física na percepção, preferência e aceitabilidade térmica dos ocupantes;
4. Investigar o impacto da memória térmica na satisfação dos ocupantes com relação ao ambiente de trabalho, considerando a exposição prévia e prolongada ao condicionamento artificial nos diferentes tipos de edifícios estudados;
5. Avaliar, a partir dos dados levantados em campo, os modelos de conforto térmico existentes, buscando identificar eventuais falhas na aplicabilidade de cada um deles em edificações mistas.

## 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho se inicia com a revisão da literatura nacional e internacional relacionada ao tema proposto. Primeiramente, são traçadas reflexões acerca dos últimos anos da pesquisa de conforto

térmico e o desdobramento destes estudos nas últimas cinco décadas. Em seguida, serão discutidos alguns dos principais modelos de conforto térmico e suas aplicações, seguindo-se com a contextualização de características antropométricas e suas implicações na percepção térmica dos usuários. No capítulo 3 é apresentado o método de trabalho; nele, são especificados os equipamentos de medição, as edificações onde os levantamentos de campo ocorreram e as etapas de trabalho que foram seguidas. Também, neste capítulo são apresentados o protocolo de medição, o estudo piloto e a forma como a avaliação de dados se realizou. Finalmente, o texto segue com os resultados encontrados, incluindo a caracterização dos dados levantados durante o experimento de campo, as comparações entre os dados de edificações condicionadas artificialmente por um sistema central e por sistemas mistos, análises realizadas a partir dos diferentes modos de operação em edificações com sistemas mistos, influência de características antropométricas na sensação térmica, aplicação dos métodos de avaliação da ASHRAE 55 (2013) e as conclusões e limitações encontradas.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Inicialmente, este capítulo apresenta uma revisão cronológica acerca dos modelos de conforto térmico e os métodos de avaliação existentes, chegando à atual situação: a inexistência de um método para a avaliação de conforto térmico em edificações que funcionam com modo misto de condicionamento, e a precariedade de estudos de campo na área. Na sequência, é apresentada uma revisão geral a respeito do funcionamento deste sistema de climatização e como podem ser classificadas as edificações e os diferentes modos de operação, além da influência do usuário, importância do controle ambiental, incorporação da velocidade do ar como principal estratégia de conforto térmico e racionamento energético nestas edificações. Ao final, é apresentado um item onde são discutidas as características antropométricas do corpo humano e as possíveis implicações na sensação e preferência de conforto térmico, além de uma discussão a respeito da falta de estudos focados na influência de tais características no modo de operação e satisfação térmica em edificações com sistemas mistos.

### 2.1 AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO: DOS ÚLTIMOS 50 ANOS AO ESTADO DA ARTE

Um dos atributos mais importantes de uma edificação, além de garantir estabilidade e segurança para os seus ocupantes, é que ela proporcione boas condições de conforto térmico, respeitando o clima e o ambiente em que se insere (NICOL et al., 2012). Assim, para definir conforto térmico são encontrados diversos conceitos na literatura que vêm sendo adaptados ao longo dos anos: Fanger (1970) definiu conforto térmico como a situação em que uma pessoa não prefere sentir nem mais calor e nem mais frio no ambiente em que se encontra, e Tanabe (1988) avaliou conforto térmico como o estado de espírito que expressa satisfação com a temperatura do corpo como um todo. Posteriormente, Hensen (1991) afirmou que, para que uma pessoa se encontre em conforto térmico, não deve haver nenhum impulso comportamental que a leve a corrigir o ambiente. As definições de Fanger (1970) e Tanabe (1988) se tornaram recorrentes em versões mais antigas de normas internacionais como a ASHRAE 55 (1992) e a ISO 7730 (1994), e permanecem inalteradas até os dias de hoje.

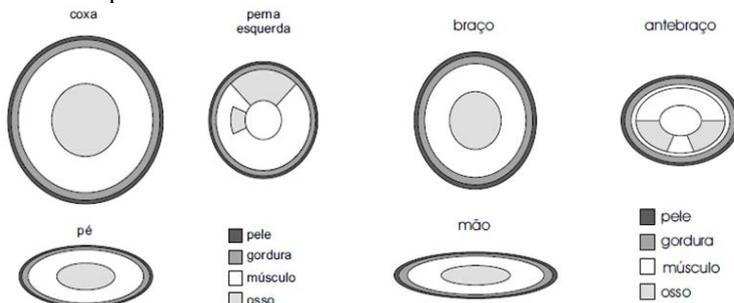
Neste contexto, é natural que também existam diferentes modelos, equações e aplicações para avaliação de conforto térmico encontradas nas últimas décadas. A modelagem tem sido desenvolvida e

estudada desde os anos 50, quando surgiram os primeiros modelos com aplicações militares e aeroespaciais (CHENG; NIU; GAO, 2012). Posteriormente vieram os modelos aplicados a hospitais, veículos, ambientes de dormir, escolas, locais de trabalho, modelos para espaços externos e de transição entre ambientes internos e externos. De uma maneira geral, diz-se que os modelos térmicos tratam de um sistema capaz de simular o comportamento termorregulatório humano, de modo que as respostas psicofisiológicas do organismo, quando exposto a situações de calor ou frio, possam ser claramente entendidas (FERREIRA; YANAGIHARA, 1999). Tais modelos dependem de parâmetros físicos, fisiológicos, bem como de parâmetros psicológicos. Alguns dos principais modelos e suas aplicações são abordados nos itens seguintes.

### **2.1.1 Modelos fisiológicos e psicológicos**

De acordo com Ferreira e Yanagihara (1999), um sistema térmico é composto de um sistema passivo e um sistema de controle. Juntos, estes sistemas resultam em um modelo expresso matematicamente por uma série de equações diferenciais, parciais e ordinárias. De acordo com os autores, um dos primeiros modelos que se tem conhecimento é o modelo de Wissler (1961), composto por seis cilindros. Outros pesquisadores como Gordon et al. (1976), Tikuisis et al. (1988), Takemori et al. (1995) e Fiala et al. (1999), adotaram procedimentos semelhantes, mas com um número maior de cilindros. Modelos como o de Fanger (1970) e Gagge et al. (1971) são considerados modelos mais simples, compostos por um único segmento (ou uma única parte, ou também conhecido como nó, ver Figura 1). O número de cilindros considerados varia de acordo com a aplicação para qual o modelo se destina. Nestes modelos, o interior do corpo humano é dividido em camadas, representando os vários tecidos do corpo, e assim, a equação de condução do calor em coordenadas cilíndricas ou esféricas pode ser aplicada em cada um dos segmentos considerados. Alguns autores representam a transferência de calor no corpo ocorrendo somente entre o sangue e o tecido, mas usualmente, ela ocorre basicamente do núcleo do corpo até a superfície da pele por meio do fluxo sanguíneo (Figura 1). A Descrição de um modelo passivo completa-se com o equacionamento da transferência de calor na superfície da pele, incluindo as trocas térmicas por condução, radiação, evaporação, e por meio da respiração (FERREIRA, 2001).

Figura 1. Exemplos de cilindros e representação do núcleo do corpo até a superfície da pele.



Fonte: Ferreira (2001).

De acordo com Cheng, Niu e Gao (2012), a avaliação de conforto térmico tem sido usualmente considerada complexa, e por isso, atraente para os pesquisadores. Os modelos térmicos com os maiores números de citações, segundo a base de dados da Scopus, são os de Dunsan Fiala de 1999, o modelo de Tanabe de 1995 e o modelo UC Berkeley de 2001. Mas, ao avaliar os modelos fisiológicos existentes, começando pelo mais simples, conhecido como modelo de um nó (*one-node model*) e chegando até o mais complexo, modelo de multinós (*multi-node model*), é possível encontrar uma grande variedade de modelos e equações existentes. Givoni e Goldman (1971) desenvolveram um modelo empírico que representa todo o corpo humano em apenas um nó, e que se aplica apenas em ambientes quentes. O modelo de Gagge et al. (1971), conhecido como Pierce ou modelo de dois nós, separa o corpo em duas camadas, e é composto por dois subsistemas: o sistema de controle e o sistema controlado. Este modelo é aplicado em ambientes com condições uniformes de temperatura, níveis moderados de atividade metabólica e tempo de permanência e exposição humana inferior à uma hora. Outro modelo de dois nós bastante conhecido é o KSU, publicado em 1977 e desenvolvido na Kansas State University (AZER; HSU, 1977). Este modelo possui equações diferentes para a taxa de suor e o fluxo sanguíneo, determinando a sensação térmica diretamente por meio do esforço fisiológico. Stolwijk (1971) desenvolveu um modelo de múltiplos nós para ser utilizado em aplicações aeroespaciais. Neste caso, o corpo é dividido em seis segmentos, e cada um deles dividido em quatro camadas na direção radial. Assim, os fenômenos de cada região do

corpo podem ser controlados com maior precisão e flexibilidade quando comparados aos modelos de dois ou um nó.

Fiala (1998) desenvolveu um modelo onde interagem dois sistemas de controle: passivo e ativo. O sistema passivo simula a troca de calor dentro do corpo, e entre a superfície do corpo e o ambiente ao redor, e o sistema ativo simula fenômenos fisiológicos e as respostas de termorregulação. Este modelo é considerado por diversos autores como razoável, com boas respostas (PAVLINIC et al., 2011; HAVENITH, 2001; FIALA et al., 1999). O modelo UC Berkeley (HUIZENGA; ZHANG; ARENS, 2001) é baseado no modelo de Tanabe (1995) e no modelo de Stolwijk (1971), e similar ao modelo de Fiala (1998). O modelo propõe melhorias com relação aos demais, incluindo a troca de calor por meio do fluxo sanguíneo contracorrente, e aplicação de um pré-processador chamado “construtor corporal”, que define entradas fisiológicas baseadas em medições reais. Com estas melhorias, entende-se que o modelo trabalha melhor com condições não uniformes de temperaturas e ambientes de transição.

De acordo com Fiala (1998), muitas das pesquisas na área de conforto estão focadas nos modelos de transferência de calor e termorregulação, enquanto um número menor é dirigido aos modelos psicológicos. Os modelos psicológicos envolvem a sensação térmica subjetiva e as respostas ao ambiente físico, e isto ocorre porque as respostas relativas aos ambientes assimétricos são mais complexas que àquelas relacionadas aos ambientes uniformes. Estes modelos envolvem, de uma maneira geral, conforto térmico em partes específicas do corpo, como por exemplo, as mãos, pés, antebraços, dentre outras partes (ARENS; ZHANG; HUIZENGA, 2006). A assimetria extrema e as condições de transição entre um ambiente externo e interno são muitas vezes experimentadas em veículos, daí um número maior de estudos relacionados aos modelos psicológicos em veículos automotivos.

Tanaguchi, Hiroshi e Kenji (1992) desenvolveram um modelo de regressão linear múltipla com uma equação relativa à temperatura média da pele e à mudança na sensação térmica do corpo destinado às cabines veiculares, que pode também ser aplicado para outras situações similares. Como limitação, o modelo considera apenas a sensação térmica no rosto, desconsiderando as outras partes do corpo. Matsunaga et al. (1993) adotaram um valor de temperatura média equivalente, avaliando conforto de uma maneira geral e utilizando o *Predicted Mean Vote* (PMV). O índice utilizado neste modelo trabalha com uma ponderação entre a cabeça, o abdômen e os pés, e por isso não reflete conforto térmico em regiões localizadas no corpo. Wang (1994) propôs

um modelo que calcula a sensação térmica em duas situações diferentes: estática e dinâmica. O modelo também se limita às avaliações do corpo como um todo, não resolvendo a questão do desconforto localizado.

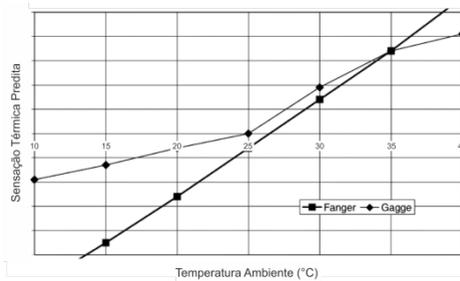
Kohri e Moshida (2002) introduziram a ideia de um índice conhecido como *Local-Standard Effective Temperature* (SET\*) para avaliação em cabines veiculares, buscando tratar da questão de conforto local do corpo em relação ao ambiente térmico, incluindo os efeitos da radiação, convecção e evaporação. No entanto, Cheng, Niu e Gao (2012) afirmam que a aplicação do modelo de dois nós de Gagge, Stolwijk e Nishi (1971) para validação em partes localizadas do corpo, sem tratar a transferência de calor entre as partes causadas pelo fluxo sanguíneo, se constitui na maior deficiência do modelo. Zhang (2003) desenvolveu um modelo mais abrangente, com base em dados ambientais que representam condições estáveis e de transição, feitos em câmaras laboratoriais na Universidade de Berkeley. O modelo compreende a sensação térmica do corpo como um todo, bem como de partes segmentadas, provenientes de equações de regressão da temperatura da pele e do núcleo do corpo. De acordo com o autor, o modelo serve para ambientes uniformes, não uniformes, estáticos e transitórios.

Jones (2002) observou que os modelos mais complexos, como os de múltiplos nós e elementos finitos de Smith (1991) e Fu (1995) de 3000 nós, são aqueles que de fato apresentam uma boa aplicação prática na avaliação de ambientes térmicos com estresse por calor ou frio, mas que até então não foram incorporados a nenhuma norma. De acordo com o autor, pouca atenção ainda é dada à simulação da transferência de calor através da roupa, e alguns modelos um pouco mais recentes como o Clo-Man (LOTES, 1993) e o modelo de Tranmod (JONES; OGAWA, 1992) têm centrado nesta questão que envolve o isolamento das roupas, mas que, no entanto, ainda utilizam modelos térmicos simples em demasia.

Assim, Jones (2002) comparou os resultados de alguns dos modelos mais utilizados para prever conforto térmico, e argumenta que a documentação relacionada aos algoritmos de cada modelo e seus respectivos *softwares* não é suficientemente detalhada para permitir que diferentes usuários atinjam resultados similares. As diferenças entre os resultados de um modelo e outro podem ser causadas tanto por alterações nos algoritmos, como também por diferenças fundamentais relativas a cada modelo térmico. Assim, o autor adotou o modelo de Fanger (1970) como referência e gerou gráficos comparativos utilizando os modelos de Gagge, Fobelets e Berglund (1986), Tranmod de 1995 e o

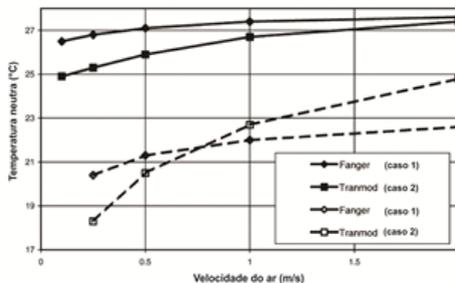
de Wang (1994). A comparação entre o modelo de Fanger (1970) e o modelo de Gagge, Fobelets e Berglund (1986) foi feita utilizando como parâmetros a temperatura do ar igual à temperatura média radiante, 50% de umidade relativa do ar, velocidade do ar a 0,15 m/s e isolamento da vestimenta e atividade metabólica fixos, correspondendo a 0,69 clo e 58 W/m<sup>2</sup>, respectivamente (Figura 2). Na figura, os maiores desvios entre um modelo e outro podem ser observados durante os valores mais baixos de temperatura do ambiente. Segundo Jones (2002), esta diferença pode ser atribuída aos algoritmos utilizados, ao invés de diferenças relativas aos modelos térmicos. Na comparação entre os modelos de Fanger e o Tranmod (Figura 3), onde o autor acrescenta um novo caso aumentando o valor do metabolismo para 174 W/m<sup>2</sup>, diminuindo o valor do isolamento da roupa para 0,21 clo e variando o valor da velocidade do ar, as diferenças entre um modelo e outro ocorrem por se tratar de modelos térmicos fundamentalmente diferentes, porém com os mesmos fins.

Figura 2. Comparação entre a previsão do modelo de Fanger e o modelo de Gagge.



Fonte: adaptado de Jones (2002).

Figura 3. Comparação entre a sensibilidade dos modelos de Fanger e Tranmod às mudanças nos valores de velocidade do ar.



Fonte: adaptado de Jones (2002).

Considerando todos os pontos discutidos neste item, parece adequado afirmar que mesmo que exista uma quantidade enorme de modelos térmicos capazes de prever a sensação térmica, quando se trata de avaliar as condições de conforto térmico dentro de ambientes, a utilização do modelo de Fanger (1970) e os índices PMV (*predicted mean vote*) e PPD (*predicted percentage of dissatisfied*) têm sido algo explícito. O modelo de Fanger é um modelo simples, representado por apenas um cilindro, que considera o corpo como um todo, sem diferenças entre as partes, e que segundo a base de dados Scopus já foi citado mais de 2.200 vezes. Existe pouca controvérsia relativa ao modelo, por este ser aquele que melhor prediz as condições de conforto térmico em ambientes internos estáticos, impulsionados pelos sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado (LINDEN; LOOMANS; HENSEN, 2008; HUMPHREYS; NICOL, 2010; AL-AJMI; LOVEDAY, 2010; CHOW et al., 2010). Embora mundialmente utilizado, a aplicação do modelo de Fanger em espaços reais com flutuações de temperatura (ventilados naturalmente), onde os ocupantes desenvolvem atividades rotineiras, iniciaram uma série de questionamentos que resultaram na aceitação de um modelo fundamentalmente diferente, conhecido como modelo adaptativo.

### **2.1.2 O modelo adaptativo na área de conforto térmico**

De acordo com Nicol e Humphreys (2002), as pessoas possuem uma tendência natural para se adaptar ao ambiente, que se relaciona principalmente com as flutuações sazonais da temperatura externa (DE DEAR; BRAGER; COOPER, 1997). A partir desta afirmação, é possível concluir que as temperaturas de conforto térmico são dinâmicas e podem flutuar constantemente conforme o clima local. De Dear e Brager (1998) afirmaram em seus estudos que, quando adaptados à condição atual do ambiente, os ocupantes aceitam e até preferem a variabilidade térmica dos edifícios ventilados naturalmente, e tais resultados já foram por diversas vezes confirmados em outros estudos que avaliaram ambientes comerciais (DE DEAR; BRAGER, 2002a; FERIADI; WONG, 2004; ZHANG et al., 2010; MORS et al., 2011; CAO et al., 2011; INDRAGANTI; OOKA; RIJAL, 2013).

A aceitação do modelo adaptativo nas normas de conforto térmico internacionais permitiu que estratégias passivas como a ventilação natural se tornassem viáveis no mundo todo (TANABE; KIMURA, 1989; DE DEAR; BRAGER, 2002; TOFTUM, 2004; ZHANG et al., 2007). Assim, a adaptação, seja ela fisiológica ou

psicológica, certamente contribui para a satisfação dos usuários; o que por extensão lógica, contribui também para a diminuição da demanda energética necessária para operação dos sistemas de ar-condicionado em edificações comerciais (CÂNDIDO; DE DEAR; OHBA, 2012). A expansão dos limites da temperatura de conforto térmico proposto pelo modelo adaptativo resultou em iniciativas de racionamento energético em edificações condicionadas artificialmente no mundo todo por meio do ajuste na temperatura de *setpoint*, como o Cool Biz e o Setsuden no Japão (ajustes na temperatura de *setpoint* próximos de 28°C). O Ministério do Meio Ambiente do Japão (2006) estima que o Cool Biz no ano de 2006 tenha reduzido suas emissões de CO<sub>2</sub> em uma quantidade equivalente a de 2,5 milhões de residências por mês. Segundo de Dear (2007), a cada grau de ampliação na zona de conforto proporcionado pelo modelo adaptativo é possível poupar algo em torno de 10% do consumo final de energia elétrica.

Inicialmente, as primeiras equações provenientes do modelo adaptativo surgiram para, basicamente, definir uma temperatura que represente a neutralidade térmica em função da temperatura externa. Alguns destes modelos, ou equações, apresentam maior precisão em condições específicas, e por este motivo, na literatura são encontradas diversas equações. Humphreys (1976) desenvolveu duas equações para predição da temperatura neutra (Equação 1 e 2). A primeira em função da temperatura interna, e a segunda em função da temperatura externa; Auliciems e de Dear (1986) desenvolveram equações para prever a temperatura neutra de um grupo, relacionando médias de temperatura interna e externa (Equações 3, 4 e 5); Nicol e Roaf (1996) apresentaram uma equação para edifícios ventilados naturalmente (Equação 6) em função da temperatura externa. Com base nas equações 3, 4 e 5, foi desenvolvida a Equação 7, que determina a temperatura de conforto térmico com base na temperatura do ar externo, e pode ser encontrada na norma americana ASHRAE 55, amplamente utilizada em estudos mais recentes (OROSA, 2009).

$$T_{n,i} = 2,6 + 0,831 T_i \quad \text{Equação 1}$$

$$T_{n,o} = 11,9 + 0,534 T_o \quad \text{Equação 2}$$

$$T_{n,i} = 5,41 + 0,731 T_i \quad \text{Equação 3}$$

$$T_{n,o} = 17,6 + 0,31 T_o$$

Equação 4

$$T_{n,i,o} = 9,22 + 0,48 T_i + 0,48 T_o$$

Equação 5

$$T_{n,o} = 17,0 + 0,38 T_o$$

Equação 6

$$T_c = 0,31 T_o + 17,8$$

Equação 7

Onde:

$T_c$  é a temperatura de conforto;

$T_o$  é a temperatura do ar externo;

$T_i$  é a temperatura média do ar interno;

$T_{n,i}$  é a temperatura neutra, com base nos valores médios de temperatura do ar interno;

$T_{n,o}$  é a temperatura neutra com base nos valores médios de temperatura do ar externo;

$T_{n,i,o}$  é a temperatura neutra com base nos valores médios de temperatura do ar interno e externo.

Atualmente, a última versão publicada da ASHRAE 55 (2013) apresentou uma nova versão da equação para a predição da temperatura neutra em ambientes internos ventilados naturalmente, que utiliza como base um valor de temperatura média do ar externo predominante e determina limites mínimos e máximos de uma zona de aceitabilidade térmica. Neste método, a temperatura média do ar externo predominante pode ser calculada a partir de uma média aritmética dos valores médios diários da temperatura do ar externo, considerando não menos que sete dias e não mais que 30 dias sequenciais anteriores ao dia em questão. No entanto, a temperatura predominante pode também ser calculada por meio de uma média ponderada exponencialmente de valores médios diários da temperatura do ar externo dos últimos dias anteriores ao dia em questão, com um fator de ponderação que pode variar entre 0,6 e 0,9; neste segundo método, não existe um limite superior de dias a serem considerados para o cálculo. Quando os dados climáticos não estão disponíveis, a norma permite que sejam utilizados dados de temperatura

média mensal publicados por estações meteorológicas locais. As equações 8 e 9 apresentam, respectivamente, a equação referente ao limite superior da zona de aceitabilidade térmica do modelo adaptativo empregado pela norma, e a equação referente ao limite mínimo desta mesma zona.

$$T_{limite superior} = 0,31 \overline{T_{pma(out)}} + 21,3 \quad (^\circ\text{C})$$

Equação 8

$$T_{limite inferior} = 0,31 \overline{T_{pma(out)}} + 14,3 \quad (^\circ\text{C})$$

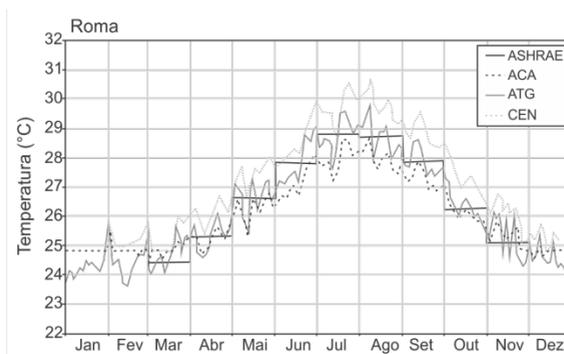
Equação 9

Onde:

$\overline{T_{pma(out)}}$  é a temperatura média do ar externo predominante.

Tal como foi observado nas comparações de Jones (2002), entre os diferentes modelos térmicos fisiológicos e psicológicos, os limites de temperatura neutra baseados na abordagem adaptativa de normas e padrões também apresentam divergências. Zanotto e Ferrari (2012) compararam alguns dos índices adaptativos existentes utilizando como base arquivos climáticos de três contextos distintos de cidades italianas: Roma, Milão e Palermo. Nas comparações, os autores levaram em consideração os índices e as equações adaptativas da norma americana ASHRAE, o projeto promovido pela Comissão Europeia, conhecido como SCAT (*Smart Control and Thermal Comfort Project*), que apresenta o índice ACA (*Adaptive Comfort Algorithm*), o índice da norma Holandesa conhecido como ATG (*Adaptive Temperature Limit*) e finalmente, o índice da norma europeia CEN – EN 15251 (2007). A Figura 4 apresenta a variação dos valores de temperatura neutra durante um ano inteiro para a cidade de Roma, onde se observam as diferenças na predição a partir dos métodos discutidos. Os autores comentam que como estes limites se baseiam na temperatura externa, a variação anual em todos é notória. Na figura, é possível observar a diferença entre os limites da ASHRAE e o ATG, que são baseados em uma mesma equação, diferindo apenas no valor da temperatura externa utilizado como referência. O limite da CEN é maior nos dois casos simulados, e o limite da ACA, inferior aos demais, o que pode ocorrer devido à determinação da faixa de aceitabilidade do índice.

Figura 4. Comparação entre a previsão de valores provenientes de diferentes modelos adaptativos.



Fonte: adaptado de Zanotto e Ferrari (2012).

Recentemente, e com base nos conceitos adaptativos e no modelo de Fanger, Yao et al. (2009) desenvolveram um modelo chamado *Adaptive Predict Mean Vote* (aPMV), observando que somente uma combinação das características dos modelos estático e adaptativo seria capaz de explicar todas as influências ambientais que ocorrem nas respostas de ocupantes em um ambiente real. Neste modelo, os autores consideraram um coeficiente de adaptação que quando deriva em zero, resulta na mesma equação do PMV do modelo de Fanger (1970). Tal princípio é similar ao fator expectativa proposto por Fanger e Toftum (2002), se ambos os métodos forem considerados como um fator de correção aplicável diretamente no índice PMV. Os resultados da aplicação do modelo aPMV nas estações quentes e frias de um estudo de campo realizado na China apresentaram forte correlação entre o que era predito e o que era observado, enquanto o fator expectativa de Fanger e Toftum (2002) foi aplicado em regiões de climas quentes em três continentes diferentes, e também apresentaram bons resultados em Bangkok, Brisbane, Atenas e Singapura. Singh, Mahapatra e Atreya (2011) discutiram o modelo proposto por Yao et al. (2009) e argumentam que o coeficiente desenvolvido só atende condições quentes e frias na área de Chongqing, na China. Os autores realizaram um novo levantamento de campo com 300 usuários na Índia e desenvolveram coeficientes de adaptação para todas as estações do ano, levando em consideração diferentes zonas climáticas. No entanto, os autores frisam que ainda é necessário um número maior de estudos de

campo em diferentes zonas climáticas para validação de um coeficiente mais preciso e abrangente.

É importante observar ainda que o modelo adaptativo foi incorporado na ASHRAE 55 em 2004, e desde então vem passando por atualizações substanciais, que podem ser observadas na última publicação da norma em 2013 e adendas publicadas após esta revisão. Segundo de Dear et al. (2013), as pesquisas da área desde que o modelo adaptativo foi incorporado à ASHRAE 55 (2004) sugerem que o método indicado pelo gráfico das zonas de 80% e 90% de aceitabilidade térmica do modelo pode se estender a outras aplicações, como por exemplo, os ambientes condicionados artificialmente, caracterizando corretamente o conforto térmico de ocupantes nestes espaços, principalmente quando existe o controle ambiental.

### **2.1.3 Edificações com sistemas mistos de condicionamento**

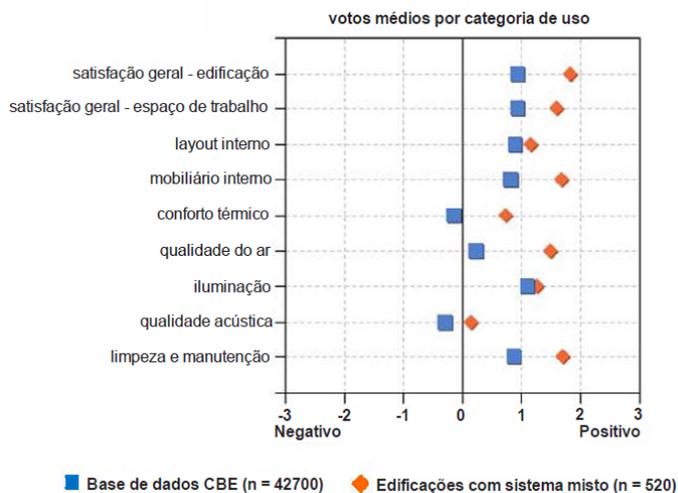
Embora a ventilação natural e o incremento da velocidade do ar sejam estratégias fortemente incentivadas na manutenção do conforto térmico, e incorporadas pelo modelo adaptativo por meio das normas ao longo dos últimos vinte anos, elas podem não ser suficientemente boas durante as estações mais quentes e, sobretudo, se consideradas as regiões de climas quentes úmidos. Em contrapartida, o que se observa atualmente é a exploração de ambientes que operam sob um modo misto de ventilação: ventilam naturalmente por meio da abertura de janelas (tanto automaticamente, quanto manualmente), ao mesmo tempo em que é também possível manter o ambiente fechado, utilizando o condicionamento artificial (BRAGER, 2006; RIJAL; HUMPHREYS; NICOL, 2008; BRAGER; BAKER, 2009). Mas, se por um lado existem diversos modelos para avaliação de conforto térmico em ambientes condicionados artificialmente e ventilados naturalmente, por outro lado quando estas duas condições se encontram, em edificações com sistemas mistos de condicionamento, um método adequado para avaliação nestes ambientes ainda é algo inexistente.

Apesar de existirem poucos estudos que levem à elaboração de um método específico para a avaliação, pode-se dizer que um número crescente de edifícios que operam com sistemas mistos de ventilação têm sido observados no mundo todo. Tal crescimento se deve principalmente por estas edificações apresentarem bom potencial de economia energética, boa qualidade do ar interno, além de alcançarem altos níveis de conforto térmico. Tais ambientes têm alavancado grande interesse científico por parte dos pesquisadores, que são impulsionados

pela dualidade apresentada com relação às expectativas de conforto, algo que atualmente é bastante requerido pelos ocupantes. De Dear et al. (2013) explicam que edificações que operam com sistemas mistos de ventilação representam algo de natureza pragmática, um ideal entre dois mundos sob a ótica do ocupante: naturalmente ventilados quando as condições meteorológicas são favoráveis a esta estratégia, e condicionados artificialmente nos outros momentos.

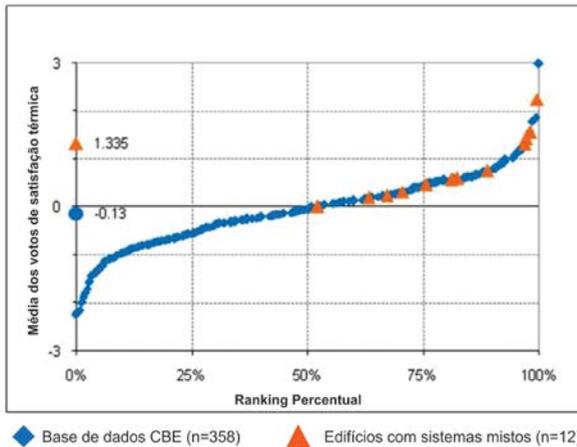
Neste contexto, Brager e Baker (2008) apresentaram níveis significativamente maiores de conforto térmico, satisfação geral dos usuários com relação ao ambiente de trabalho e qualidade do ar interno quando analisaram de forma individual os dados levantados em doze edificações que operavam sob o modo misto, comparando-os com o restante da base de dados do *Center for the Built Environment – CBE* (Figura 5). A frequência máxima acumulada dos votos de satisfação térmica de todos os edifícios da base de dados analisada (307 edifícios no total, com e sem condicionamento artificial) pode ser observada na Figura 6, onde os votos provenientes das edificações com sistemas mistos estão acima do percentil 50, e fazem parte do grupo com o melhor desempenho. Os autores também destacaram que estas edificações apresentam um comportamento eficiente quando inseridas em climas moderados, com estações bem definidas.

Figura 5. Média de votos por categoria de uso da edificação.



Fonte: adaptado de Brager e Baker (2008).

Figura 6. Distribuição da frequência acumulada de votos de satisfação térmica da base de dados do CBE.



Fonte: adaptado de Brager e Baker (2008).

Ring e Brager (2000) e Deuble e de Dear (2012b) também detectaram melhorias significativas na satisfação dos usuários observadas em edifícios com sistemas mistos de ventilação. No primeiro estudo, realizado no ano de 2000, foram avaliadas três edificações comerciais na Califórnia que funcionavam com ar-condicionado e possuíam janelas operáveis controladas pelos ocupantes. Dentre os resultados obtidos, os autores verificaram que o acesso às janelas foi correlacionado principalmente a um aumento na satisfação dos ocupantes relacionado à velocidade do ar e à qualidade do ar interno. No experimento realizado em 2012, os autores verificaram que entre 20°C e 25°C, as edificações funcionavam predominantemente com a ventilação natural, sendo que acima de 25°C o ar-condicionado era normalmente acessado. De acordo com os resultados do estudo, o modelo adaptativo é considerado o mais adequado para explicar o comportamento e a sensação térmica dos usuários quando as janelas estão abertas, e o modelo do PMV/PPD é o mais adequado quando o edifício opera com o ar condicionado. Luo et al. (2014) analisaram ambientes que operam de forma mista na China, e compararam os votos de sensação térmica aos valores de PMV calculados, tanto durante a operação da ventilação natural, quanto do condicionamento artificial. Os autores verificaram que o índice falhou em ambas as predições, especialmente durante a operação da ventilação natural.

Apesar dos benefícios apresentados por tais edificações, existe ainda uma grande deficiência de estudos de campo relacionados a este tema com medições simultâneas à aplicação de questionários, o que se reflete principalmente nas normas de conforto térmico, que demonstram limitado conhecimento a respeito destes edifícios (DEUBLE; DE DEAR, 2012b). Um dos maiores desafios na formulação de um método adequado para a avaliação destas edificações é a correta definição da manutenção e operação entre um modo e outro. De acordo com Brager (2006), a operação de edifícios mistos é complexa, e deve sempre incentivar o uso da ventilação natural ao máximo, fazendo com que os ocupantes que controlam as janelas entendam todos os benefícios provenientes das oportunidades adaptativas. Entretanto, para a elaboração de um modelo de avaliação para estas edificações, Ackerly et al. (2012) explicam que existe uma grande necessidade de levantar novos dados por meio de estudos de campo, e inclusive de repetir aqueles que formaram a base do modelo adaptativo, considerando uma nova variedade de edifícios e climas. Assim, métodos inéditos devem ser desenvolvidos e aplicados nas edificações mistas, considerando todas as suas características de funcionamento e peculiaridades, que podem vir a interferir não só na adaptação dos ocupantes, como também na expectativa de conforto térmico.

#### **2.1.4 Normas de conforto térmico e a lacuna atual**

Atualmente, a avaliação de conforto térmico em ambientes internos é feita principalmente segundo a norma americana ASHRAE 55 (última revisão publicada em 2013), que trata unicamente das condições térmicas ambientais para a ocupação humana (ASHRAE 55 - *Thermal environmental conditions for human occupancy*). Existem ainda outras normas, como a última revisão da ISO 7730 de 2005, focada principalmente no modelo de Fanger (1970) e cálculo do PMV/PPD (ISO 7730 - *Moderate thermal environments – calculation of the PMV and PPD indices*) e a norma europeia EN 15251 revisada em 2012, que além do conforto térmico, trata também da qualidade interna do ar, iluminação e acústica (EN 15251 - *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings: addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*). Nas primeiras versões destas normas, o modelo do PMV/PPD era o único considerado para a avaliação de conforto térmico, e em ambientes com condições uniformes de temperatura. Com o passar do tempo, e das atualizações nos métodos de avaliação, o PMV/PPD

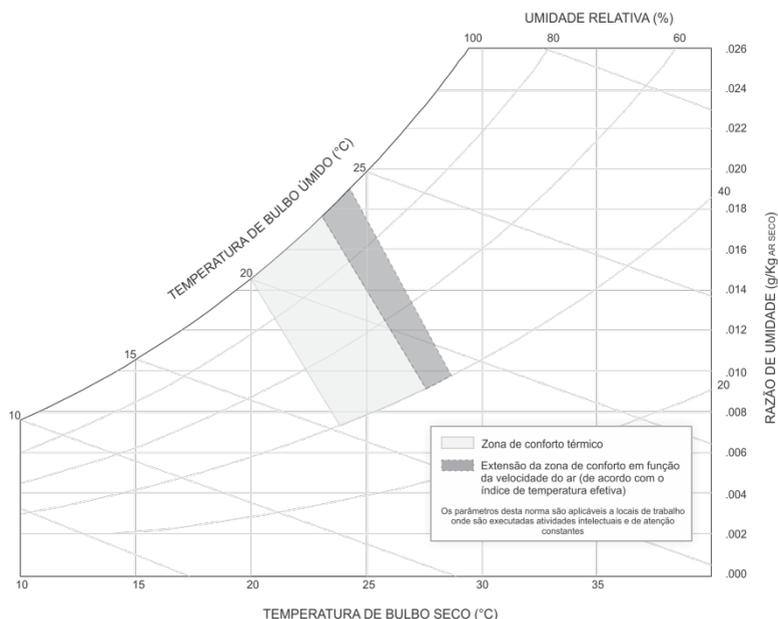
continuou a ser efetivo para a avaliação de conforto térmico em ambientes condicionados. Contudo, algumas destas normas passaram a incorporar também o método proveniente do modelo adaptativo, destinado às edificações ventiladas naturalmente. Dentre as três normas citadas, a ISO 7730 permanece até hoje com uma versão superficial do conceito de adaptação, sem atualizações desde a última revisão de 2005, enquanto a ASHRAE 55 e a EN 15251 adotaram versões do modelo que se baseiam em resultados de extensos estudos de campo diferenciados. O modelo e as equações que geraram os limites de conforto da norma europeia EN 15251 (2007) se baseiam 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 o algoritmo adaptativo (NICOL; HUMPHREYS, 2010). O método da norma americana ASHRAE 55 se baseou nos resultados do relatório de pesquisa conhecido como ASHRAE RP-884, que analisou um conjunto de dados superior a 20 mil entradas de variáveis microclimáticas medidas simultaneamente às respostas de sensação, preferência e aceitabilidade térmica dos ocupantes (DE DEAR et al., 1997). A utilização de dados com grande variabilidade climática, coletados em diversos países, fez com que a ASHRAE 55 (2013) passasse a ser utilizada globalmente. Além disto, outra característica importante que faz com que este documento seja amplamente utilizado é sua constante atualização, que reflete os resultados de experimentos de campo mais recentes da área (LAMBERTS et al., 2013).

No Brasil, não existem normas específicas para a avaliação de conforto térmico. As normas que envolvem alguns parâmetros de conforto térmico para espaços internos se restringem à versão de 1990 da Norma Regulamentadora NR17 – Ergonomia (NR 17, 1990), e a parte dois da NBR 16401 – Instalações de ar-condicionado – sistemas centrais e unitários, revisada em 2006 e publicada pela última vez em 2008 (ABNT, 2008). Ambas as normas não incluem nenhuma menção ao modelo adaptativo, e limitam as condições de conforto térmico para ambientes comerciais que operam em uma faixa muito restrita de temperatura e velocidade do ar.

A Norma Regulamentadora NR 17 (NR 17, 1990) foi elaborada pelo Ministério do Trabalho com a finalidade de promover segurança e saúde do trabalho na empresa, apresentando as condições de conforto térmico em espaços internos a partir da definição de limites de temperatura efetiva e de velocidade do ar resumidos em três subitens: a)

a temperatura efetiva do espaço deve estar entre 20°C e 23°C (vinte e três graus celsius); b) a velocidade do ar não deve ser superior a 0,75m/s, e c) a umidade relativa do ar não deve ser inferior a 40 (quarenta) por cento. Lamberts et al. (2013) apresentaram estes itens plotados na carta psicrométrica da Figura 7, onde se observam a interpretação da temperatura efetiva e a influência da velocidade do ar variando de acordo com a temperatura de bulbo úmido e seco.

Figura 7. Zona de conforto térmico para ambientes internos em espaços comerciais no Brasil de acordo com a NR 17 (1990).



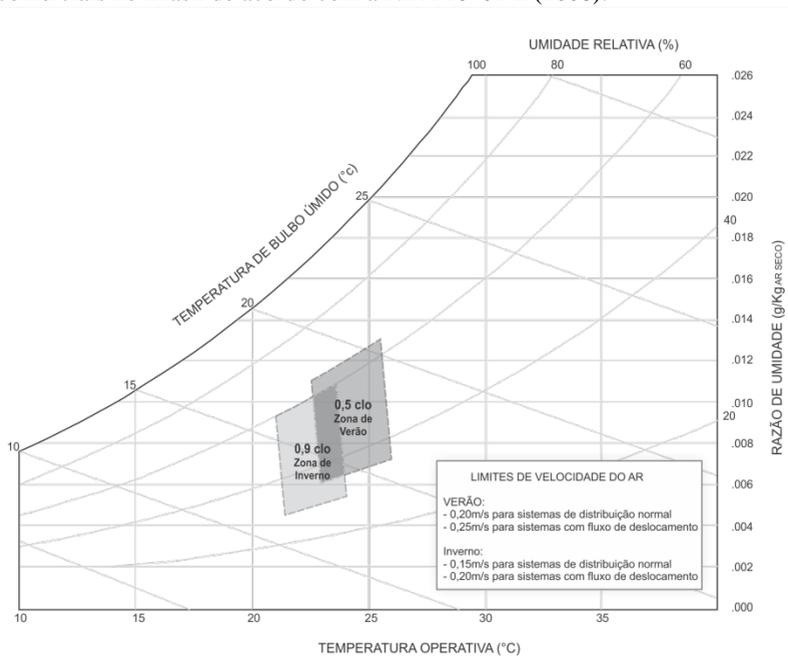
Fonte: adaptado de Lamberts et al. (2013).

A NBR 16401 (2008) é uma revisão que cancelou e substituiu a antiga NBR 6401 de 1980, focada no projeto de instalações de ar-condicionado (parte 1), nos parâmetros de conforto térmico em ambientes condicionados (parte 2) e na qualidade do ar interior (parte 3). Apesar de ser uma norma bem mais detalhada no que diz respeito aos parâmetros de conforto térmico em espaços internos, os limites de temperatura e velocidade do ar ainda são restritos, e por esse motivo, adequados apenas para ambientes climatizados e com rígido controle de

velocidade e umidade relativa do ar. A norma se baseia fundamentalmente no ASHRAE *Handbook Fundamentals* de 2005 (ASHRAE, 2005) e define temperaturas operativas internas que variam de 22,5°C a 25,5°C com umidade relativa de 65%, e 23,0°C a 26,0°C para umidade relativa de 35% e vestimenta de 0,5clo (equivalente ao período mais quente do ano). Os limites de velocidade do ar são conservadores, e podem não representar adequadamente a realidade de novos espaços condicionados que possuem novas tecnologias de condicionamento artificial e circulação de ar. Assim, para esta norma, e durante os períodos mais quentes do ano (0,5 clo), a velocidade do ar não deve ultrapassar 0,20 m/s quando o sistema de distribuição de ar é convencional (grau de turbulência de 30 a 50%), e 0,25 m/s para distribuição de ar por sistema de fluxo de deslocamento (grau de turbulência inferior a 10%). Durante os períodos mais frios (1,0 clo), estes mesmos limites podem ser delineados da seguinte forma: a temperatura operativa e a umidade relativa devem estar dentro da zona delimitada por 21,0°C e 23,5°C para 60% e, 21,5°C e 24,0°C para 30% de umidade. A velocidade do ar neste caso não deve ultrapassar 0,15 m/s para distribuição de ar convencional, e 0,20 m/s para distribuição de ar por sistema de fluxo de deslocamento. Lamberts et al. (2013) também apresentaram a plotagem destes limites na carta psicrométrica, observados na Figura 8.

É importante ressaltar que, mesmo que os limites atuais de conforto térmico propostos pelas versões brasileiras de normas regulamentadoras ainda apresentem curtos intervalos de temperatura e velocidade do ar para espaços comerciais condicionados artificialmente, Lamberts et al. (2013) elaboraram uma proposta para uma nova norma de conforto térmico brasileira elaborada a partir do texto proposto pela ASHRAE 55 na revisão de 2010. Este documento já foi editado e incorporado à parte 2 da NBR 16401 (ABNT, 2008), e atualmente aguarda a abertura para consulta pública e posterior publicação. Nesta nova versão, além do método que segue a fundamentação teórica de Fanger (1970) e do ASHRAE *Handbook Fundamentals* (2005), foram incorporados o novo método proposto pela ASHRAE 55 (2010) para ambientes condicionados e com valores mais altos de velocidade do ar, além do método adaptativo para avaliação em espaços ventilados naturalmente (LAMBERTS et al., 2013 – apêndice 7).

Figura 8. Zona de conforto térmico para ambientes internos em espaços comerciais no Brasil de acordo com a NBR 16401-2 (2008).



Fonte: adaptado de Lamberts et al. (2013).

Embora a ASHRAE 55 (2013) seja considerada um padrão mundial para a avaliação de conforto térmico em ambientes internos, existe uma série de questões a ser discutidas que envolvem o meio científico. A principal delas é a inexistência de um modelo específico para a avaliação de edificações que operam com modo misto de condicionamento. A última publicação da norma deixa em aberto o método gráfico da seção 5.3.3, antes específico para ambientes homogêneos e utilização em espaços onde a velocidade do ar não ultrapassa 0,20 m/s (ASHRAE 55, 2013). Em locais onde tal limite é extrapolado, uma nova zona de aceitabilidade é apresentada, relacionando a temperatura operativa interna ao valor de velocidade do ar que não possui limite algum quando o ocupante é quem detém o controle do ambiente (Seção 5.3.3, adenda “d” da ASHRAE 55, 2013). O método adaptativo desta última revisão se restringe aos ambientes ventilados naturalmente, com aberturas controladas pelos usuários e “sem nenhum tipo de condicionamento artificial instalado” (ar-

condicionado, sistemas de resfriamento por meio de radiação, ou de desumidificação). Desta forma, a atual versão do método adaptativo da ASHRAE 55 (2013) inviabiliza a utilização do modelo para avaliação das condições de conforto térmico durante a operação da ventilação natural em edificações que operam de forma mista.

De acordo com de Dear e Brager (2002b), os dados levantados em edificações climatizadas a partir de um modo misto ainda são insuficientes para se propor um novo método, o que consequentemente se reflete nas revisões recentes das normas de conforto térmico e na forma como elas tratam estas edificações. Atualmente, nenhuma norma internacional deixa claro ao usuário qual modelo utilizar em ambientes que operam de forma mista. Da forma como a última publicação da ASHRAE 55 (2013) foi apresentada, conduz-se à utilização dos métodos provenientes do PMV/PPD da seção 5.3 (antes apenas voltados para ambientes homogêneos), e nenhuma menção à “climatização mista” é feita em todo o texto.

## 2.2 SISTEMAS MISTOS DE CONDICIONAMENTO: CONTEXTUALIZAÇÃO E PARÂMETROS DE INFLUÊNCIA

Edificações que integram ventilação natural e condicionamento artificial, quando projetadas de forma adequada, certamente são obras factíveis e desejadas pelos usuários, que possuem maior controle das condições térmicas internas e, consequentemente, da sua própria percepção térmica. Este item apresenta uma contextualização geral de aspectos importantes a serem considerados em edificações que operam sob sistemas mistos de condicionamento. Serão apresentadas as características gerais de operação, bem como uma classificação geral padronizada pelo CBE (2013), uma revisão geral das estratégias de controle ambiental e o impacto do comportamento do usuário nestas edificações, além do papel da ventilação natural e os limites de velocidade do ar aceitos pelos usuários.

### 2.2.1 Características gerais e modos de operação

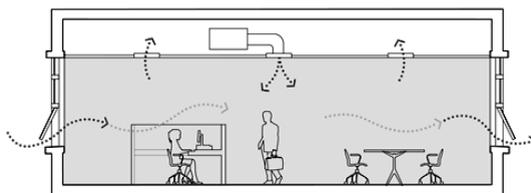
Idealmente, o modo misto de condicionamento ambiental é aquele com uma abordagem híbrida de operação. Emprega a livre ventilação por meio do fluxo de ar impulsionado pelo vento, ou pelas forças de flutuações térmicas, nos períodos em que tais estratégias são viáveis, e principalmente, desejáveis. Pode ainda operar de forma a

evitar o ganho térmico por meio das aberturas, ou até o desconforto térmico causado pelas correntes de ar. Quando nenhuma estratégia passiva é capaz de promover conforto térmico aos usuários, pode-se recorrer ao condicionamento artificial (BRAGER; BORGESON; LEE, 2007). Assim, o principal objetivo a ser atingido na operação de uma edificação com sistema misto é a obtenção de conforto térmico juntamente com a economia energética, funcionando como um sistema inteligente que aproveita todas as condições climáticas locais e características do projeto da edificação, explorando ao máximo os benefícios da climatização passiva sem comprometer a satisfação dos ocupantes.

Não existe uma forma padronizada de se operar as edificações com sistemas mistos de condicionamento, pois cada edifício funciona de maneira única, sendo na maioria das vezes impulsionada pela subjetividade dos ocupantes e disponibilidade de recursos quando não existe automatização (vento, sol, dispositivos portáteis, etc.). Entretanto, existem classificações quanto à operação destes edifícios, que podem integrar diferentes estratégias de condicionamento, que variam espacialmente ou temporariamente. São eles os sistemas simultâneos, sistemas de conversão, e o sistema de zoneamento, todos descritos a seguir de acordo com o CBE (2013).

**Sistema de funcionamento simultâneo:** combina a utilização de janelas operáveis ao condicionamento ou ventilação mecânica em um mesmo espaço e ao mesmo tempo (Figura 9). Neste sistema, o condicionamento é utilizado de maneira complementar, ao mesmo tempo em que os ocupantes podem abrir as janelas com base na sua preferência pessoal. Exemplos típicos incluem escritórios com plantas livres e sistemas simples de condicionamento artificial, como os *splits* ou os aparelhos de ar-condicionado de janela, ou de insuflamento de ar, resfriamento por radiação ou condução.

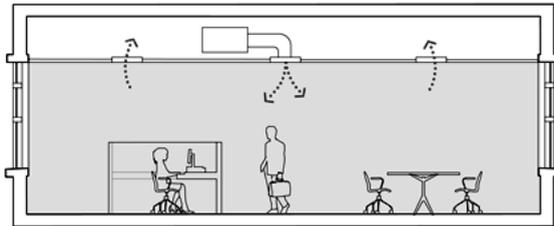
Figura 9. Representação da forma de operação do sistema simultâneo.



Fonte: CBE (2013).

**Sistemas de conversão:** estes sistemas vêm se tornando cada vez mais recorrentes, e são aqueles onde a ventilação natural e o ar-condicionado são alternados sazonalmente ou até mesmo diariamente; ou seja, ambos os sistemas funcionam em um mesmo espaço, mas em tempos diferentes (Figura 10). Se presente, o sistema de automação predial é quem determina o modo de funcionamento com base na temperatura externa, sensores de ocupação, comandos do operador ou a partir da abertura ou o fechamento de janelas. Exemplos típicos deste sistema podem ser encontrados em salas de escritórios individuais com janelas operáveis e aparelhos de ar-condicionado que podem desligar sempre que um sensor indica que uma janela foi aberta, ou vice-versa. Outros exemplos incluem edificações com sistemas automatizados de abertura no formato de grelhas, que proporcionam ventilação natural sempre que o sistema central entra em modo de economia de energia.

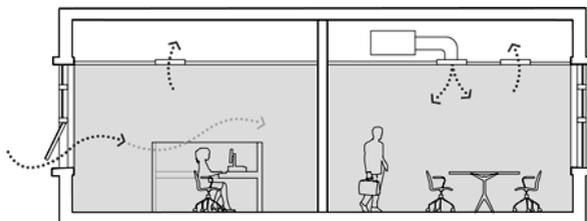
Figura 10. Representação da forma de operação do sistema de conversão.



Fonte: CBE (2013).

**Sistemas de zoneamento:** diferentes sistemas de climatização em zonas separadas dentro de uma mesma edificação (Figura 11). Exemplos típicos incluem edifícios de escritórios ventilados naturalmente por meio de janelas operáveis, mas que também possuem zonas onde existe resfriamento e/ou aquecimento artificial passando por dutos ou algum outro sistema suplementar mecânico (como por exemplo, as salas de conferência ou aquelas com um controle mais rígido de temperatura).

Figura 11. Representação da forma de operação do sistema de zoneamento.



Fonte: CBE (2013).

Embora exista uma quantidade ainda pequena de estudos efetivados em ambientes que operam sob o modo misto de ventilação, o padrão de operação nestes edifícios parece seguir valores de temperatura similares. Segundo de Dear et al. (2013), e com base nos resultados apresentados por Deuble e de Dear (2012b), a ativação do ar-condicionado nestas edificações tende a ocorrer sempre que a temperatura externa máxima do ar ultrapassa  $25^{\circ}\text{C}$ . De Vecchi (2011) observou em seus experimentos 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  $25^{\circ}\text{C}$ . Segundo o autor, dentre as oito ocasiões em que a temperatura do acionamento do ar-condicionado foi observada, o valor estava sempre próximo ao valor prevalecente da temperatura média externa do ar, conceito similar à *Running Mean Temperature*. Nos estudos de Brugnera, Roriz e Chvatal (2013), observou-se que os ventiladores de teto eram acionados sempre por volta de uma temperatura média interna de  $24,5^{\circ}\text{C}$ , e os condicionadores de ar entre  $24$  e  $26^{\circ}\text{C}$ , sendo  $25^{\circ}\text{C}$  o valor médio observado. No entanto, uma quantidade maior de experimentos de campo se faz necessária para reafirmar, e até compreender com maior profundidade se existe ou não um padrão de operação nestas edificações se considerados diferentes usos, e até uma amostra maior.

### 2.2.2 Estratégias de controle e comportamento do usuário

O desempenho termoenergético de uma edificação é influenciado por fatores como o clima, a orientação e as características arquitetônicas da envoltória, além de sistemas de iluminação, condicionamento do ar e equipamentos eletrônicos. Além destes fatores, ainda devem ser observados o comportamento do usuário e a cultura

local, que desempenham papel fundamental no consumo energético, e, portanto, têm também um papel importante na emissão do dióxido de carbono e gases do efeito estufa. Segundo Ackerly e Brager (2013), um usuário ativo, que participa do controle ambiental de uma edificação e, principalmente, se consideradas as edificações mistas, o faz por meio da abertura de janelas, manutenção dos elementos de sombreamento, liga ou desliga os sistemas de refrigeração, aquecimento e iluminação artificial.

De acordo com Borgeson e Brager (2008), ocupantes de uma forma em geral apreciam a oportunidade de controle no ambiente e usualmente preferem ter acesso ao ar fresco, à brisa do vento e ao ambiente ao ar livre. Em edificações que operam de forma passiva, o controle local da velocidade do ar, ou os chamados Sistemas de Conforto Pessoal (*Personal Control Systems - PCS*) influenciam diretamente na satisfação e aceitabilidade térmica, o que permite que os ocupantes tolerem condições de temperatura acima daquelas usuais (FOUNTAIN et al., 1994; ARENS et al., 1998; BRAGER; PALIAGA; DE DEAR, 2004). A partir da lógica de Brager et al. (2004), se as pessoas se sentem mais confortáveis a uma gama maior de condições ambientais fornecidas pelas edificações ventiladas naturalmente, controladas pelos ocupantes, então uma quantidade significativa de energia poderia ser economizada se houvesse uma maior maleabilidade nas normas de conforto térmico. Zhang, Arens e Zhai (2015), afirmaram que os sistemas de conforto pessoais representam uma poderosa ferramenta para a satisfação térmica individual, com foco nos ocupantes de diferentes faixas etárias, gêneros, massa corporal, hábitos relacionados à vestimenta, taxa metabólica e adaptação térmica. Segundo os autores, os PCS podem ser generalizados da seguinte forma:

- Jatos de ar na cabeça, face ou partes superiores do corpo, que incluem os ventiladores portáteis, pequenos ventiladores com entrada USB, saídas de ar direcionadas nas mesas ou estações de trabalho, onde o fluxo de ar é usualmente frontal ou lateral;
- Acima da cabeça, a partir de ventiladores de teto que fornecem correntes de ar verticais imediatamente abaixo dos equipamentos e áreas ao redor. De acordo com os autores, uma grande quantidade de modelos de ventiladores de teto tem sido lançada no mercado, e vem oferecendo maiores níveis de eficiência energética e controle de ruídos;

- Ventilação horizontal lateral com grande fluxo de ar, incluindo a ventilação por meio da operação de janelas ou ventiladores grandes, tipicamente vistos em ambientes industriais ou academias, e podem também ser adaptados para outros tipos de ambientes;
- Cadeiras aquecidas, resfriadas e até ventiladas, que utilizam resistência elétrica ou elementos de aquecimento no estofado, ou são resfriadas a partir da convecção de ar isotérmico através, ou por trás da superfície quente; podem também ser resfriadas por meio de superfícies de contato conectadas diretamente ao lado frio de dispositivos termoelétricos ou por tubos de água resfriada;
- Aquecedores de pés, pernas, ou painéis radiantes em áreas próximas aos joelhos.

Assim, o controle ambiental é uma estratégia viável, considerada por muitos estudos como uma forma de adaptação, que proporciona aos usuários modificar o ambiente de forma a atender as suas preferências, e inclusive à variação temporal das suas preferências pessoais (LEYTEN; KURVERS, 2006). Brager et al. (2004) conduziram experimentos de campo em escritórios ventilados naturalmente, onde os ocupantes tinham diferentes graus de controle do ambiente. No estudo, os autores realizaram medições ambientais contínuas no espaço de trabalho dos ocupantes e aplicaram questionários online que avaliaram as condições físicas do ambiente. Os resultados mostraram que diferentes níveis de controle influenciam, e muito, nas respostas dos ocupantes, até mesmo em alguns casos onde a vestimenta (clo) e a atividade metabólica (met) eram idênticas. Wyon (2000) e Clements-croome (1995) relacionaram o controle dos ocupantes com a qualidade interna do ar, afirmando que além da satisfação térmica, a disponibilidade do controle ambiental pode favorecer a produtividade dos funcionários, além de minimizar os sintomas da Síndrome do Edifício Doente (*Sick Building Syndrome - SBS*).

Um estudo conduzido em uma universidade que opera com sistemas mistos na Gold Coast/Austrália (HEALEY, 2014) verificou que os ocupantes preferiam em sua grande maioria a utilização da ventilação natural durante o horário de trabalho, e não acionaram o condicionamento artificial mesmo que a sensação térmica fosse de “levemente com calor”. Mesmo que a amostra deste estudo tenha sido considerada bastante pequena (25 participantes), os autores concluíram que a alta aceitabilidade térmica destas edificações pode ter sido influenciada apenas pela “presença” do condicionamento artificial.

Ainda neste estudo, a autora concluiu que a proximidade entre ocupantes e as condições climáticas externas durante a operação da ventilação natural pode levar a uma maior tolerância das condições térmicas abaixo daquelas ideais de conforto térmico.

Deuble e de Dear (2012a) também chamaram a atenção para os “fatores perdoados” pelos ocupantes, demonstrando sua forte relação com as atitudes e crenças ambientais. Segundo os autores, apesar das reclamações relacionadas à qualidade ambiental nas edificações avaliadas no estudo por eles realizado, ocupantes com maiores níveis de preocupação ambiental são justamente aqueles que perdoam os momentos em que as edificações operam fora das condições ambientais consideradas como “ideais”. Além disso, os resultados dos estudos mostraram que ocupantes que se consideram “verdes” apresentam maior tolerância com relação aos aspectos sustentáveis, como as temperaturas mais altas que aquelas usualmente experimentadas nas edificações condicionadas artificialmente, ventilação natural e maior movimentação do ar, e a livre operação de janelas. Ainda segundo os autores, a questão da casualidade deve também ser considerada como agente significativo.

É neste cenário que alguns estudos explicam que, apesar do controle ambiental ser apontado com uma estratégia viável de economia de energia, é importante considerar que os usuários alteram o ambiente de acordo com as suas preferências, e estas preferências, além de convenientes e subjetivas (também consideradas como “casualidades”), não necessariamente resultam em níveis significativamente maiores de eficiência energética (BORGESON; BRAGER, 2008; COLE; BROWN, 2009). Segundo Bordass et al. (2001), os ocupantes podem responder de maneiras inesperadas às crises de desconforto, o que deve ser observado e considerado nas análises que envolvem o consumo energético. Segundo Gunai, O’Brien e Beausoleil-Morrison (2013), futuros estudos que considerem o comportamento do usuário e o controle do ambiente devem ser transparentes, e devem também seguir um método comum, para que uma modelagem acerca do comportamento do ocupante possa ser estabelecida com maior significância estatística.

### **2.2.3 A velocidade do ar como estratégia de climatização**

A introdução da ventilação natural como estratégia passiva de condicionamento em uma edificação vem provocando ao longo dos últimos anos diversas discussões a respeito da influência da velocidade do ar e os limites de temperatura aceitáveis nestas condições. Em climas quentes e úmidos, é sabido que a velocidade do ar exerce um papel

extremamente importante no conforto, promovendo as trocas térmicas entre a pele e o ambiente que a circunda, por meio da convecção e evaporação. Assim, é possível afirmar que a sensação térmica é influenciada diretamente pela intensidade e turbulência da velocidade do ar, o que pode amenizar o desconforto térmico causado pelo calor em excesso por meio da evaporação do suor. A contribuição do movimento do ar na remoção do calor pode variar de acordo com a temperatura e a umidade.

Dentre os estudos que alimentam a discussão sobre este assunto, é possível encontrar limites de velocidade do ar que variam entre 0,5 e 3,50 m/s (FOUNTAIN; ARENS, 1993; TANABE e KIMURA, 1994; ARENS et al., 1998; KHEDARI et al., 2000; TOFTUM, 2004; CÂNDIDO et al., 2011; CÂNDIDO; DE DEAR; LAMBERTS, 2011). Nicol (2004) afirma que o efeito causado pela velocidade do ar permite a tolerância de temperaturas até 4°C mais elevadas, que quando combinadas com a utilização de ventiladores, podem ainda ser incrementadas em até 2°C.

Huang et al. (2013) realizaram uma abrangente revisão da literatura que considerou os diferentes limites de velocidade do ar encontrados a partir de dados medidos em ambientes controlados, provenientes de diversas partes do mundo (Figura 12). Ao observar a Figura 12, é possível afirmar que existe uma grande variação entre os limites de velocidade do ar para as mesmas faixas de temperatura. Os autores ainda realizaram um experimento de campo em uma câmara climatizada com ventiladores elétricos, correlacionando velocidade do ar, sensação térmica e temperatura do ar, verificando que velocidades acima de 0,80 m/s eram facilmente aceitas em Pequim, na China (Figura 13). De Dear (2011) afirma que sob condições climáticas quentes, o estímulo causado pela velocidade do ar quando se busca restabelecer o conforto térmico é sempre positivo, e neste caso a movimentação do ar não só é bem-vinda, como desejada pelos usuários (CÂNDIDO et al., 2011). No entanto, tais estímulos causados pela velocidade do ar são tradicionalmente indicados para edificações que operam de forma passiva, onde a ventilação natural predomina durante todo o ano. Em edificações condicionadas artificialmente, o limite de velocidade do ar estipulado pela ISO 7730 (2005) varia de 0 a 0,40 m/s, para temperaturas na faixa de 18 a 26°C. No caso de ambientes ventilados naturalmente, a norma apenas apresenta alguns conceitos relacionados à adaptação, e limita a velocidade do ar ao valor de 0,80 m/s em períodos mais quentes.

Figura 12. Aceitabilidade da velocidade do ar em diferentes estudos.

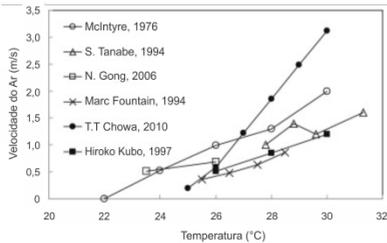
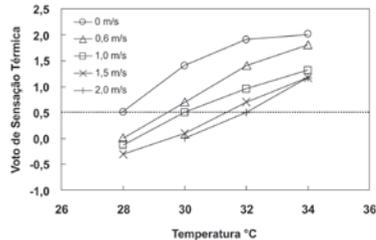


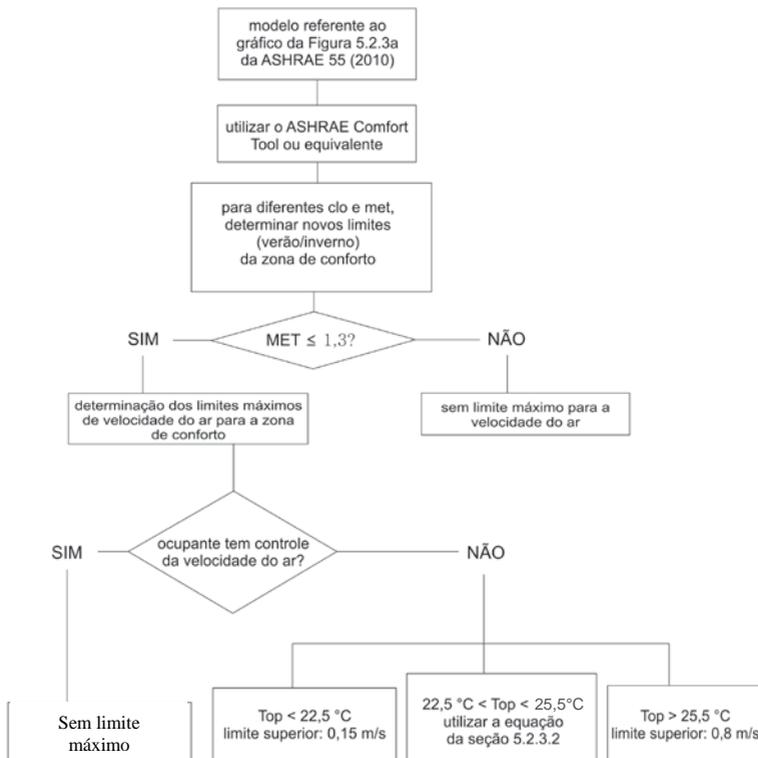
Figura 13. Votos de sensação térmica relacionados à velocidade do ar considerando diferentes intervalos de temperatura.



Fonte: Adaptado de Huang et al., (2013).

A mais recente versão da ASHRAE 55 (2013) apresenta um método alternativo para ambientes com velocidade do ar elevada e condicionamento artificial, desde que o controle local e a oportunidade adaptativa sejam alternativas viáveis. Neste caso, o controle do ambiente deve ser restrito a grupos de no máximo seis pessoas, ou a cada 84m<sup>2</sup> de área útil. Atendidos a estes pré-requisitos, nenhum limite de velocidade do ar é aplicado. A última versão publicada traz, de uma maneira simplificada, um fluxograma que direciona o usuário à correta determinação da zona de conforto em ambientes com velocidade do ar elevada (Figura 14). Ainda segundo o fluxograma, quando o metabolismo ultrapassa o valor de 1,3 met, nenhum limite de velocidade do ar deve ser aplicado. No item destinado à avaliação de conforto térmico em ambientes naturalmente ventilados, os limites são acrescidos conforme o valor da velocidade do ar, e neste caso, para faixas de velocidade do ar de 1,20 m/s, o limite máximo da zona de conforto pode ser estendido em até 2,2°C.

Figura 14. Fluxograma para determinação da zona de conforto em ambientes com alta velocidade do ar.



Fonte: adaptado de ASHRAE 55 (2013).

Mesmo com uma quantidade ainda pequena de estudos que testam os limites de velocidade do ar em ambientes com condicionamento artificial, alguns resultados recentes têm apresentado economia de energia e faixa de aceitabilidade térmica bastante significativa. Schiavon e Melikov (2008) realizaram simulações em salas de aula utilizando o software EnergyPlus considerando os limites de velocidade do ar estipulados pelas normas de conforto térmico de versões anteriores (0,20 m/s; 0,5 m/s e 0,8 m/s). Os autores verificaram uma economia de energia final que variou entre 17 e 48% apenas elevando a temperatura e a velocidade do ar do ambiente. Além da economia de energia, De Vecchi, Cândido e Lamberts (2013) verificaram boas condições de conforto e aceitabilidade térmica em

salas de aula que operavam com os ventiladores de teto e ar-condicionado em conjunto. Durante as condições do experimento, os autores afirmaram que valores de velocidade do ar acima de 0,90 m/s eram bem aceitos enquanto a temperatura operativa da sala oscilava entre 25 e 28°C.

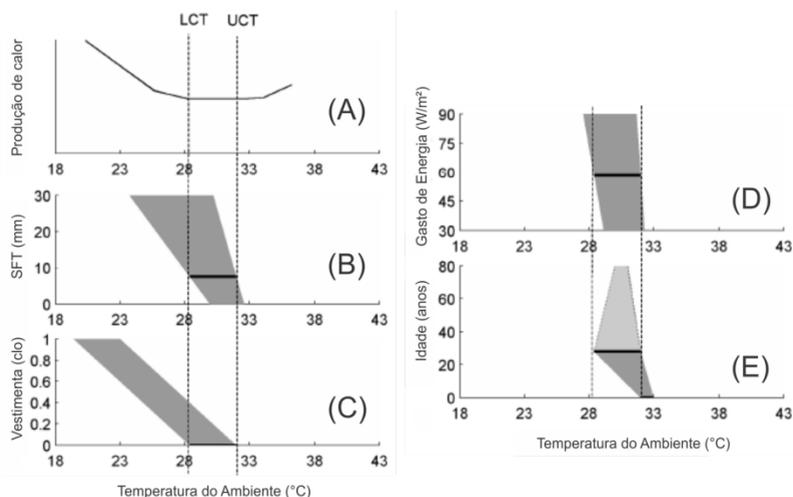
De acordo com Atthajariyakul e Lertsattanakorn (2008), na Tailândia as pessoas possuem uma maior tolerância às temperaturas e velocidades do ar superiores às usuais. Assim, os autores estudaram o efeito da velocidade do ar com fluxo direcionado por meio de um pequeno ventilador elétrico em ambientes condicionados artificialmente, verificando que, ao utilizar ventiladores pequenos em conjunto com os condicionares de ar, é possível economizar algo em torno de 1959,51 GWh/ano. Para isso, os autores recomendam um *setpoint* de 28°C, e velocidade do ar variando entre 0,5 e 2,0 m/s conforme a necessidade e o ajuste individual de cada ocupante.

### 2.3 CARACTERÍSTICAS PESSOAIS E IMPLICAÇÕES NOS ESTUDOS DE CONFORTO TÉRMICO

A grande maioria dos estudos e avaliações que envolvem a fisiologia humana e o conforto térmico é feito com base em uma zona de neutralidade térmica, conhecida também como TNZ – *Thermoneutral Zone*. Segundo Kingma, Frijns e van Marken Lichtenbelt (2012), a zona de neutralidade térmica é definida como o intervalo de temperaturas em um ambiente onde nenhuma mudança termorregulatória ocorre no corpo humano: nem a produção de calor pelo metabolismo (atitudes involuntárias e muitas vezes imperceptíveis que buscam manter a temperatura corporal constante, como por exemplo, os tremores), nem a perda de calor pela evaporação (como por exemplo, o suor). Fatores como a composição corporal (peso), o vestuário, gasto energético, a idade e o gênero influenciam diretamente na zona de neutralidade térmica do corpo humano, e são potenciais indutores de resultados equivocados em estudos de diversas áreas (Figura 15). Na Figura, as siglas LCT e UCT são equivalentes, respectivamente, ao limite crítico inferior e ao limite crítico superior de temperatura do ambiente (LCT: Lower critical limit; UCT: Upper critical limit). De acordo com Kingma, Frijns e van Marken Lichtenbelt (2012), quando a temperatura está abaixo do LCT, a produção de calor interna se eleva para manter o equilíbrio térmico; acima do UCT, o equilíbrio térmico é mantido por meio da transpiração. As linhas tracejadas indicam uma zona de neutralidade térmica como referência, observada nos estudos dos

autores. A área acinzentada em cor mais clara na figura (E) representa um intervalo de estreitamento da TNZ ainda não confirmado por experimentos. Assim, estes fatores discutidos devem, portanto, ser levados em consideração nos estudos metabólicos, estudos sobre a obesidade, condições médicas e de conforto térmico.

Figura 15. Modificações na zona de neutralidade térmica (TZN – *Thermoneutral Zone*) de acordo com: (A) produção de calor, (B) faixa de espessura de gordura subcutânea (STF – *subcutaneous fat thickness*), (C) isolamento da roupa, (D) gasto de energia interna e (E) idade.



Fonte: Adaptado de Kingma, Frijns e van Marken Lichtenbelt (2012).

Fanger (1970) foi um dos precursores nas análises de conforto térmico que consideraram outros parâmetros além dos seis básicos já conhecidos mundialmente (como o gênero, a idade, ciclo menstrual, quantidade de pessoas em um mesmo ambiente, etc.) e concluiu que nenhum deles possui efeito de magnitude suficientemente significativa para ser levado em conta. Seus resultados foram considerados por alguns autores como controversos, o que levou a diversos outros estudos que apresentaram diferentes resultados.

Apesar da sua importância, as características antropométricas e seus impactos em estudos de conforto térmico são geralmente tratados de forma individualizada, como um agente modificador das respostas dos usuários (sensação, satisfação e aceitabilidade térmica). A influência de tais características no modo de operação de edifícios que alternam

entre ventilação natural e condicionamento artificial é um assunto ainda desconhecido. Assim, nos itens seguintes serão introduzidos os aspectos antropométricos a serem investigados a partir dos resultados dos experimentos deste trabalho, buscando discutir estudos que tratam da influência da idade, gênero e o peso na percepção térmica. No entanto, a relação de tais características antropométricas no comportamento do usuário, e conseqüente influência na operação de edifícios com estratégias de controle do usuário se constitui em uma lacuna na área, sendo, portanto, um dos objetivos específicos deste trabalho.

### **2.3.1 Idade**

Embora exista demasiada controvérsia entre estudos de diferentes autores, é sabido que a idade é um fator que pode influenciar diretamente na temperatura corporal e na taxa metabólica, o que conseqüentemente se reflete na resposta ao ambiente térmico se considerados ocupantes de diferentes faixas etárias. Fanger (1970) realizou experimentos em uma câmara climatizada considerando dois grupos diferentes: o primeiro com 128 pessoas com idade avançada (média de 68 anos), e o segundo com 128 estudantes (média de 23 anos), expostos exatamente às mesmas condições térmicas durante um período de 3 horas, e com vestimenta padronizada de 0,6 clo. 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, e concluiu que por esse motivo o PMV/PPD é um índice apropriado para todas as faixas etárias, já que a taxa metabólica é um dos principais fatores considerados em seu cálculo. Segundo Parsons (2003), a vulnerabilidade ao frio e a propensão às temperaturas mais altas em grupos de pessoas idosas pode estar ligada ao estilo de vida. Além da pouca atividade física, o autor também citou a demora das respostas termorregulatórias e o atraso na percepção da temperatura ambiental. Havenith (2001b) explicou que as pessoas idosas têm reduzida força muscular, capacidade de transpiração, capacidade de transporte de calor do núcleo do corpo até a superfície da pele e baixos níveis de hidratação.

Após a publicação dos resultados de Fanger (1970), uma série de estudos desenvolvidos apontaram resultados similares aos encontrados pelo autor (FANGER; LANGKILDE, 1975; LANGKILDE, 1979; COLLINS; HOINVILLE, 1980; CENA; SPOTILA, 1984; CENA;

SPOTILA, 1986). No entanto, outra corrente de estudos verificou que tais diferenças existem, principalmente se consideradas a zona de neutralidade térmica, a preferência e a aceitabilidade térmica em outras faixas etárias não analisadas até então.

Hey e Katz (1970) focaram em grupos com idade maternal e definiram condições de temperatura ideais para recém-nascidos nus por meio de um estudo acerca da magnitude dos fatores ambientais que afetam o equilíbrio térmico. Segundo os autores, a zona de neutralidade térmica varia de acordo com o peso dos bebês ao nascer, e pode se situar entre 34,5°C e 33,8°C para bebês com aproximadamente dois quilos nos cinco primeiros dias de idade, e se modificar rapidamente até este mesmo bebê atingir um mês de idade, se deslocando para 32°C e 33°C.

Kingma et al. (2010) também confirmaram em seus resultados 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°C a 34°C, e diminui para a faixa de 28,5 a 32,0°C no começo da idade adulta (segundo os autores, por volta dos 20 anos de idade). Tal fato se deve principalmente ao metabolismo e à quantidade de massa magra e massa de gordura, que aumenta conforme a idade. A diferença entre o metabolismo de um jovem adulto e uma pessoa idosa é de aproximadamente 4,7W/m<sup>2</sup>. Ainda segundo Borkan et al. (1983), a quantidade de massa de gordura subcutânea também diminui com o aumento da idade, o que pode causar uma queda na sensibilidade relacionada à temperatura e controle neural da vasoconstrição.

Para Indraganti e Rao (2010), é evidente que o nível de expectativa com relação ao ambiente térmico também sofra alterações e varie de acordo com a individualidade de cada grupo etário, afetando a sensação térmica. Em seus estudos realizados na Índia, os autores avaliaram a sensação térmica de grupos com idades diferentes: abaixo de 20 anos, entre 20 e 30 anos, entre 30 e 40 anos, entre 40 e 50 anos, entre 50 e 60 anos e acima de 60 anos. Dentre os principais resultados encontrados, os autores observaram algumas curiosidades relacionadas à idade dos ocupantes que participaram dos experimentos:

- O voto de sensação térmica das pessoas mais velhas é ligeiramente inferior ao de jovens, e tal fato também se reflete na preferência térmica;
- Devido à baixa taxa metabólica e ao sedentarismo, indivíduos mais velhos são menos ativos, e acabam se movimentando menos. O sedentarismo dificulta o acesso aos dispositivos de controle

ambiental, e conseqüentemente os votos de sensação térmica e expectativa podem apresentar conseqüências relacionadas a esta questão.

- Uma pequena porcentagem dos votos de preferência térmica de pessoas acima dos 40 anos se localizou na zona de preferência para um ambiente “muito mais refrigerado”, o que segundo os autores, ocorreu devido à menor sensibilidade térmica e aos níveis de satisfação mais elevados deste grupo de ocupantes.
- Uma pequena porcentagem de indivíduos mais velhos considerou o ambiente aceitável, apesar de seus votos se localizarem sempre na escala mais quente de sensação térmica, o que pode demonstrar que tais indivíduos têm maior tolerância ao calor.

Na Indonésia, Karyono (2000) apresentou resultados similares aos de Indraganti e Rao (2010) ao avaliar dados provenientes de um grupo de ocupantes com idade entre 19 e 53 anos. O autor afirmou que embora ainda exista pouca evidência concreta, a idade desempenha um papel importante na determinação da temperatura de conforto térmico. Em seus estudos, os autores encontraram uma diferença de  $0,3^{\circ}\text{C}$  na temperatura preferida entre grupos acima e abaixo dos 40 anos. De Dear et al. (2015) encontraram temperaturas preferidas em grupos de crianças com idade escolar mais baixas que aquelas esperadas para grupos de adultos sob as mesmas condições térmicas internas ( $22,5^{\circ}\text{C}$ ), embora o intervalo de aceitabilidade verificado tenha sido de  $19,5^{\circ}\text{C}$  até  $26,6^{\circ}\text{C}$ . Neste estudo, estudantes com idade escolar demonstraram boa adaptabilidade às variações de temperatura interna em ambientes que operam com sistemas mistos de condicionamento ambiental.

A idade relacionada ao conforto térmico também tem sido alvo de discussões a respeito do índice de mortalidade em situações extremas de temperatura. Na Inglaterra, durante a onda de calor de 2003, Kovats, Johnson e Griffith (2006) afirmaram que dentre as 2000 mortes atribuídas ao evento, 33,5% ocorreram em pessoas acima de 75 anos. Pirard et al. (2005) verificaram uma forte correlação entre a idade e o número de mortes relacionadas à onda de calor que ocorreu na França. Em ambos os estudos, não foram apontadas evidências de excesso de mortalidade em bebês ou crianças durante as ondas de calor. Outro estudo mostrou que o excesso de mortalidade em pessoas idosas ocorre também durante os meses de inverno devido à hipotermia (VAN SOMEREN, 2007). Ainda de acordo com os resultados de van Someren

(2007), o risco de hipotermia e hipertermia em pessoas idosas é muito mais elevado quando comparados a pessoas mais jovens.

Apesar de normas de conforto térmico internacionais tais como a ASHRAE 55 e a ISO 7730 assumirem que os requisitos para a obtenção de conforto térmico são universais e de comum aplicação a todas as faixas etárias, Hwang e Chen (2010) reafirmam que pessoas acima de 60 anos possuem características fisiológicas e psicológicas únicas, e, portanto, apresentam requisitos diferentes em relação ao microclima interno quando comparados aos ocupantes mais jovens. Segundo os autores, poucos estudos têm sido realizados nesta área para estabelecer ou modificar os parâmetros de conforto já existentes, e também adaptá-los às necessidades específicas de pessoas em diferentes grupos etários. Se considerada a atual expectativa de vida e incidência de pessoas acima de 60 anos que ainda são ativas e estão no mercado de trabalho, tal fato definitivamente se constitui em uma lacuna na área.

### **2.3.2 Gênero**

Uma das principais diferenças antropométricas observadas no voto de sensação térmica, e que gera discussões desde os primeiros experimentos de conforto térmico publicados até os dias de hoje, está ligada ao gênero humano. Em seus estudos, Fanger (1970) observou que apesar da temperatura neutra de um grupo ser um parâmetro independente da idade, gênero, peso, ciclo menstrual, hora do dia, raça ou localização espacial, as mulheres detêm maior sensibilidade às flutuações de temperatura quando comparadas aos homens. Ainda segundo os resultados de Fanger (1970), as mulheres tendem a preferir uma temperatura interna levemente superior àquela preferida pelos homens (0,3°C).

Alguns autores acreditam que tal diferença pode estar diretamente relacionada ao modo como usuários do sexo feminino e masculino se vestem (YAGLOU; MESSER, 1985). No entanto, De Carli et al. (2007) avaliaram o comportamento das pessoas ligado à vestimenta a partir de dados mundiais (a base de dados incluía a América do Norte, Europa, Ásia e Oceania) em ambientes condicionados artificialmente e ventilados naturalmente, e concluíram que o gênero não apresenta influência alguma no modo como as pessoas se vestem, e sim a temperatura às 6h da manhã. Webb e Parsons (1997) e Parsons (2002) descartaram a hipótese das diferenças estarem relacionadas à vestimenta ao realizarem uma comparação entre grupos de diferentes gêneros utilizando vestimentas e atividades físicas

idênticas. Os autores verificaram que em uma situação de frio (PMV - 2,0), as mulheres tendem a reclamar em uma quantidade significativamente maior que os homens. Além disto, as mulheres costumam apresentar voto de sensação térmica muito mais próximo ao valor do PMV calculado quando comparado aos resultados masculinos. Mesmo que os autores também tenham concluído que as mulheres detêm maior sensibilidade ao frio, não foram verificadas diferenças significativas entre gêneros quando o ambiente apresenta condições de temperatura que levem à neutralidade térmica ou em uma situação levemente quente. Karjalainen (2012) verificou que as mulheres são em média 74% mais propensas a reclamar do ambiente térmico que os homens. Em sua revisão de literatura, o autor não encontrou nenhum estudo onde as mulheres apresentaram maior nível de satisfação térmica quando comparadas aos homens.

Em termos de fisiologia, Kaciuba-Uscilko e Grucza (2001) explicam que tais diferenças entre os gêneros são evidenciadas pelas características corporais e pelo sistema endócrino. Usualmente as mulheres possuem uma superfície de revestimento corporal maior que a dos homens e são mais propensas à perda de calor. Por outro lado, as mulheres apresentam uma quantidade maior de gordura subcutânea, o que aumenta o isolamento térmico do corpo em algumas partes específicas, como os quadris e a cintura (TIKUISIS et al., 2000). Ainda que algumas características físicas femininas sigam em sentidos opostos, a zona de neutralidade térmica das mulheres é conhecida por ser levemente deslocada em direção às temperaturas mais altas quando comparada à zona de neutralidade térmica masculina (KINGMA; FRIJNS; VAN MARKEN LICHTENBELT, 2012).

Schellen et al. (2012) investigaram as diferenças entre gêneros ligadas à termo fisiologia, ao conforto térmico e à produtividade. No estudo, 20 adultos entre 20 e 29 anos (10 do sexo masculino e 10 do sexo feminino) saudáveis, sem problemas de pressão sanguínea, não obesos, não fumantes e que não estavam passando por nenhum tipo de tratamento médico que influenciasse no sistema cardiovascular, foram expostos a condições não uniformes de temperaturas. Os autores verificaram que ambos os sexos apresentam diferenças significativas entre o voto de PMV calculado e os votos reais de sensação térmica. No entanto, indivíduos do sexo feminino se mostraram mais insatisfeitos com relação ao ambiente, e desconfortáveis sob as mesmas condições ambientais. Os autores explicaram que para as mulheres, a sensação térmica localizada e a temperatura da pele nas extremidades do corpo (mãos e braços) têm maior influência quando comparadas aos homens.

Ainda em termos de resfriamento e produtividade, a temperatura operativa ideal para elevar o nível de satisfação entre um grupo de mulheres é por volta de  $1,2^{\circ}\text{C}$  maior que a dos homens. Nos resultados de Nakano, Tanabe e Kimura (2002), esta diferença é ainda maior:  $25,1^{\circ}\text{C}$  para as mulheres e  $22,9^{\circ}\text{C}$  para os homens.

Em um estudo mais abrangente, onde outras características além do conforto térmico foram investigadas, os autores também enfatizaram tais diferenças entre gêneros ligadas a diversos aspectos de qualidade ambiental, utilizando como base os dados provenientes do CBE - *Center for the Building Environment* (KIM et al., 2013). Neste estudo, os autores encontraram diferenças significativas entre os gêneros para o nível de satisfação em todos os fatores relacionados à qualidade ambiental (temperatura, nível de ruído, qualidade do ar, conforto visual, entre outros). De acordo com os resultados, o percentual de insatisfação era significativamente mais elevado no grupo feminino, sendo este mesmo grupo classificado como o mais crítico com relação ao ambiente de trabalho. Ademais, os autores concluíram que as mulheres, por deterem mais sensibilidade ao frio, apresentam menor satisfação com relação à qualidade do ar e condição térmica em ambientes condicionados artificialmente. Tais resultados já foram observados por De Vecchi, Cândido e Lamberts (2012) em experimentos realizados com alunos de graduação em salas de aula com ventiladores de teto e ar-condicionado. Muzi et al. (1998) enfatizaram que as diferenças nos votos de satisfação térmica ocorrem principalmente nos ambientes condicionados artificialmente. Humphreys (1975) revisou os resultados de experimentos de campo realizados em ambientes condicionados artificialmente, e em um dos estudos o autor verificou que os homens tendem a preferir temperaturas  $0,7^{\circ}\text{C}$  mais baixas que as mulheres, enquanto em outro estudo tal diferença foi de aproximadamente  $0,4^{\circ}\text{C}$  durante as mesmas condições experimentais. No entanto, pesquisadores no Japão verificaram que a diferença entre mulheres japonesas e trabalhadores homens, europeus e norte-americanos, em escritórios multinacionais era de aproximadamente  $3,1^{\circ}\text{C}$  sob as mesmas condições climáticas (TSUSHIMA; TANABE; UTSUMI, 2015). É interessante notar que esta grande diferença na temperatura preferida entre homens e mulheres (próxima de  $3^{\circ}\text{C}$ ) também foi encontrada por Beshirm e Ramsey (1981), e Karjalainen (2007).

Recentemente, a questão relacionada às diferenças na percepção térmica entre homens e mulheres foi debatida por Kingma e van Marken Lichtenbelt (2015) em um artigo que ganhou repercussão mundial. Os autores afirmaram que a maior diferença entre homens e

mulheres está relacionada à taxa metabólica, sendo, portanto, esta a maior falha proveniente de modelos de avaliação de conforto térmico como o de Fanger (1970), já que a acuracidade das duas principais variáveis de entrada do modelo – vestimenta e metabolismo – foram, de uma forma geral, pobremente definidas (HAVENITH; HOLMÉR; PARSONS, 2002; PARSONS, 2003). Tal problema impactou diretamente nos métodos propostos pelas normas atuais, e consequentemente no consumo de energia elétrica de ambientes compartilhados por homens e mulheres, que apresentam diferentes demandas para *setpoints* internos de refrigeração e aquecimento. Segundo van Hoof (2015), as desigualdades entre gêneros vêm sendo cada vez mais reportadas. Por este motivo, o autor afirma que uma reavaliação em grande escala de estudos de campo focados nestas diferenças é imperativa, reunindo material suficientemente grande para convencer não só o setor imobiliário, mas também os comitês de normas mundiais e profissionais do setor construtivo de que uma revisão de todas as práticas e requisitos de conforto térmico existentes é algo extremamente necessário.

### **2.3.3 Condição física e peso**

Segundo Fanger (1970), existe uma teoria generalizada e popular de que as pessoas obesas preferem ambientes mais refrigerados quando comparadas às pessoas magras. DeGroot, Havenith e Kenney (2006) explicam que a gordura subcutânea e a superfície da pele criam uma espécie de resistência térmica que influencia diretamente na condutividade de calor e no fluxo sanguíneo. Embora Fanger (1970), e mais recentemente Karyono (2000), tenham investigado tal questão em seus estudos sem, no entanto, encontrarem diferenças significativas que relacionassem o peso com a condição de conforto térmico, outros autores afirmam que indivíduos com maior quantidade de gordura corporal (tanto a gordura subcutânea, quanto o percentual geral de gordura corporal) são capazes de suportar temperaturas mais baixas, sem que seja necessário aumentar sua produção interna de calor (CANNON; NEDERGAARD, 2004; WIJERS; SARIS; VAN MARKEN LICHTENBELT, 2010; VAN MARKEN LICHTENBELT et al., 2014). Fadeyi (2014) verificou que a sensação térmica de ocupantes acima do peso era mais quente que a sensação térmica de ocupantes com peso normal, mesmo após um longo período de ocupação em um mesmo espaço, bem como os níveis de aceitabilidade térmica, que eram também menores. Assim, pessoas acima do peso apresentam certa tendência em

preferir temperaturas operativas inferiores àquelas preferidas por pessoas mais magras, tanto no inverno quanto no verão. A influência do peso na sensação de conforto térmico também pode estar relacionada à idade, considerando a composição corporal como algo que se altera conforme o passar dos anos (NOVIETO; ZHANG, 2010).

Poucos estudos publicados investigaram a influência do peso e da massa corporal na sensação, preferência, aceitabilidade térmica e controle ambiental de ocupantes em espaços internos. No entanto, com o advento da chamada “*epidemia da obesidade*<sup>1</sup>”, as diferenças entre a condição física e a massa corporal de ocupantes em um mesmo espaço onde o controle ambiental é uma prática vigente podem se tornar comuns e, inclusive, recorrentes. Se por um lado faltam estudos com foco nesta questão, por outro lado observa-se que autores da fisiologia humana têm frequentemente relacionado a exposição contínua do corpo em ambientes estáticos ao aumento do número de pessoas obesas no mundo (KEITH et al., 2006; MCALLISTER et al., 2009; WIJERS; SARIS; VAN MARKEN LICHTENBELT, 2010; MAVROGIANNI et al., 2013). Johnson et al. (2011) explicam que a exposição prolongada do corpo a uma zona de neutralidade térmica pode contribuir significativamente para o aumento do peso corporal. Assim, considerando-se as pessoas que passam 90% de seu tempo útil em espaços internos com condicionamento artificial como os carros, shopping centers, escritórios e supermercados, é correto concluir que o gasto energético relacionado ao metabolismo no dia a dia tem sido reduzido drasticamente.

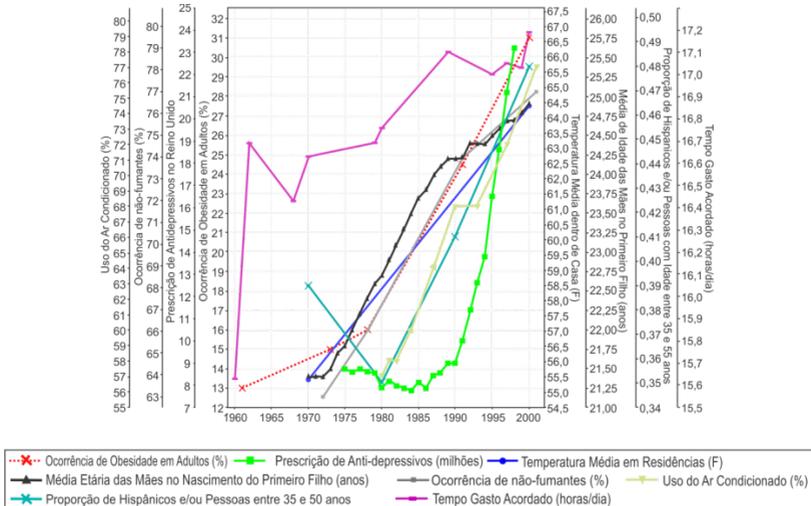
Keith et al. (2006) investigaram alguns possíveis catalizadores da epidemia da obesidade além dos dois fatores mais comuns: redução da atividade física e o comércio alimentício. Os autores reuniram informações a partir de estudos ecológicos, fisiológicos e epidemiológicos em humanos e animais, onde observou-se pelo menos dez fatores adicionais que podem explicar o crescimento do número de casos de obesos no mundo. Dentre todos os fatores observados na Figura 16, destacam-se os números representados pelos valores de temperatura média em residências e o uso do ar-condicionado (linhas azul e verde-clara, respectivamente). Segundo os autores, as pessoas têm passado hoje uma quantidade maior de horas na zona de neutralidade térmica quando comparado a 30 anos atrás. Tal fato está

---

<sup>1</sup> A obesidade é um dos dez principais problemas de saúde no mundo; sua proporção cresce substancialmente em um curto período de tempo, o que a caracteriza como “epidemia” (IBGE, 2010; SWINBURN et al., 2011).

diretamente relacionado ao crescimento do número de equipamentos condicionadores de ar nas residências e à crescente expectativa das pessoas por ambientes que proporcionam uniformidade térmica, provocada pela generalização do uso do ar-condicionado.

Figura 16. Série de indicadores apontados como fatores-chave no crescimento do número de obesos nas últimas décadas.



Fonte: Keith et al. (2006).

McAllister et al. (2009) reafirmaram os dez contribuintes do estudo anterior por meio de uma revisão da literatura e apontaram a permanência prolongada em espaços com condições estáticas de temperatura como um dos itens discutidos. Os autores apresentaram evidências científicas, de correlação ecológica, epidemiológicas e evidências experimentais provenientes de estudos humanos para embasar a discussão. Além das duas maiores causas da obesidade – a indústria alimentícia e o aumento do sedentarismo, comumente chamada pelos autores da área como “*the big two*” – os autores explicaram que ambientes controlados pelos usuários têm permitido cada vez mais a exposição prolongada em espaços com condições neutras de temperatura, o que resulta em um balanço energético positivo, que se manifesta a partir do aumento de peso. Ao tratar do assunto, ambos os estudos discutiram dados em regiões frias, onde o aquecimento artificial durante o inverno promove condições internas que variam entre 25°C e

30°C. É interessante observar que a zona de neutralidade térmica nos experimentos de Kingma, Frijns e van Marken Lichtenbelt (2012) varia entre 28°C e 33°C, se considerados adultos na faixa dos 30 anos de idade.

Além da utilização da climatização artificial e a permanência prolongada na zona de neutralidade térmica serem considerados dois contribuintes da epidemia da obesidade, Wijers, Saris e van Marken Lichtenbelt (2010) vão além, e explicam que pessoas obesas gastam menos energia pelo metabolismo em comparação às pessoas mais magras, mesmo quando estão fora da zona de neutralidade térmica. Os autores realizaram experimentos em indivíduos que foram expostos a condições medianas de frio (16°C) e neutralidade térmica (22°C). No experimento foram avaliados dez indivíduos magros e dez indivíduos obesos, comparando o gasto energético (EE - *Energy Expenditure*), a atividade física, a temperatura da pele e do núcleo do corpo. Nos resultados, os autores verificaram que durante a exposição ao frio, os indivíduos mais magros apresentaram pouca redução na temperatura da pele do corpo quando comparados aos indivíduos obesos, mas nas extremidades, tais diferenças foram bastante significativas. Pessoas acima do peso apresentaram menor gradiente de temperatura entre o antebraço e a ponta dos dedos, o que demonstrou menor vasoconstrição periférica ou vasodilatação ativa neste grupo. Ao final, os autores concluíram que pessoas obesas apresentam maior isolamento da temperatura no núcleo do corpo devido às propriedades de isolamento da gordura corporal, e assim, pouco gasto de energia é necessário para regular tal temperatura quando o ambiente apresenta condições térmicas favoráveis à sensação de frio.

## 2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente a avaliação de conforto térmico é feita de diferentes formas, se consideradas as diversas partes do mundo e suas características climáticas e culturais. Dada a grande variedade de modelos, abordagens e aplicações existentes para a avaliação de conforto térmico, é importante entender que a utilização de cada um destes modelos deve ser criteriosamente pensada e limitada às condições para as quais se destinam. A oportunidade de adaptação e o controle das condições ambientais têm aberto espaço para que os ocupantes experimentem ambientes mais confortáveis termicamente, que podem proporcionar um nível de satisfação geral significativamente maior; além de um melhor desempenho térmico e energético da edificação.

Apesar de existirem diversos modelos e equações que se destinam à avaliação em ambientes condicionados artificialmente (modelos estáticos como, por exemplo, o PMV e o PPD) ou ventilados naturalmente (modelos adaptativos), quando o assunto envolve ambientes com sistemas mistos de condicionamento, existe ainda uma grande lacuna na área.

Em sua última versão publicada, a ASHRAE 55 (2013) passou a indicar um método de avaliação que antes era restrito aos ambientes condicionados artificialmente para a aplicação em qualquer ambiente com velocidade do ar superior a 0,20 m/s. Ainda segundo esta versão, e a adenda “d” publicada em Maio de 2015, o valor da velocidade do ar além de poder ultrapassar 0,20 m/s, passou a não ter limite máximo quando o usuário possui controle da velocidade do ar. Desta forma, tal método parece mesclar características dos métodos estático e adaptativo, abrindo espaço para a avaliação em edificações mistas. O método adaptativo passou a ser exclusivo para avaliação de edificações ventiladas naturalmente, sem que nenhum sistema de condicionamento artificial esteja **instalado** no ambiente. Sobre as edificações que operam de forma mista, verificou-se que pouco se conhece a respeito dos limites de temperatura e modo de operação relacionado a elas; ainda, pouco se conhece a respeito da influência dos usuários e de suas características individuais no acionamento do condicionamento artificial e/ou utilização da ventilação natural. Mesmo que a ASHRAE 55 (2013) tenha permitido a utilização de um método com maior velocidade do ar em edificações condicionadas artificialmente e de forma mista, é necessário aplicar todos os procedimentos envolvidos em novos experimentos de campo e testá-los, já que antes este era um método exclusivo para avaliação de ambientes climatizados artificialmente. Como este é um método com base no modelo do PMV/PPD de Fanger (1970), é possível que o mesmo apresente certa deficiência quando a condição predominante do ambiente for a ventilação natural.

Ainda sobre as edificações com condicionamento misto (ventilação natural, mecânica e condicionamento artificial), a introdução da velocidade do ar se constitui em uma forte estratégia para auxiliar na manutenção de *setpoints* internos e melhorar a distribuição do ar refrigerado durante a operação com o condicionamento de ar ativo, bem como na variação das condições ambientais internas conforme a estação do ano. Como observado nos estudos discutidos durante a revisão, tal estratégia pode resultar em uma redução considerável do consumo energético quando comparada aos sistemas centrais estáticos, onde a temperatura interna geralmente sofre pouca variação no ano todo.

Assim, é possível reafirmar a existência de boas oportunidades de ajustes incrementais no *setpoint* em edifícios comerciais, inclusive naqueles casos onde o sistema de climatização é central e as janelas não podem ser livremente operadas pelos usuários. Além da economia de energia, a introdução da velocidade do ar nos ambientes internos, segundo de Dear et al. (2013), pode representar um grande passo em direção à melhoria da qualidade interna dos ambientes, e o reconhecimento relacionado à importância dos ocupantes que atuam como peças-chave no controle ambiental e melhor desempenho das edificações.

Durante a realização de experimentos de conforto térmico é importante ainda ressaltar que os ocupantes podem, na grande maioria das vezes, reagir de formas diferentes sob as mesmas condições ambientais. Assim, é correto presumir que fatores antropométricos ou psicossociais, além dos parâmetros já considerados pelos modelos atuais, influenciam diretamente na percepção térmica e na qualidade do ambiente interno entregue aos ocupantes. Parâmetros antropométricos como a idade, o peso e a altura participam ativamente da percepção térmica, e quando combinados, podem produzir efeitos ainda não estudados. De acordo com os estudos discutidos na revisão, existe pouca evidência da influência de tais características na operação dos condicionadores de ar; mas de uma forma geral, sabe-se que ocupantes do sexo feminino são sensíveis às temperaturas mais baixas, enquanto pessoas com idade avançada podem preferir temperaturas superiores àquelas preferidas por pessoas mais jovens. Pessoas obesas são mais propensas ao calor, o que pode fazer com que estes usuários prefiram ambientes mais frios. Embora salientes em alguns poucos estudos, tais resultados necessitam de uma investigação mais profunda.

### 3 MATERIAIS E MÉTODO

Para atender aos objetivos propostos por esta tese, foram selecionadas edificações comerciais localizadas em Florianópolis/ SC, que operam com os dois sistemas de climatização investigados. Nelas foram conduzidas de forma simultânea as medições de variáveis ambientais (temperatura do ar, velocidade do ar, temperatura de globo e umidade relativa do ar) e o preenchimento de questionários aplicados a partir de um *software* desenvolvido durante a pesquisa. Assim, a principal característica deste método é a proximidade, entre o tempo e o espaço, das variáveis ambientais medidas e as respostas subjetivas dos ocupantes.

Os experimentos coletaram dados quantitativos e qualitativos de conforto térmico a partir dos votos subjetivos de ocupantes destas edificações. Foram analisadas três edificações diferentes: uma que opera com sistema central de condicionamento artificial, e outras duas que operam com sistema misto de condicionamento. Os procedimentos de medição têm como base inicial o método relativo às medições de conforto térmico em edificações comerciais do ASHRAE *Performance Measurement Protocols - PMP* (ASHRAE, 2010; ASHRAE, 2012), e a norma internacional de conforto térmico ASHRAE 55 (2013). O PMP é um conjunto padronizado de métodos de medição com base nas melhores práticas encontradas, o que proporciona uma coleta de dados consistente.

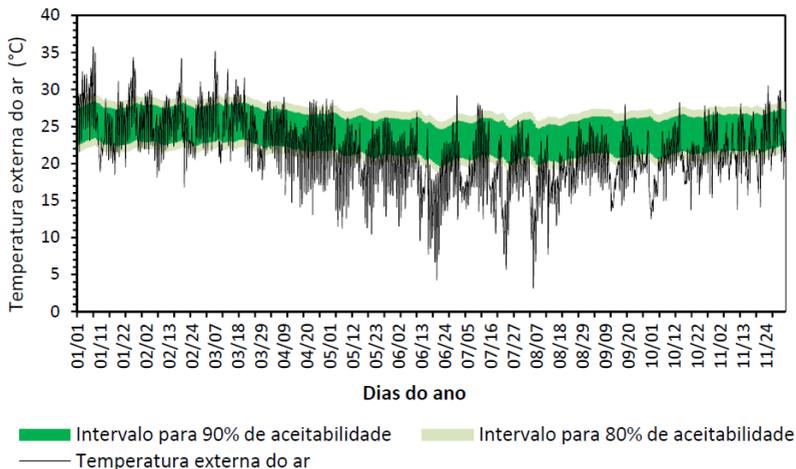
Os dados foram levantados durante todo o ano de 2014. Ao total, foram 87 medições de campo realizadas no período da manhã e da tarde, abrangendo as quatro estações do ano (3% no verão, 33% no outono, 50% no inverno e 14% na primavera). A baixa porcentagem de votos durante o período de verão ocorreu devido ao período de recesso coletivo (final de dezembro e início de janeiro), e também à grande porcentagem de funcionários que optam por tirar suas férias durante os meses de janeiro, fevereiro e março. É importante acrescentar que a alta concentração de votos no período de outono e inverno favoreceu as análises comparativas entre os dois tipos de edificações analisadas, e também entre os dois modos de operação em edificações que operam de forma mista (ventilação natural vs. climatização artificial), já que em edificações mistas a utilização da ventilação natural é mais participativa neste período. As medições tiveram início no final de março de 2014, e seguiram até o início de outubro do mesmo ano.

### 3.1 CONTEXTO CLIMÁTICO DE FLORIANÓPOLIS

Florianópolis é uma ilha localizada no sul do Brasil, entre os paralelos 27°10' e 27°50' de latitude Sul, e entre os meridianos 48°25' e 48°35' de longitude Oeste, com altitude aproximada de 7 metros. Nesta região, o clima é bastante conhecido por apresentar estações bem definidas, que sofrem a influência de duas massas de ar: a Massa Tropical Atlântica (MTA), presente principalmente na primavera e no verão, e a Massa Polar Atlântica (MPA), que atua principalmente no outono e inverno (GAPLAN, 1991; *apud* PAPST, 1999). A Massa Tropical Atlântica é caracterizada pelos ventos do quadrante norte, que resulta em dias mais quentes e úmidos; já a Massa Polar Atlântica, originária da zona Subantártica, se caracteriza pelos ventos do quadrante sul e as temperaturas mais baixas. O encontro destas duas massas de ar forma a Frente Polar Atlântica (FPA), que resulta em chuvas constantes durante sua passagem em direção ao norte (precipitação média anual de 1521 mm).

De acordo com Köppen-Geiger (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007), Florianópolis possui um clima de classificação temperado úmido, com verões quentes, temperaturas médias anuais amenas e amplitude térmica entre 9°C e 13°C. A partir do ano climático de referência (TRY) desta cidade, verificou-se que o maior valor de temperatura média mensal corresponde a 24,5°C, e ocorre durante o mês de fevereiro. Os valores de temperatura mais baixos ocorrem durante o mês de julho, sendo 16,6°C o valor médio mínimo. A umidade relativa do ar é alta durante todo o ano, e apresenta valor médio anual equivalente a 83% (GOULART; LAMBERTS; FIRMINO, 1998). Analisando os valores horários de temperatura externa do ar provenientes do arquivo climático (TRY) de Florianópolis, e considerando apenas o período entre 7h e 19h plotados dentro da zona de aceitabilidade térmica delineada por De Vecchi et al. (2014), destaca-se que existem boas condições para a incorporação do modo misto de condicionamento em edificações neste clima (Figura 17). Isto porque a plotagem dos dados na zona de aceitabilidade térmica proveniente do modelo adaptativo permite a verificação de uma porcentagem significativa de horas dentro da zona de 80% de aceitabilidade térmica, focando-se apenas a ventilação natural (59%). O desconforto térmico por calor verificado na Figura 17 só ocorre em 7% das horas comerciais; no restante do período (34%), observam-se condições climáticas favoráveis ao desconforto por frio.

Figura 17. Dados climáticos de Florianópolis e faixas de aceitabilidade térmica.



Fonte: Adaptado de De Vecchi et al. (2014).

### 3.2 EDIFICAÇÕES INVESTIGADAS

Para levantar os dados ambientais e subjetivos de conforto térmico, foram selecionadas três empresas comerciais públicas com dois tipos de sistemas de condicionamento diferentes: uma delas opera com sistema central de condicionamento artificial (empresa A), e as outras duas operam de forma mista (empresas B e C), alternando entre a ventilação natural e o condicionamento artificial. Todos os dados relativos às características internas e de envoltória das edificações foram registrados e tabulados com base em uma planilha padronizada similar à planilha utilizada pelo Sistema de Levantamento de Dados de Ocupantes em Edificações da Austrália - BOSSA (CÂNDIDO et al., 2013), disponível no **Apêndice A**. Além deste documento, demais informações referentes aos experimentos e funcionamento das edificações durante as medições de campo foram documentadas pelos pesquisadores por meio de observações sistemáticas em meio a todo o processo.

Algumas das empresas solicitaram à pesquisadora total sigilo dos dados de identificação, e por este motivo, tal procedimento foi adotado também em todas as outras empresas que participaram da coleta de dados. Assim, a descrição das edificações apresentada nos itens seguintes se resume às características construtivas gerais, sem apresentação de imagens dos locais, ocupantes envolvidos e/ou

desenhos ilustrativos. Apesar disso, considerou-se importante documentar imagens dos tipos de cadeiras utilizadas pelos funcionários em cada uma das empresas, que participam do isolamento total da vestimenta (Figura 18).

Figura 18. Modelos das cadeiras de escritório utilizadas nas empresas envolvidas nos experimentos.



Ainda, destaca-se que o perfil dos funcionários é semelhante em todas as edificações: a distribuição entre os gêneros, a faixa etária e atividade metabólica (sentado digitando, eventualmente em pé realizado alguma outra atividade rápida). As edificações onde ocorreram os experimentos de campo foram divididas em dois grupos de acordo com o modo de climatização ambiental: edificação com sistema central de condicionamento ambiental (ESC, empresa A), e edificações com sistemas mistos de condicionamento ambiental (ESMs, empresas B e C).

### **3.2.1 Empresa A**

A empresa A está localizada em uma única edificação com planta quadrada em concreto armado (90x90m), construída na década de 70. Possui um átrio central de 30x30m onde se localiza a circulação vertical, com pé-direito triplo (total de 10 metros de altura) e iluminação zenital. Os fechamentos externos são constituídos predominantemente de vidro, e sombreados por brises horizontais de alumínio em todas as fachadas, operados manualmente pelos ocupantes. A edificação é composta por cinco pavimentos, sendo dois deles localizados no subsolo, totalizando 27.735m<sup>2</sup> de área edificada. A planta é livre, e as

repartições internas são delimitadas por divisórias comuns de madeira, normalmente revestidas por laminado melamínico ou fechamento de vidro. Eventualmente estas divisões externas são remodeladas, e os funcionários fazem uma espécie de rodízio, se deslocando para outro andar ou espaço de trabalho. A edificação passou pela última reforma interna em 2007, e possui selo Procel Edifica nível A. O sistema de condicionamento artificial predominante é central, e opera a partir das 7h até por volta das 19h. Em algumas salas pequenas de uso eventual (salas de reuniões), foram instalados *splits* que são utilizados quando o sistema central está fora do horário de operação ou é considerado insuficiente.

Nesta edificação, as medições de conforto térmico ocorreram em sua grande maioria nas salas localizadas no primeiro e no segundo pavimento. Nelas, os ocupantes não possuem controle algum das condições térmicas internas, e a temperatura do ar é constante (próxima de 24°C), com variação aceitável de  $\pm 2^\circ\text{C}$ . A umidade relativa interna não é controlada, e a saída de ar para ventilação é feita por meio de aberturas modulares (1x1m) localizadas no teto. A edificação não possui nenhuma rede interna de comunicação ou de reclamações onde os funcionários possam opinar a respeito das condições térmicas. No entanto, quando algum funcionário registra uma reclamação relacionada à saída de ar no seu espaço de trabalho, o setor de manutenção oferece a opção de instalar uma lâmina adaptada que redireciona o fluxo de ar para as laterais, redistribuindo-o pelo ambiente ao redor.

A edificação opera com aproximadamente 1.200 pessoas durante o período de ocupação. Apesar de cada setor ser delimitado por divisórias móveis, existem ainda algumas subdivisões internas, delimitadas pelo mobiliário (armários com altura média de 1,50 metros). Em grande parte das salas, o pé-direito é baixo (2,50 metros); no entanto, existem espaços com pé-direito duplo, de aproximadamente 7,00 metros de altura. O sistema de iluminação artificial funciona de forma automatizada, com sensores de luz próximos às janelas que ativam ou desativam as luminárias locais, que são do tipo fluorescentes T5 de 28W. Os ocupantes podem ainda controlar a entrada de luz natural por meio de persianas instaladas em toda a fachada de vidro e janelas. No piso foram instalados carpetes para controlar o ruído interno.

### **3.2.2 Empresa B**

A empresa B está distribuída em três blocos de edificações diferentes, duas térreas e uma com dois pavimentos, construídas nos

anos 90. Para a efetivação das medições, selecionaram-se duas das três edificações que possuíam o maior número de ocupantes, onde o espaço físico e perfil dos usuários fossem semelhantes ao perfil das outras empresas. Assim, a primeira edificação de apenas um pavimento possui alvenaria com tijolo aparente, 1.000m<sup>2</sup> de área edificada com repartições internas grandes, delimitadas por divisórias de madeira com estrutura metálica e fechamento de vidro na parte superior. Nesta edificação, trabalham 62 pessoas que revezam entre o período da manhã e o período da tarde (ex.: alguns funcionários iniciam o expediente às 7h, e finalizam às 13h; outros iniciam ao meio dia e terminam às 18h). Ainda nesta edificação, a localização próxima a um talude faz com que parte das salas apresente iluminação e ventilação naturais prejudicadas. A fachada principal deste edifício está voltada para noroeste, onde se concentram a maioria das salas avaliadas.

A segunda edificação, sede da empresa, possui estrutura de concreto armado e alvenaria com tijolo aparente, dois pavimentos distribuídos em uma planta no formato “H” orientada principalmente para noroeste, com grandes aberturas de vidro e esquadrias de aço. Nesta edificação trabalham 222 pessoas, no período entre 8h e 18h. A planta possui vão livre, e as salas são delimitadas por divisórias de madeira e vidro, que eventualmente são adaptadas para aumentar ou diminuir o espaço das salas (mas não com a mesma frequência relatada na empresa A). A área total edificada é de 4.200m<sup>2</sup>. Em ambas as edificações as aberturas são controladas pelos usuários, junto com a climatização artificial. Algumas salas possuem equipamentos condicionadores de ar de janela, que vêm sendo substituídos progressivamente por equipamentos do tipo *split* (já instalados em grande parte da edificação). O sistema de iluminação artificial não possui separação por circuitos, e o controle da iluminação natural é feito apenas por meio de persianas verticais. As salas da edificação sede possuem piso de madeira, já a edificação menor possui piso cerâmico. Em nenhuma das edificações se verificou a existência de uma rede interna ou sistema de reclamação/sugestões relacionadas ao ambiente térmico.

### **3.2.3 Empresa C**

A empresa C é composta de uma edificação razoavelmente nova (últimas três décadas) de doze andares e subsolo, com estrutura de concreto armado. A fachada e o acesso principal da edificação são voltados para sudoeste, e as laterais da edificação, onde se encontram

grande parte das janelas são orientadas para noroeste e sudeste. As esquadrias são de alumínio anodizado, sem nenhum tipo de proteção solar externa. Os pavimentos possuem formato e divisão interna padrão, com circulação vertical localizada em uma região central. Cada pavimento tipo possui planta retangular de 10mx30m, embora o pavimento térreo e de garagem sejam maiores, o que totaliza cerca de 4.200m<sup>2</sup> de área útil construída. A planta é livre, e as repartições internas delimitadas por divisórias com estrutura metálica e gesso acartonado. As caixas dos condicionadores de ar se localizam em um compartimento externo, protegido por venezianas de alumínio anodizado. Durante algumas horas do dia, estes compartimentos acabam sombreando as aberturas despropositadamente conforme sua orientação e horário do dia.

Cada sala possui em média duas unidades condicionadoras de ar, que variam entre equipamentos de janela e *splits* (a grande maioria ainda é de janela). Os ocupantes podem controlar as aberturas, e eventualmente a temperatura do ar, dependendo do tipo de equipamento instalado. A empresa não possui nenhuma rede interna de comunicação ou de reclamações onde os funcionários opinam a respeito das condições térmicas. Nesta empresa trabalham cerca de 350 funcionários no período entre 13h e 19h. O pé-direito tem altura aproximada de 2,60 metros, e as aberturas possuem persianas para o controle da iluminação natural em algumas salas, e em outras, cortinas de tecido. Em todas as salas, a operação das janelas, cortinas e equipamentos condicionadores de ar é feita manualmente pelos ocupantes. Esta edificação não possui nenhum tipo de certificação de eficiência energética, programas ou medidas voltadas à economia de energia.

### 3.3 VARIÁVEIS AMBIENTAIS, INSTRUMENTAÇÃO E TÉCNICAS DE MEDIÇÃO

#### 3.3.1 Variáveis ambientais internas

A medição das variáveis ambientais internas foi realizada a partir de duas estações microclimáticas SENSU, desenvolvidas pelo Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas da Universidade Federal de Santa Catarina – LMPT/UFSC, além de dois modelos de equipamentos portáteis para medições pontuais de temperatura e velocidade do ar. Dentre as estações microclimáticas, utilizou-se uma unidade do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) e a outra do Laboratório de Conforto Ambiental

(LabCon), ambos da Universidade Federal de Santa Catarina. Já dentre os modelos portáteis, utilizou-se o termoanemômetro digital de fio quente da marca AirFlow, e outro equipamento desenvolvido pelo mesmo fabricante do confortímetro SENSU.

### 3.3.1.1 Confortímetro SENSU

O confortímetro SENSU funciona como uma estação microclimática com um sistema de aquisição de sinais baseado em uma plataforma PC compactada (Figura 19). Nele, é possível registrar variáveis ambientais do microclima interno em intervalos de tempo ajustados pelo pesquisador. Os sensores são fixados em um tripé com altura regulável, e os dados medidos são revelados e armazenados em tempo real no *datalogger*. Os registros são salvos automaticamente no disco rígido em formato “txt”, podendo ser facilmente exportados para planilhas eletrônicas. Por se tratar de um equipamento fabricado pelo Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas (LMPT/UFSC), o confortímetro SENSU é um equipamento que pode ser constantemente atualizado e recalibrado pelos integrantes do laboratório sempre que necessário.

Figura 19. Confortímetro SENSU: componentes e sensores.



Assim, o confortímetro SENSU foi utilizado para medir todos os dados ambientais necessários nas avaliações de conforto térmico: temperatura do ar, velocidade do ar, umidade relativa e temperatura de globo. A temperatura e a velocidade do ar medidas pelo confortímetro foram feitas a partir de um sensor que funciona por meio da diferença de

tensão entre um termopar de fio quente e frio, enquanto a umidade relativa do ar utiliza um sensor do tipo capacitivo, que detecta qualquer tipo de massa e se altera com a penetração da umidade (capacitância aumenta). Os dados registrados neste equipamento foram também utilizados para calcular a temperatura radiante média, e os índices de temperatura operativa e temperatura efetiva padrão corrigida (SET\* - *Standard Effective Temperature Star*), conforme o item 3.5.3.

Para a realização dos experimentos de campo, assumiu-se a precisão e incertezas do fabricante para estes sensores:

1. Temperatura de bulbo seco: 0 a 60 °C; incerteza de  $\pm 0,2$  °C;
2. Umidade relativa do ar: 5 a 96 %; incerteza de  $\pm 3$ %;
3. Velocidade do ar: termoanemômetro, 0 a 3 m/s; incerteza de  $\pm 0,04$  + 3% da velocidade do ar medida;
4. Temperatura de globo: esfera metálica, segundo a norma ISO 7726; incerteza de  $\pm 0,2$  °C.

Previamente à realização dos experimentos, ambas as estações SENSU foram submetidas à calibração pelo fabricante e posteriormente testadas pela pesquisadora. Assim, os equipamentos foram posicionados juntos (lado a lado), em um espaço com condições homogêneas de temperatura e umidade relativa do ar. Durante duas horas, os confortímetros registraram os valores de temperatura do ar, umidade relativa, temperatura de globo e velocidade do ar. Todos os valores medidos foram comparados entre os confortímetros 1 e 2 (LabCon e LabEEE), considerando também os valores de temperatura do ar de referência provenientes de um termômetro de mercúrio de alta precisão. Os sensores de velocidade do ar foram submetidos a testes no túnel de vento, e seus valores aferidos, e os sensores dos termômetros de globo e de temperatura de bulbo seco submetidos a banhos termostáticos para testes. Após a calibração do fabricante, os sensores de umidade relativa do ar foram apenas comparados entre si. Todos os resultados provenientes dos testes e comparação de sensores se encontram no **Apêndice B**.

### 3.3.1.2 Termoanemômetros

A velocidade do ar foi medida a partir de dois equipamentos portáteis de modelos diferentes, mas que funcionam sob o mesmo princípio de medição. Um dos equipamentos foi desenvolvido pelo

laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas da USFC especificamente para os experimentos desta tese, atendendo a todas as características pré-determinadas pela pesquisadora: sensor de velocidade do ar para medições omnidirecionais, além de uma haste fixada ao sensor para medição sem a influência do pesquisador e com altura regulável (Figura 20a). Seu sistema foi desenvolvido em uma caixa de plástico com duas junções, protegidas por um canudo metálico perfurado de forma que a entrada de ar fosse permitida (Figura 20c). A partir deste sistema, é possível também verificar valores pontuais de temperatura do ar, que podem ser acompanhados em tempo real por meio de um *datalogger* conectado ao sistema.

Figura 20. Termoanemômetro portátil de fio quente desenvolvido pelo LMPT. A) Imagem do conjunto do equipamento; B) Detalhe do *datalogger*; C) Detalhe do sensor.



Para a realização dos experimentos de campo, assumiu-se a precisão e incertezas do fabricante para estes sensores, de acordo com:

1. Temperatura do ar: 0 a 60 °C; incerteza de  $\pm 0,2$  °C;
2. Velocidade do Ar: 0 a 3 m/s; incerteza de  $\pm 0,04 + 3\%$  da velocidade do ar medida.

O segundo modelo de termoanemômetro utilizado durante os experimentos de campo foi o AirFlow TA35 (Figura 21), do Laboratório

de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE/UFSC). Este equipamento fornece medições precisas de velocidade do ar em metros por segundo (m/s), ou pés por minuto (f/min), utilizando de um sensor unidirecional, e já é fornecido com um certificado rastreável de calibração de acordo com padrões internacionais.

Figura 21. Termoanemômetro portátil digital AirFlow TA35.



De acordo com o fabricante, a faixa de precisão e incertezas deste equipamento são:

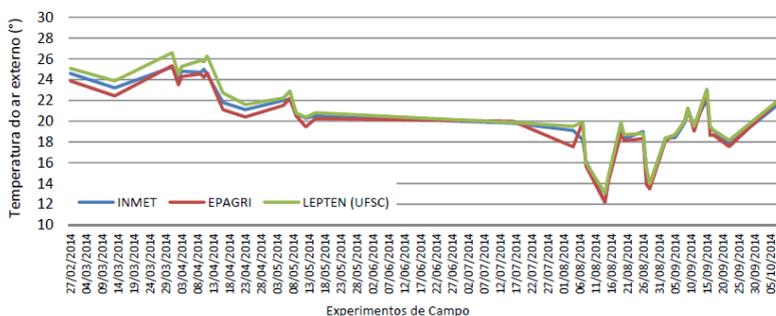
1. Velocidade do ar: 0,25 a 20 (m/s); incerteza de  $\pm 3\%$ ;
2. Temperatura do ar: 0 a 80°C; incerteza de  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

Ambos os termoanemômetros portáteis foram testados, e o modelo fabricado pelo LMPT foi ainda recalibrado por duas vezes, até atender aos parâmetros estipulados pelo termoanemômetro e valores de referência encontrados no túnel de vento. Embora o termoanemômetro AirFlow apresente baixa sensibilidade para valores de velocidade do ar inferiores a 0,20m/s - conforme especificação do fabricante - o equipamento apresentou bons resultados para a faixa de 0 a 0,20m/s durante os testes no túnel de vento. Todos os resultados provenientes dos testes e comparação de sensores se encontram no **Apêndice B**.

### 3.3.2 Temperatura do ar externo

Os dados de temperatura do ar externo foram coletados e analisados com base em três estações meteorológicas localizadas em diferentes áreas da cidade: Instituto Nacional de Meteorologia (estação Florianópolis/São José), Epagri (localizada no bairro Itacorubi) e Laboratório de Engenharia de Processos de Conversão e Tecnologia de Energia (localizado no campus da UFSC - Trindade). Em princípio, seriam utilizados os dados provenientes das estações mais próximas a cada uma das empresas analisadas. No entanto, ao comparar os dados médios diários enviados pelos responsáveis técnicos das três estações, não foram identificadas diferenças significativas na maioria das datas em que os experimentos ocorreram (Figura 22). Portanto, optou-se por utilizar os dados provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia, que foram cedidos sem nenhum horário ou data em branco.

Figura 22. Comparação entre os dados diários de temperatura média do ar externo medido em três estações meteorológicas diferentes nos dias em que os experimentos foram realizados.



### 3.3.3 Técnicas de medição

Durante os experimentos de campo foram utilizadas as duas estações microclimáticas SENSU para aquisição de dados ambientais em tempo real. As medições ocorriam sempre em salas ou espaços de até 60m<sup>2</sup>, com o confortímetro localizado continuamente em uma área desobstruída, longe da passagem de pessoas, e em um ponto próximo à maior concentração de usuários (sempre a uma distância de 1 metro de paredes e janelas). Os dados foram medidos a 60 cm do piso, altura normalmente utilizada para calcular os índices de conforto térmico (ISO 7726, 1998). Em espaços que ultrapassaram a área estabelecida, foram

organizados em planta dois espaços diferentes, utilizando-se as duas estações para medir simultaneamente em cada um destes espaços. Os ocupantes eram localizados espacialmente no ambiente utilizando um número de identificação entregue pelos pesquisadores. Estes números eram registrados pelos participantes no questionário e pelos pesquisadores em um croqui da planta com o layout interno, dimensões e detalhes adicionais dos ambientes (Figura 23). Desta forma, cada ocupante foi relacionado às variáveis ambientais medidas considerando a estação microclimática mais próxima. Além disso, a localização dos ocupantes dentro das salas também permitiu que medições pontuais de velocidade do ar fossem registradas. Assim, os valores medidos eram correlacionados aos pontos internos, e conseqüentemente a cada um dos ocupantes. A velocidade do ar foi medida pontualmente por um período entre 30 segundos e um minuto próximo a cada um dos ocupantes, e ao final utilizou-se um valor médio considerando todos estes registros. Os procedimentos que envolveram a numeração dos participantes permitiu que os índices de conforto térmico descritos no item 3.5 fossem calculados para cada um dos votos dos ocupantes.

Figura 23. Exemplo de croquis com informações adicionais e plantas das salas onde se realizavam os experimentos de campo.



### 3.4 QUESTIONÁRIO ELETRÔNICO E TÉCNICAS DE APLICAÇÃO

O questionário foi elaborado a partir do modelo da ASHRAE 55 (2013), e Apêndice E do ASHRAE *Performance Measurement Protocols – PMP* (2010). A partir da versão inicial, o documento foi adaptado utilizando questões de Dear e Fountain (1994), e outras adicionais com foco nos objetivos do trabalho. Todas as questões de conforto térmico foram ponderadas com base na escala de sete pontos de Likert (LIKERT, 1932), e desta forma, a confiabilidade dos resultados pode ser avaliada estatisticamente.

Basicamente, o questionário utilizado é composto de dois grupos principais: questões de fundo, respondidas apenas uma vez ao longo da participação de cada usuário (A) e questões relativas à percepção térmica, respondidas a cada 20 minutos (B). Anteriormente ao experimento de campo, o questionário foi testado em uma medição piloto. Desta forma, as questões puderam ser refinadas com base na experiência dos participantes e comentários provenientes de uma pesquisa de avaliação do questionário que ocorreu após o piloto (ver **Apêndice C**). Todos os resultados destes procedimentos iniciais se encontram no **Apêndice B**.

#### 3.4.1 Questões do grupo A

As questões do grupo A focam, principalmente, nas características individuais de cada participante, e suas respostas foram posteriormente utilizadas para as análises que envolveram a fisiologia e as preferências com relação aos dispositivos de climatização. As questões deste grupo foram respondidas apenas uma vez por participação e extrapoladas para os demais votos de conforto térmico dos ocupantes. Também neste grupo, as questões são do tipo abertas e de múltiplas escolhas, podendo ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1. Questões do grupo A e as respectivas alternativas de respostas.

Nº	Enunciado	Alternativas oferecidas
1	Dados pessoais (idade, altura e peso).	Questão aberta
	Gênero	- Masculino - Feminino
2	Desconsiderando sua roupa íntima, por favor selecione todos os itens relativos às peças de roupa que você está utilizando neste momento.	Todos os itens relativos à vestimenta da Tabela 5.2.2.2B da ASHRAE 55 (2013)

Nº	Enunciado	Alternativas oferecidas
3	Há quanto tempo você trabalha nesta empresa?	Questão aberta
4	Há quanto tempo você trabalha neste mesmo espaço (mesa/sala)?	Questão aberta
5	Em um dia típico, quantas horas você costuma passar no seu local de trabalho?	Questão aberta
6	Como você descreveria a atividade que você realiza (de forma geral)?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sentado/quieto</li> <li>- Sentado/digitando</li> <li>- Em pé/caminhando</li> <li>- Outra (especifique)</li> </ul>
7	Como você descreveria suas características de humor, condição física e saúde no dia de hoje?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bem humorado</li> <li>- Mal humorado</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cansado</li> <li>- Bem disposto</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estou saudável</li> <li>- Estou gripado/resfriado</li> <li>- Outro (especifique)</li> </ul>
8	Você fuma durante o expediente?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sim</li> <li>- Não</li> </ul>
9	Você pratica atividades físicas?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Todos os dias</li> <li>- 2 a 3 vezes por semana</li> <li>- Não pratico atividade física</li> </ul>
10	Se você pudesse escolher, qual destas estratégias você utilizaria para climatizar o ambiente nos períodos mais quentes:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ventilação natural</li> <li>- Ventilação natural e ventiladores de teto</li> <li>- Ar condicionado</li> </ul>
11	Fora do trabalho, você utiliza equipamentos de ar condicionado?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sim</li> <li>- Não</li> </ul>
12	Se sim, onde?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Em casa, para dormir</li> <li>- Em casa, na sala</li> <li>- No carro</li> </ul>
13	Por quanto tempo (aprox.)?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menos de 4 horas</li> <li>- Entre 4 e 8 horas</li> <li>- Mais de 8 horas</li> </ul>
14	Qual o seu volume de trabalho no dia de hoje?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto</li> <li>- Razoável</li> <li>- Baixo</li> </ul>
15	Se você pudesse tomar atitudes ou implantar outro sistema para melhorar o ambiente térmico no seu espaço de trabalho, quais seriam?	Questão aberta

As respostas dos questionários relativas às questões 2 e 6 foram utilizadas para estimar a vestimenta e o metabolismo dos ocupantes de acordo com as tabelas 5.2.2.2B (vestimenta) e 5.2.1.2 (metabolismo) da ASHRAE 55 (2013). O cálculo do índice “clo” foi realizado a partir do somatório das peças de roupas selecionadas pelos ocupantes, adicionando-se ainda o isolamento referente à cadeira (0,10 clo - cadeira de escritório. ASHRAE 55; 2013). Este valor total da vestimenta foi ainda alterado com base nas respostas da questão 7 do grupo B, que registrava eventuais mudanças nas peças de roupas. Embora a atividade metabólica dos ocupantes tenha sido monitorada pelos pesquisadores, a cada rodada de perguntas de conforto térmico os ocupantes eram solicitados a registrar qualquer ausência do posto de trabalho superior a 5 minutos (questão 8, grupo B); para estes casos, atribuiu-se um valor de taxa metabólica igual 1,4 met (taxa relativa à atividade “arquivando em pé”), enquanto nos demais casos atribuíram-se os valores de 1,0 met para ocupantes envolvidos em atividade de leitura, 1,1 met para ocupantes em atividade de digitação e 1,2 met para ocupantes ativos.

### 3.4.2 Questões do grupo B

Este segundo grupo de questões se relaciona ao ambiente térmico e à percepção dos usuários nos momentos de respostas. Os participantes eram solicitados a responder este bloco de questões a cada 20 minutos, totalizando ao final de sua participação cinco respostas para cada uma das questões apresentadas. As questões deste grupo representam dois tipos diferentes, múltiplas escolhas e condicionais de múltipla escolha, podendo ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2. Questões do grupo B e as respectivas alternativas de respostas e escala considerada.

Nº	Enunciado	Alternativas oferecidas	Esc.
1	Qual a sua sensação térmica neste momento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Com muito frio</li> <li>- Com frio</li> <li>- Levemente com frio</li> <li>- Neutro</li> <li>- Levemente com calor</li> <li>- Com calor</li> <li>- Com muito calor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+3</li> <li>+2</li> <li>+1</li> <li>0</li> <li>-1</li> <li>-2</li> <li>-3</li> </ul>

Nº	Enunciado	Alternativas oferecidas	Esc.
2	Você preferiria estar:	- Mais aquecido - Assim mesmo - Mais refrigerado	-1 0 +1
3	Para você, este ambiente térmico é:	- Aceitável - Inaceitável	0 1
4	Neste momento, você considera este ambiente:	- Confortável - Desconfortável	0 1
	Se desconfortável, são ainda oferecidas as seguintes opções adicionais:	- Minhas mãos estão geladas; - Meus pés estão gelados; - Outro (especifique).	-
5	Com relação à velocidade do ar neste momento, você a considera:	- Aceitável - Inaceitável	0 1
	Se aceitável, são oferecidas as opções adicionais:	- Velocidade do ar é baixa; - Velocidade do ar é suficiente; - Velocidade do ar é alta	2 3 4
	Se inaceitável:	- Velocidade do ar é muito baixa - Velocidade do ar é muito alta	5 6
6	Com relação à sua resposta anterior, qual a sua preferência pelo movimento do ar neste momento?	- Mais movimento de ar - Não mudar - Menos movimento de ar	-1 0 +1
7	Desde a última vez que você respondeu ao questionário, houve alguma mudança na sua vestimenta?	- Sim - Não	-
	Se sim, qual?	Questão aberta	-
8	Entre uma resposta e outra, você se levantou e deixou sua estação de trabalho por um período superior a 5 minutos?	- Sim - Não	-

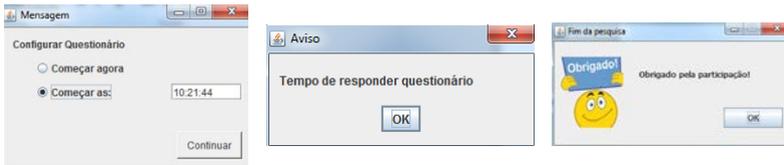
Nº	Enunciado	Alternativas oferecidas	Esc.
9	Desde sua última resposta até agora, você ingeriu alguma bebida quente ou fria?	- Sim - Não	-
	Se sim, qual?	Questão aberta	-

### 3.4.3 Software e as técnicas de aplicação

Após a elaboração de todas as questões necessárias à pesquisa, o questionário foi transformado em um *software* na plataforma Java, o que facilitou sua aplicação, controle das respostas (data e horário exatos) e tabulação final dos dados levantados no servidor interno da UFSC. O programa foi desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da UFSC, e todas as telas e questões estão disponibilizadas no **Apêndice D**.

Antes do início das medições, os funcionários da empresa eram notificados e solicitados a participarem do experimento via e-mail, enviados sempre pelo responsável de cada setor da empresa participante (ver **Apêndice E**). Junto ao e-mail, os funcionários recebiam também uma carta explicativa com uma breve introdução e escopo da pesquisa, além de um arquivo contendo o questionário, algumas instruções básicas de preenchimento, incentivos e agradecimento à participação (ver **Apêndice F**). Ao executar o *software*, os usuários encontravam uma janela inicial que permitia programar o início da execução do questionário (Figura 24a), que continuava rodando automaticamente na máquina até o final do experimento. Após o preenchimento das telas iniciais 1 e 2 (características individuais e questões do grupo A), uma mensagem automática aparecia a cada 20 minutos, informando que o questionário deveria ser respondido (Figura 24b). Ao final das cinco rodadas de perguntas de conforto térmico, o ocupante era convidado a dar sua sugestão final a respeito do ambiente e como melhorá-lo; em seguida, uma mensagem de agradecimento concluía a participação, e o *software* se encerrava automaticamente (Figura 24c). As sugestões a respeito do ambiente e as opções dadas pelos ocupantes para melhorá-los foram utilizadas apenas para compor o relatório final com os resultados encontrados, e entregue aos responsáveis em cada uma das empresas.

Figura 24. Telas de avisos durante as etapas de participação do questionário. A) programação inicial; B) notificação de tempo e C) tela final de agradecimento.



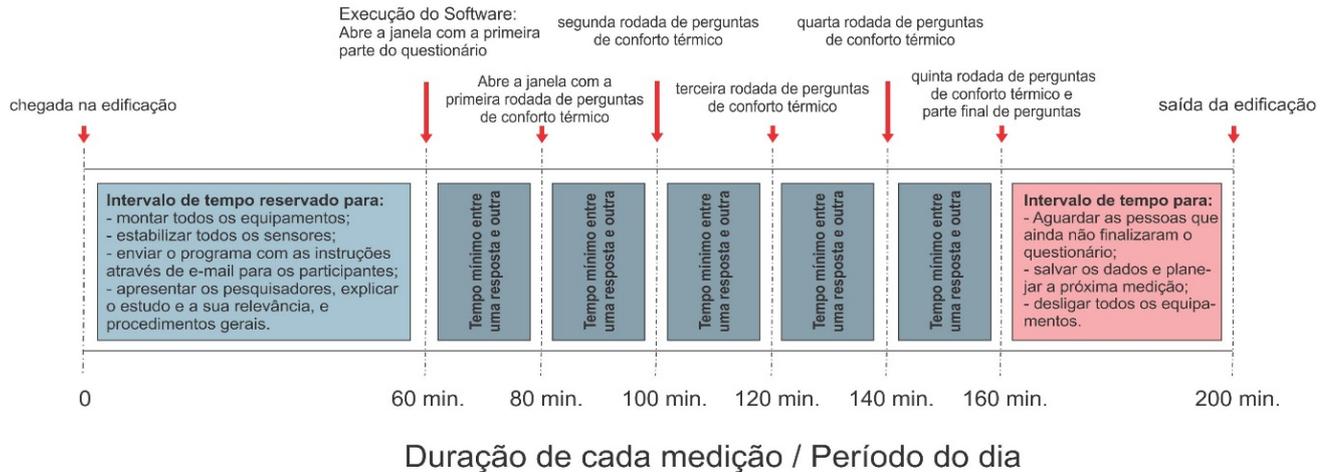
a)

b)

c)

Durante o funcionamento do questionário, os ocupantes eram solicitados a avaliar sua percepção de conforto térmico nas estações de trabalho em cinco momentos diferentes, com intervalos mínimos de 20 minutos entre uma rodada e outra, resultando em medições de aproximadamente 1h40min cada. Previamente à primeira rodada de questões de conforto térmico, foram considerados por volta de 30 minutos iniciais, utilizados para estabilizar os sensores, estabilizar a taxa metabólica dos ocupantes, e preenchimento das questões iniciais. Ao mesmo tempo em que os ocupantes respondiam aos questionários, os pesquisadores documentavam as observações sistemáticas acerca do ambiente, além do funcionamento geral e comportamento dos usuários. Durante o preenchimento do questionário, as atividades dos ocupantes não eram interrompidas pelos pesquisadores, e era sempre enfatizado aos funcionários que os mesmos poderiam modificar sua vestimenta a qualquer momento em ambos os tipos de edificações; ainda, modificar o ambiente por meio da operação de janelas e o acionamento do ar-condicionado nas edificações com condicionamento misto. Demais informações a respeito dos procedimentos durante a aplicação dos questionários podem ser observadas na Figura 25.

Figura 25. Execução do questionário e demais procedimentos durante a realização dos experimentos de campo.



### 3.5 ANÁLISE DOS DADOS LEVANTADOS

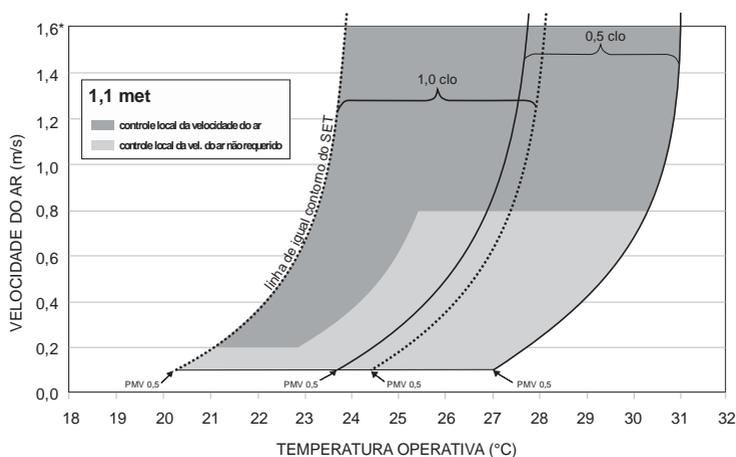
Ao final do experimento os dados foram codificados e organizados em uma planilha eletrônica, onde as colunas se referiram às variáveis medidas (ambientais e subjetivas), e as linhas a cada um dos votos dos ocupantes. Para resumir e caracterizar o total de dados coletados utilizou-se alguns dos procedimentos da estatística descritiva, apresentando a distribuição de valores de acordo com a frequência de ocorrência e a variabilidade (máximo, mínimo, média e desvio padrão). Os votos dos ocupantes foram analisados a partir do cruzamento de informações, e distribuídos com base nos intervalos de Temperatura Efetiva Padrão corrigida (SET\*), agrupando-os em barras que representam intervalos de 1°C em 1°C (por exemplo, os dados correspondentes a um SET\* de 24,6°C foram agrupados na barra de 25°C; 24,4°C na barra de 24°C, e assim por diante); tais resultados foram apresentados na forma de gráficos e tabelas. Os votos de sensação térmica, representados pela escala sétima conforme apresentado na Tabela 2, foram agrupados em: desconforto por frio (-3 e -2), desconforto por calor (+2 e +3) e conforto térmico (-1, 0 e +1). Este agrupamento se baseia no fundamento de P.O. Fanger (1970), que determina que “*as pessoas insatisfeitas são aquelas que votam -2 (frio), -3 (muito frio), +2 (calor) e +3 (muito calor)*”. (FANGER, 1970, p.130). Assim, este trabalho considerou os conceitos de “insatisfação térmica” e “desconforto térmico” como equivalentes.

As análises seguiram uma sequência padronizada de apresentação: análises de conforto, sensação, preferência e aceitabilidade térmica, análises de aceitabilidade e preferência pela velocidade do ar, e de influência da memória térmica nos itens 4.2, 4.3 e 4.4 do capítulo de resultados. Os gráficos de comportamento médio dos votos de sensação térmica e modelos de probabilidade (*probit*) foram construídos com o auxílio do software da IBM SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences - SPSS Inc.*, Chicago, IL, USA; Versão 22.0) durante o período de sanduíche na University of Sydney. Nas análises de sensação térmica, os votos entre o intervalo de  $\pm 1$  foram classificados em “confortáveis”, e os votos a partir de  $\pm 2$ , até  $\pm 3$  classificados como “desconfortáveis”.

No último item dos resultados foram aplicados os métodos de avaliação de conforto térmico indicados pela ASHRAE 55 (2013). Dentre os três métodos apresentados pela norma (*General Method for Determining Acceptable Thermal Conditions in Occupied Spaces*),

foram testados apenas dois, o método analítico (ver limites de aplicação na Tabela 3) e o método gráfico para ambientes com maior velocidade do ar (Figura 26), já considerando a última versão do gráfico publicado na adenda “d”<sup>2</sup> no site da organização. O método gráfico indicado pela norma para valores mais baixos de velocidade do ar (seção 5.3.1) não foi avaliado devido à dificuldade no ajuste de um grande volume de dados coletados na figura sugerida sem a ajuda de uma ferramenta de apoio.

Figura 26. Intervalo de temperatura operativa e SET\* aceitáveis de acordo com a velocidade do ar do método gráfico para altas velocidades do ar.



\*não existe limite máximo para a velocidade do ar quando os ocupantes têm o controle do ambiente

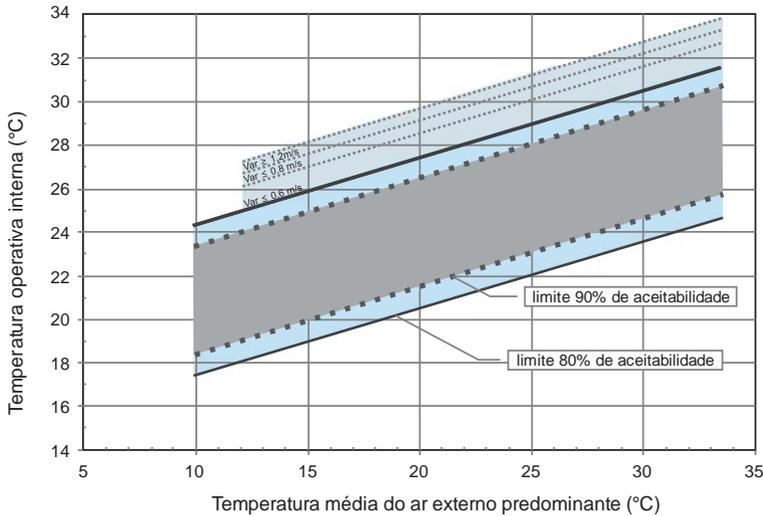
Fonte: Adaptado da adenda “d” da ASHRAE 55 (2013).

Além destes dois já citados, testou-se também o método gráfico proveniente do modelo adaptativo (*Determining Acceptable Conditions in Occupant-Controlled Naturally Conditioned Spaces*). Considerando-se os dois primeiros métodos citados, ambos são tradicionalmente indicados para ambientes condicionados artificialmente, enquanto este último é exclusivo para ambientes sem nenhum tipo de condicionamento mecânico instalado no ambiente, suportando ajustes no limite superior de acordo com a velocidade do ar do ambiente como mostra a Figura 27. A Figura 26 apresenta as restrições e a aplicabilidade de cada um dos métodos testados. Para testar todos os métodos e avaliar a aplicabilidade

<sup>2</sup> <https://www.ashrae.org/standards-research--technology/standards-addenda>.

dos limites estipulados, este trabalho seguiu com todas as análises de adequabilidade considerando todos os dados levantados, descartando os limites apresentados.

Figura 27. Intervalo de temperaturas operativas aceitáveis para espaços naturalmente ventilados.



Fonte: Adaptado de ASHRAE 55 (2013).

Tabela 3. Aplicabilidade dos métodos de avaliação de conforto térmico.

Método	Velocidade do ar (m/s)	Taxa de umidade	Metabolismo (met)	Vestimenta (clo)
Analítico	< 0,20	sem limite	1,0 – 2,0	0 – 1,5
Gráfico com alta velocidade do ar	> 0,20	sem limite	1,0 – 2,0	0 – 1,5
Edificações ventiladas naturalmente	sem limite	sem limite	1,0 – 1,3	0,5 – 1,0

Fonte: Adaptado de ASHRAE 55 (2013).

### 3.5.1 Temperatura radiante média

Para calcular a temperatura operativa, é necessário antes determinar a temperatura radiante média, que representa um valor uniforme de um ambiente imaginário onde toda a troca de calor por

radiação é igual à de um ambiente não uniforme. Considerando que os dados deste trabalho são provenientes de ambientes ventilados naturalmente (maior velocidade do ar), e condicionados artificialmente (menor velocidade do ar), o cálculo levou em consideração os coeficientes de convecção natural e forçada, determinados a partir das equações 10 e 11. Com base no maior valor encontrado por estes coeficientes, determinou-se a equação adequada para o cálculo da temperatura radiante média. Assim, a equação 12 foi utilizada quando o maior coeficiente de troca de calor foi o de convecção natural; e a equação 13 quando o maior coeficiente de troca de calor foi o de convecção forçada. As equações abaixo apresentadas podem ser encontradas no anexo B da ISO 7726 (1998).

Convecção natural:

$$h_{cg} = 1,4 \cdot \sqrt[4]{\frac{\Delta T}{D}} \quad \text{Equação 10}$$

Convecção forçada:

$$h_{cg} = 6,3 \frac{V^{0,6}}{D^{0,4}} \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

$h_{cg}$  é o coeficiente de troca de calor por convecção do globo;

$\Delta T$  é a diferença de temperatura ( $t_g - t_a$ ) em °C;

$D$  é o diâmetro do globo (15 cm);

$V$  é a velocidade do ar em m/s.

Assim, no caso de convecção natural, utilizou-se a equação:

$$t_{rm} = \left| (t_g - 273)^4 + (0,4 \cdot 10^8) \cdot |t_g - t_a|^{1/4} \cdot (t_g - t_a) \right|^{1/4} - 273 \quad \text{Equação 12}$$

No caso de convecção forçada, utilizou-se a equação:

$$t_{rm} = \left| (t_g - 273)^4 + (2,5 \cdot 10^8 \cdot V^{0,6}) \cdot (t_g - t_a) \right|^{1/4} - 273 \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

- $t_{rm}$  é a temperatura radiante média em °C;  
 $t_g$  é a temperatura do termômetro de globo em °C;  
 $t_a$  é a temperatura do ar em °C;  
 $V$  é a velocidade do ar em m/s.

### 3.5.2 Temperatura operativa

O índice de temperatura operativa foi utilizado nas análises de aplicação dos métodos da ASHRAE 55 (2013), por se tratar de um padrão em todos os métodos ali encontrados. Assim, a temperatura operativa é definida como um valor de temperatura uniforme em um ambiente radiante negro hipotético, onde um ocupante troca a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que em um ambiente real, calculada a partir da Equação 14.

$$t_o = At_a + (1 - A)\bar{t}_r \quad \text{Equação 14}$$

Onde:

- $t_o$  é a temperatura operativa em °C;  
 $t_a$  é a temperatura do ar em °C;  
 $t_r$  é a temperatura radiante média em °C;

O valor de “A” varia em função da velocidade interna do ar, e deve ser substituído de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4. Variação do coeficiente A em função da velocidade do ar para o cálculo da temperatura operativa.

Vel. do Ar (m/s)	< 0,20	0,2 a 0,60	0,6 a 1,0
A	0,5	0,6	0,7

Como os valores de velocidade do ar encontrados neste experimento não ultrapassaram o limite máximo de 0,3 m/s, a temperatura operativa foi calculada utilizando um valor médio entre a temperatura do ar e a temperatura radiante média, conforme a equação 15.

$$T_o = \frac{t_a + t_{rm}}{2}$$

Equação 15

Onde:

$t_o$  é a temperatura operativa em °C;

$t_a$  é a temperatura de bulbo seco em °C;

$t_{rm}$  é a temperatura radiante média °C.

### 3.5.3 Temperatura efetiva padrão corrigida

O índice de temperatura efetiva padrão corrigido (SET\*) foi utilizado em todas as análises apresentadas no capítulo de resultados, sendo esta uma ponderação completa, que considera as trocas de calor radiante e latente entre o meio, a pele e o núcleo do corpo, acontecendo de minuto em minuto (GAGGE et al., 1986). Segundo os autores, o índice representa um valor de temperatura em um ambiente uniforme imaginário, onde a taxa de umidade relativa é de 50%, a velocidade do ar inferior a 0,10m/s, a temperatura radiante média igual à temperatura do ar. Também se assumiu que, nestas condições, um ocupante imaginário perde a mesma quantidade de calor que em um ambiente real ao desenvolver uma atividade que corresponde a 1,0 met e vestimenta de 0,6 clo.

O índice SET\* é ainda pouco utilizado nas pesquisas científicas da área de conforto térmico por se tratar de um valor determinado de forma complexa, que necessita do auxílio de um *software* para calculá-lo. Desta forma, utilizou-se o ASHRAE Comfort Tools, também conhecido como WinComf<sup>®</sup>, na versão de 1994. Este *software* foi desenvolvido por Fountain e Huizenga (1996), e disponibilizado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações.

### 3.5.4 Cálculo do PMV e PPD

O PMV e PPD foram calculados a partir de uma planilha eletrônica desenvolvida pelo *Indoor Environmental Quality Laboratory* (IEQ Lab) da *University of Sydney*, criada com base no algoritmo e nas equações de troca de calor apresentadas pelo anexo normativo D da ISO 7730 (2005). Os valores de saída foram validados por meio da tabela D.1 do mesmo anexo, e os resultados encontrados podem ser observados na Tabela 5. Os valores de PMV\* e PPD\* se equivalem aos valores encontrados a partir do cálculo da planilha, e os valores de PMV e PPD se equivalem aos valores de base encontrados na norma.

Tabela 5. Valores para a validação do PMV e PPD e os resultados encontrados (PMV\* e PPD\*, respectivamente).

Entrada	T <sub>ar</sub> (°C)	UR (%)	TRM (°C)	V <sub>ar</sub> (m/s)	MET	CLO	PMV	PPD	PMV*	PPD*
1	22,0	60	22,0	0,10	1,2	0,5	-0,75	17	-0,75	17
2	27,0	60	27,0	0,10	1,2	0,5	0,77	17	0,77	18
3	27,0	60	27,0	0,30	1,2	0,5	0,44	9	0,45	9
4	23,5	60	25,5	0,10	1,2	0,5	-0,01	5	-0,01	5
5	23,5	60	25,5	0,30	1,2	0,5	-0,55	11	-0,54	11
6	19,0	40	19,0	0,10	1,2	1,0	-0,60	13	-0,59	12
7	23,5	40	23,5	0,10	1,2	1,0	0,50	10	0,37	8
8	23,5	40	23,5	0,30	1,2	1,0	0,12	5	0,14	5
9	23,0	40	21,0	0,10	1,2	1,0	0,05	5	0,06	5
10	23,0	40	21,0	0,30	1,2	1,0	-0,16	6	-0,15	5
11	22,0	60	22,0	0,10	1,6	0,5	0,05	5	0,05	5
12	27,0	60	27,0	0,10	1,6	0,5	1,17	34	1,18	34
13	27,0	60	27,0	0,30	1,6	0,5	0,95	24	0,96	25

Embora o valor correspondente à linha sete tenha apresentado leve diferença relacionada ao valor de referência (PMV 0,50 vs. PMV\* 0,37), os mesmos dados de entrada foram também inseridos e testados em outras calculadoras, que apontaram valor próximo a 0,37. Aparentemente, tal equívoco pode ser resultado de uma falha no valor de referência apresentado pela tabela D.1 da ISO 7730 (2005).

### 3.5.5 Temperatura média predominante do ar externo

A temperatura média predominante do ar externo é um valor calculado de temperatura média do ar externo que pondera os valores médios diários dos últimos dias em relação ao dia de análise, sendo utilizada principalmente nas avaliações de conforto térmico baseadas no modelo adaptativo. A ASHRAE 55 (2013) apresenta três métodos diferentes para calcular este valor, que pode considerar desde os 30 últimos dias anteriores ao dia de análise ou os sete últimos dias, além de apresentar equacionamentos e coeficientes de ponderação diferentes ( $\alpha$  entre 0,6 e 0,9). Entretanto, este trabalho adotou apenas o método de ponderação dos sete últimos dias, com coeficiente  $\alpha$  de 0,6 em virtude do clima de Florianópolis, que sofre influência da amplitude térmica

diária e mudanças acentuadas de temperatura observadas durante os períodos de meia-estação. Assim, a equação utilizada para o cálculo da temperatura média predominante do ar externo ( $T_{mpa(ext)}$ , Equação 16) é a mesma defendida por De Dear (2011b), e a mesma a ser adotada pela futura versão da norma brasileira NBR 16401/2, conforme pode ser observado em Lamberts et al. (2013). Nesta equação, o maior peso é conferido ao último dos sete dias de análise:

$$T_{mpa(ext)} = 0,34T_{od-1} + 0,23T_{od-2} + 0,16T_{od-3} + 0,11T_{od-4} + 0,08T_{od-5} + 0,05T_{od-6} + 0,03T_{od-7}$$

Equação 16

Onde:

$T_{mpa(ext)}$  é a temperatura média predominante do ar externo em °C;

$T_{od-1}$  é a temperatura média do dia anterior de análise em °C;

$T_{od-2}$  é a temperatura média do dia anterior ao  $T_{od-1}$  em °C, e assim por diante.

### 3.5.6 Índice de Massa Corporal

As análises que levaram em conta o peso dos ocupantes foram efetuadas a partir do Índice de Massa Corporal (IMC), também conhecido como Índice Quetelet, desenvolvido em 1832 (EKNOYAN, 2008). O índice é determinado a partir da razão entre a massa (em kg) do ocupante e o quadrado da altura (em m), conforme a Equação 17 adiante. Embora existam métodos mais complexos e precisos para determinação e avaliação da composição corporal, poucos são aplicáveis a grupos maiores de indivíduos, e isto ocorre principalmente devido aos altos custos relacionados à execução e levantamento de dados (CERVI; FRANCESCHINI; PRIORE, 2005). No entanto, o índice é um dos métodos mais simples encontrados, e promove facilmente estimativas comparáveis e interpretáveis de peso corporal com base na estatura, resultando em estimativas de gordura e composição corporal aceitáveis para o tipo de análise proposta por este trabalho.

$$IMC = \frac{massa}{altura^2}$$

Equação 17

Onde:

*IMC* é o índice de massa corporal;

*Massa* é o peso em quilogramas;

*Altura* do ocupante em metros.

A partir do valor encontrado por meio da equação do IMC, os ocupantes de ambos os gêneros foram classificados de acordo com as classes apresentadas na Tabela 6, adaptada a partir do padrão observado no site da Organização Mundial da Saúde (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2015).

Tabela 6. Classificação Internacional de adultos abaixo do peso, normal, acima do peso e obesos de acordo com o IMC.

Classificação	IMC
Abaixo do peso	< 18,50
Limite normal	18,50 – 24,99
Acima do peso	25,00 – 29,99
Obeso	> 30,00

### 3.6 AMOSTRA DE DADOS COMPLEMENTAR

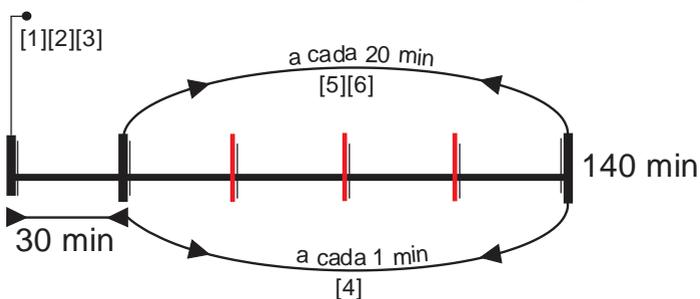
As análises focadas na influência de características antropométricas associadas ao conforto térmico (item 4.4 do capítulo de resultados) valeram-se de um novo conjunto de dados, que agrupou aqueles levantados durante a realização desta tese com outro banco de dados já existente, coletados em salas de aula do bloco de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina em Florianópolis/SC, no ano de 2009. Tal procedimento teve como principal objetivo a expansão da amostra de dados e diversificação do perfil dos entrevistados (características de idade, peso e índice de massa corporal), além de possibilitar resultados mais significantes estatisticamente. A amostra de dados complementar foi levantada a partir de 25 experimentos de campo que resultaram em 2.292 votos, utilizando-se a mesma instrumentação empregada no método desta tese: o confortímetro SENSU e o termoanemômetro portátil de fio quente, ambos fabricados pelo LMPT/UFSC.

Os experimentos ocorreram em duas salas de aula diferentes. A primeira com área útil de 63m<sup>2</sup>, envolta por paredes e forro de madeira e com janelas em fita do tipo “guilhotina”, posicionadas em toda a parede

oeste. A sala possui quatro ventiladores de teto, e dentre eles um estava fora de operação durante os experimentos e foi inutilizado. A segunda sala com área útil de 57m<sup>2</sup>, envolta por paredes e forro de alvenaria, com janelas do tipo máximo ar e que estão posicionadas na parede sudoeste. A sala possui 1 ventilador de teto sem regulagem de velocidade, com acionamento direto no interruptor de luz, e 1 aparelho de ar condicionado do tipo Split.

O questionário, aplicado 30 minutos após o início das aulas para minimizar a influência de atividades metabólicas anteriores, possuía as mesmas questões de conforto térmico, aceitabilidade térmica e da velocidade do ar que o questionário aplicado nesta tese, inclusive os aspectos relativos à exposição prévia de usuários em ambientes com o uso de aparelhos de ar condicionado, vestimentas e dados antropométricos. Ao mesmo tempo em que os estudantes respondiam ao questionário de conforto térmico em papel, controlado pela pesquisadora, as variáveis ambientais (temperatura, velocidade e umidade relativa do ar, e a temperatura de globo) foram medidas a partir do posicionamento da estação microclimática em uma região central da sala a 60 cm do chão. A velocidade do ar foi medida pontualmente próxima às carteiras e na altura da cabeça dos estudantes, e o protocolo geral de medição utilizado pode ser observado na Figura 28. Maiores informações e detalhes adicionais a respeito deste banco de dados podem ser consultados em De Vecchi (2011).

Figura 28. Protocolo de medição adotado na realização dos experimentos.



[1] Procedimentos preliminares; [2] Acionamento da estação microclimática; [3] Distribuição dos questionários ambientais; [4] Medição contínua das variáveis ambientais; [5] Avaliação térmica e da velocidade do ar (questionários); [6] Observação contínua do comportamento dos ocupantes.

Fonte: De Vecchi (2011).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO E APRESENTAÇÃO DOS DADOS

Os resultados desta tese foram analisados principalmente com base nos dados de experimentos efetuados em 2014, provenientes de 87 medições de campo que abrangeram as quatro estações do ano (3% no verão, 33% no outono, 50% no inverno e 14% na primavera). A pesquisa envolveu 617 usuários, que participaram respondendo ao questionário de conforto térmico anexo a este documento (ver **Apêndice D**) entre quatro e cinco vezes, o que totalizou 2.831 votos. Destes, descartaram-se 64 votos que apresentaram inconsistência entre as respostas de conforto x sensação x preferência x aceitabilidade, e 79 votos de usuários que se declararam gripados ou febris. Assim, dentre os 2.688 votos válidos, 1.274 são provenientes da edificação com sistema central de condicionamento ambiental (ESC - 46,3% dos votos), enquanto o restante dos votos (1.414) é proveniente de duas edificações que operam com sistema misto de condicionamento ambiental (ESMs - 53,7%), que alternam entre a ventilação natural e o uso do ar-condicionado.

#### 4.1.1 Variáveis ambientais e índices de conforto térmico

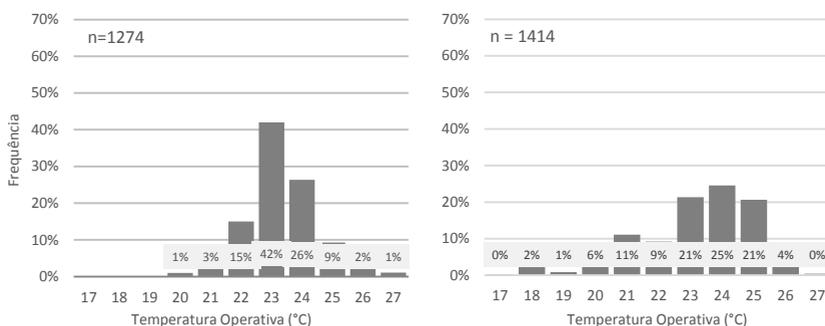
Diversos parâmetros ambientais participam das análises de conforto térmico em ambientes internos, influenciando diretamente na sua determinação. Durante o período de estudo, foram medidas todas as variáveis relativas ao microclima interno (temperatura interna do ar -  $T_{ar}$ , umidade relativa do ar - UR, velocidade do ar -  $V_{ar}$ , e temperatura de globo -  $T_g$ ), e determinados a partir de cálculo os valores de temperatura radiante média ( $T_{rm}$ ), temperatura operativa ( $T_{op}$ ), índice de temperatura efetiva padrão corrigido (SET\*) e temperatura média do ar externo predominante ( $T_{mpa(ext)}$ ). A Tabela 7 sumariza as variáveis ambientais medidas e os índices de conforto térmico calculados nas edificações investigadas, destacando-se o valor mínimo e máximo da temperatura interna do ar medida durante os experimentos (17°C e 28°C, respectivamente), e a temperatura média predominante do ar externo, que não ultrapassou a casa dos 26°C.

Tabela 7. Variabilidade das condições ambientais internas medidas e índices de conforto térmico calculados das edificações investigadas.

	$T_{ar}$ (°C)	UR (%)	$V_{ar}$ (m/s)	$T_{rm}$ (°C)	$T_{op}$ (°C)	SET* (°C)	$T_{mpa(ext)}$ (°C)
<b>Mínima</b>	17,1	23	0,00	16,3	16,9	17,2	16,1
<b>Máxima</b>	28,0	82	0,47	26,8	26,9	30,6	26,4
<b>Média</b>	23,1	61	0,10	23,0	23,0	23,5	20,9
<b>Desvio Padrão</b>	± 1,4	± 9	± 0,10	± 1,4	± 1,4	± 1,5	± 2,7

Os valores de temperatura operativa e umidade relativa do ar em ambos os tipos de edificações analisadas foram distribuídos de acordo com a frequência e intervalo de valores medidos (Figura 29). Observa-se menor variabilidade de valores de temperatura operativa e umidade relativa do ar na edificação com sistema central de condicionamento ambiental (ESC), onde a temperatura operativa, controlada pelo sistema de condicionamento central, oscilou predominantemente entre 22°C e 24°C (Figura 29a), enquanto a umidade relativa do ar variou de 40 a 70%, com baixa concentração de valores próximos a 80% (Figura 30a).

Figura 29. Variação da temperatura operativa e frequência de valores observados na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b).



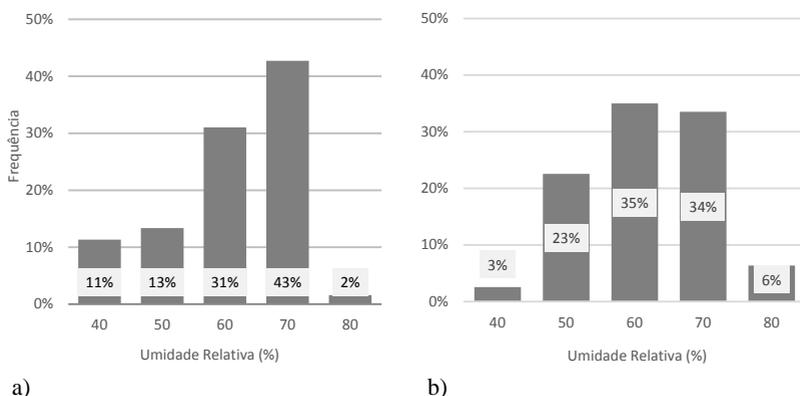
a)

b)

A variação dos valores de umidade relativa do ar medidos neste tipo de edificação ocorreu de acordo com a temperatura do sistema de condicionamento de ar e concentração de ocupantes no ambiente (Figura

30a). Nas edificações com sistemas mistos de condicionamento ambiental (ESMs), observou-se maior variação nos valores de temperatura operativa média, com uma maior concentração de valores entre o intervalo de 23°C a 25°C, enquanto a umidade relativa chegou a atingir 80% em alguns momentos (Figura 30b). A temperatura operativa média na ESC é levemente inferior à média das ESMs - 22,9°C e 23,1°C, respectivamente. A umidade relativa do ar apresentou médias semelhantes – 61% e 62%, respectivamente.

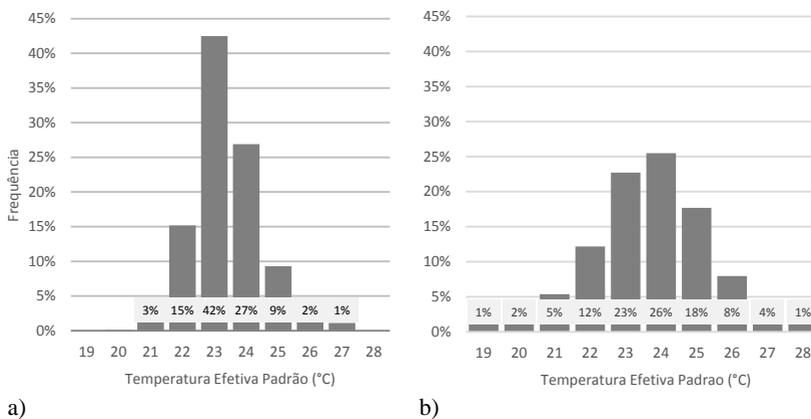
Figura 30. Variação da umidade relativa do ar e frequência de valores observados na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b).



A constatação de valores altos de umidade relativa do ar direcionou a pesquisa à utilização do índice de temperatura efetiva padrão corrigido (*Standard Effective Temperature Star – SET\**), derivado do modelo de dois nós de Gagge et al. (1972), onde as trocas de calor radiante e latente entre o meio, a pele e o núcleo do corpo acontecem minuto a minuto. Analisando a Figura 31, observou-se que o índice de temperatura efetiva padrão corrigido apresentou um intervalo maior de temperaturas quando comparado ao intervalo de temperatura operativa interna observado na Figura 29. Tais diferenças ocorrem pelo *SET\** ser considerado um índice completo, que além de ponderar o metabolismo e a vestimenta, inclui a umidade e a velocidade do ar como parâmetros de entrada, e neste caso fez com que a média da temperatura interna nas edificações com sistema central e mistos se deslocassem para 23,3°C e 23,7°C, respectivamente. Dentre a pequena amostra de dados na ESC, onde o *SET\** atingiu valores altos (26°C – 27°C), a temperatura

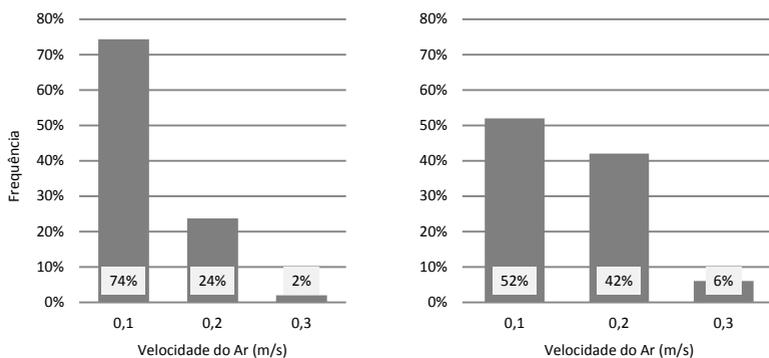
operativa oscilou entre 22°C e 24,5°C, e a umidade relativa e clo médio foram de 62% e 1,0, respectivamente.

Figura 31. Histograma dos valores de temperatura efetiva padrão (SET\*) observados na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b).



A velocidade do ar medida em ambas as edificações não ultrapassou o valor de 0,30 m/s, número pouco acima do que se classifica como “perceptível” – 0,20m/s (Figura 32). Na edificação com sistema central (ESC), observou-se uma frequência maior de valores próximos a 0,10 m/s (média de 0,13 m/s), enquanto nas edificações com sistemas mistos observou-se frequência maior de valores nos agrupamentos de 0,10 m/s e 0,20 m/s (média de 0,16 m/s). Embora a maioria dos experimentos nas edificações com sistemas mistos tenha sido realizada sem a operação do condicionamento artificial, e com as janelas abertas, a não existência de ventilação cruzada efetiva na maioria das salas observadas manteve a média da velocidade do ar quase tão baixa quanto os valores observados na edificação com sistema central. Observou-se ainda que, em algumas salas onde a ventilação natural era mais efetiva, muitas vezes a janela era fechada pelos ocupantes para que os papéis sob a mesa não voassem ou as persianas se movimentassem. A velocidade do ar só pareceu bem-vinda durante os dias mais quentes fora do período de verão e em algumas salas onde o ar condicionado possuía algum defeito.

Figura 32. Frequência dos valores de velocidade do ar medidos na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b).



a)

b)

#### 4.1.2 Caracterização dos ocupantes

A Tabela 8 apresenta a descrição das características físicas, de vestimenta e metabolismo dos ocupantes que participaram do experimento. Dentre os 2.688 votos considerados válidos, 1.198 são do sexo feminino (44,6%) e 1.490 do sexo masculino (55,4%). A idade mínima dos ocupantes registrada foi de 17 anos e a máxima de 68 anos; a altura dos participantes oscilou entre 1,50m e 1,97m, enquanto o peso entre 42 e 130 kg. A vestimenta variou entre 0,31 e 1,49 clo, e o maior intervalo de valores foi observado nas edificações com sistemas mistos, embora os experimentos tenham sido realizados em períodos com datas próximas.

Tabela 8. Descrição estatística das características individuais dos ocupantes envolvidos no experimento de campo.

Tipo Edif.	Idade (anos)		Altura (m)		Peso (kg)		Vestimenta (clo)		Metabolismo (met)	
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>b</sup>	1 <sup>a</sup>	2 <sup>b</sup>	1 <sup>a</sup>	2 <sup>b</sup>	1 <sup>a</sup>	2 <sup>b</sup>	1 <sup>a</sup>	2 <sup>b</sup>
Mín.	17	18	1,50	1,50	42	43	0,44	0,31	1,0	1,0
Máx.	65	68	1,97	1,92	108	130	1,33	1,49	1,4	1,4
Média	39	40	1,72	1,70	75	73	0,67	0,73	1,0	1,0
D. P.	± 11	± 11	± 0,10	± 0,10	± 14	± 15	± 0,2	± 0,2	± 0,1	± 0,1

ESC: Edificações condicionadas artificialmente a partir de um sistema central.  
ESMs: Edificações com sistema misto de condicionamento ambiental.

A maior frequência de valores de clo ocorreu entre as faixas de 0,6 e 0,7 clo (Figura 33), tanto para ocupantes do sexo masculino quanto para ocupantes do sexo feminino. No entanto, é interessante observar que o clo feminino possui maior distribuição de valores no intervalo horizontal quando comparada à distribuição do clo masculino, concentrado no intervalo próximo a 0,6 clo. Cruzando os dados de vestimenta com as estações do ano, observa-se uma clara relação de dependência entre ambas as variáveis, o que permite afirmar que a quantidade de roupa que os ocupantes utilizam está diretamente relacionada à estação do ano (Figura 34).

Figura 33. Distribuição da vestimenta (clo) entre ocupantes do gênero masculino e feminino.

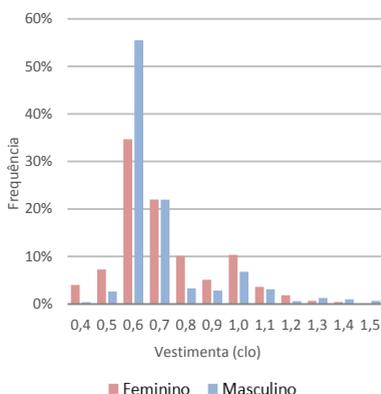
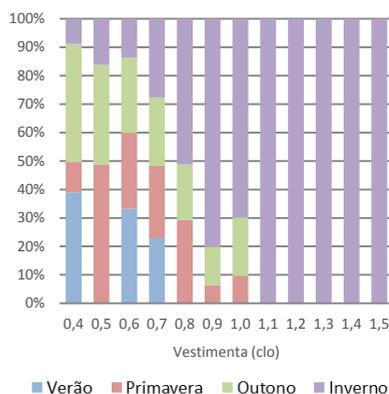


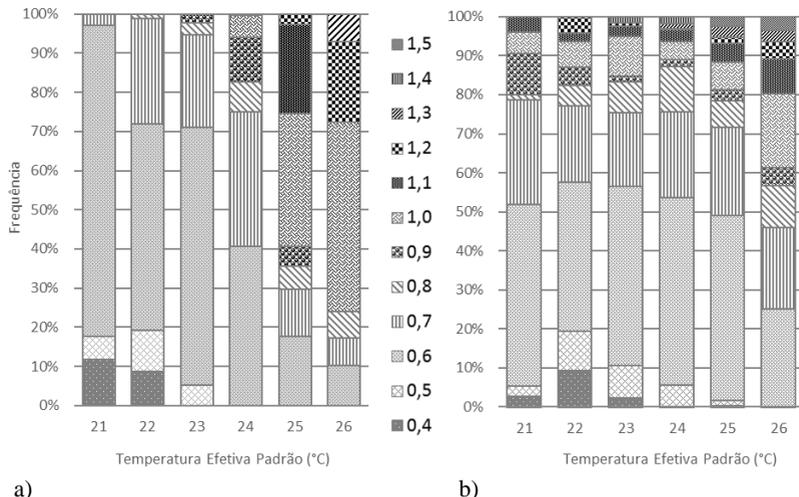
Figura 34. Relação entre a vestimenta dos usuários e a estação do ano.



Ao comparar a vestimenta entre os ocupantes da edificação condicionada artificialmente durante todo ano com os valores encontrados nas edificações que operam de forma mista (Figura 35), observa-se que os usuários apresentam uma variabilidade de clo visivelmente maior em edificações com sistemas mistos, o que provavelmente ocorre devido à semelhança entre as condições ambientais internas e externas durante as quatro estações do ano em que os experimentos foram realizados. Tal constatação reforça a tese de que, em edificações mistas, os ocupantes modificam sua vestimenta e se adaptam melhor às flutuações climáticas internas e externas. Embora o clo médio entre os dois tipos de edificações seja similar (0,67 clo na ESC, e 0,72 nas ESMs), a diferença entre os valores encontrados só não é estatisticamente significativa ( $p < 0,01$ ) no agrupamento de dados da

barra representada pelo SET\* de 24°C. É importante destacar que em ambos os tipos de edificações, o valor de clo aumenta à medida que o valor da temperatura efetiva padrão cresce. Tal fenômeno provavelmente ocorre devido à operação de ambas as edificações a partir do condicionamento artificial ativo durante o verão, quando o valor de SET\* é inferior ao valor encontrado no período de inverno. Assim, quanto maior é o valor de SET\*, menor é a temperatura externa, e maior é o isolamento da vestimenta (como observado na Figura 34, onde os valores de clo acima de 1,0 só ocorrem durante o período de inverno). É importante ressaltar ainda que devido à pequena amostra de votos nos agrupamentos de temperatura efetiva padrão entre 25°C e 26°C na edificação com sistema central (119 e 30 votos, respectivamente - Figura 35a), a frequência de pessoas vestidas com isolamento acima de 1,0 clo parece ser muito maior quando comparada à frequência de valores de mesmo clo em edificações com sistemas mistos (Figura 35b).

Figura 35. Distribuição dos valores de vestimenta (clo) de acordo com o SET\* na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b).



A Figura 36 apresenta a comparação das diferentes classes de peso de ocupantes da edificação com sistema central e de ocupantes de edificações com sistemas mistos, divididos de acordo com o índice de massa corporal. Em ambos os tipos de edificação, a frequência de

ocupantes abaixo do peso é bastante baixa (aproximadamente 1%) quando comparada à frequência de ocupantes com o peso normal e acima do peso, que neste caso são predominantes. Ocupantes que de acordo com o IMC são classificados como obesos, representam 10% da população na edificação com sistema central e 16% nas edificações com sistemas mistos. Embora não existam diferenças significativas entre a frequência de ocupantes de acordo com as classes de peso do índice de massa corporal, e em ambos os tipos de edificações analisadas, quando se considera o gênero dos ocupantes algumas distinções podem ser enfatizadas, como a parcela de ocupantes abaixo do peso, que em sua totalidade são do gênero feminino, enquanto a maioria dos ocupantes do gênero masculino está acima do peso, ou são classificados como obesos (Figura 37). No entanto, esta frequência é maior em edificações com sistemas mistos (Figura 37b), que em edificações com sistema central (Figura 37a). Observa-se ainda que mulheres, em sua maioria, possuem peso normal em ambos os tipos de edificações; no entanto, ocupantes obesos apresentaram frequência muito próxima entre homens e mulheres nas ESMs (48% e 52%, respectivamente).

Figura 36. Classificação dos ocupantes de acordo com o índice de massa corporal na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b).

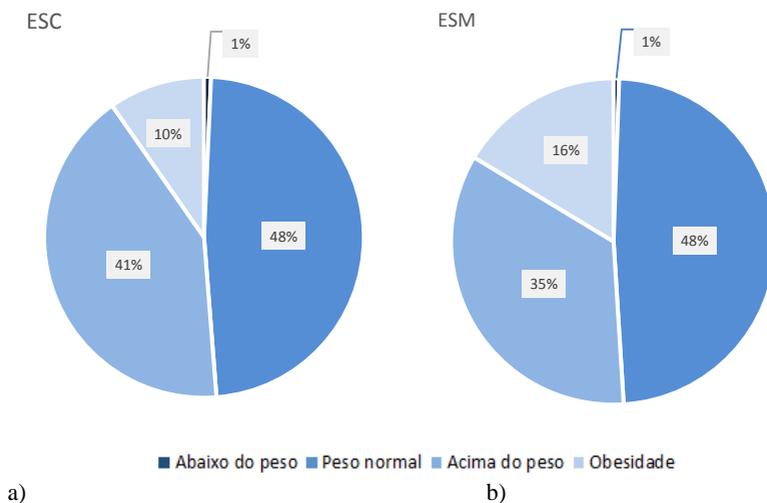
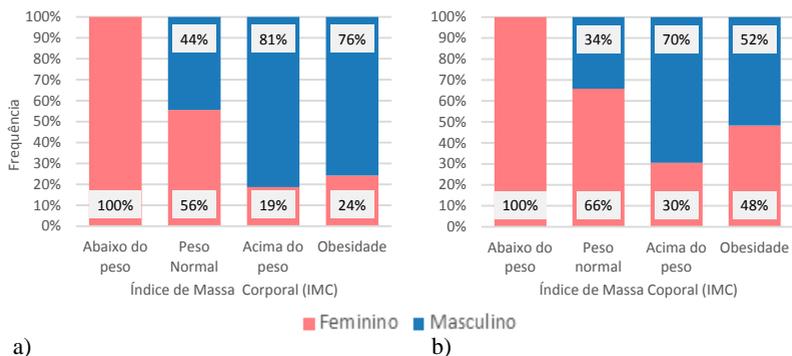
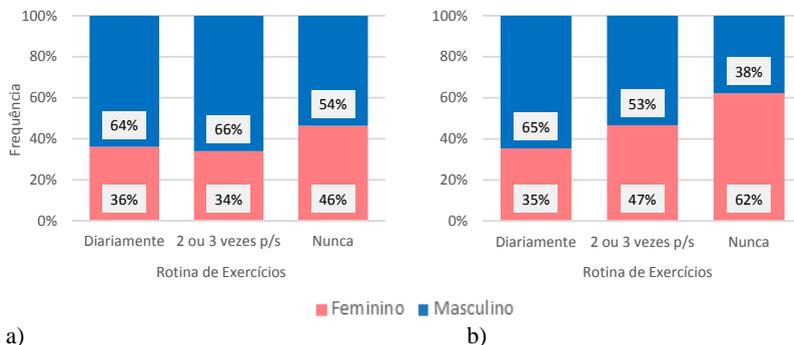


Figura 37. Distribuição das diferentes classes de peso de acordo com o gênero dos ocupantes na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b).



A Figura 38 apresenta as variações na rotina de exercícios físicos que ocupantes do gênero masculino e feminino descreveram realizar a partir do questionário. É interessante notar que em ambos os tipos de edificações, a frequência de respostas apresenta comportamento similar: a maioria dos homens faz exercícios físicos diariamente, ou de duas a três vezes por semana, enquanto as mulheres apresentam maior frequência de respostas na barra correspondente ao voto “nunca”. Ou seja, mesmo que os homens sejam maioria nas classificações “acima do peso” e “obesidade”, como se observou na Figura 37, estes são aqueles que dizem realizar a maior quantidade de exercícios físicos durante a semana.

Figura 38. Rotina de exercícios físicos de ocupantes do gênero feminino e masculino na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b).

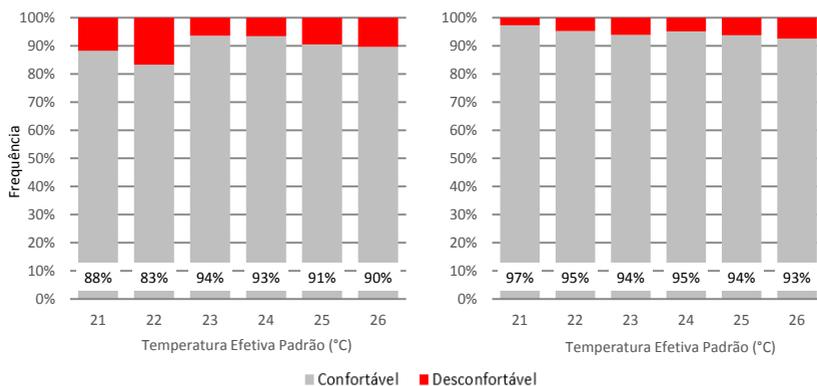


## 4.2 EDIFICAÇÕES CLIMATIZADAS A PARTIR DE SISTEMA CENTRAL VS. EDIFICAÇÕES CONDICIONADAS DE FORMA MISTA

### 4.2.1 Conforto, sensação, preferência e aceitabilidade térmica

Inicialmente, foram analisados os votos de conforto térmico de ocupantes em ambos os tipos de edificações. A Figura 39 apresenta a frequência dos votos de conforto térmico em função da temperatura efetiva padrão (SET\*) em edificações que operam com um sistema central de condicionamento artificial (a), e edificações que operam com sistemas mistos de condicionamento ambiental (b). Em ambos os tipos de edificações, e para as mesmas faixas de temperatura efetiva padrão, a parcela de ocupantes que relataram conforto térmico está acima de 80%. No entanto, observa-se que em edificações que operam com sistemas mistos, tal porcentagem é levemente superior no intervalo de valores entre 23°C e 26°C, destacando-se as barras de 21°C e 22°C, onde a diferença entre os dois tipos de edificações está próxima de 10%.

Figura 39. Conforto térmico de acordo com a temperatura efetiva padrão (SET\*) na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b).



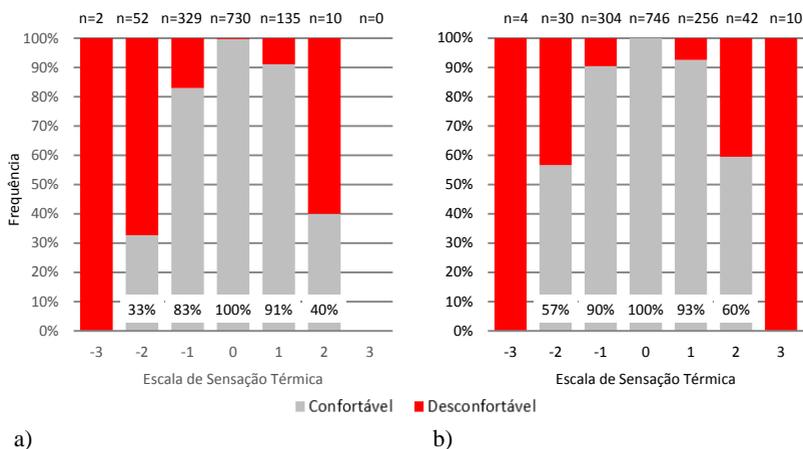
a)

b)

Complementar à Figura 39, a Figura 40 apresenta a relação entre os votos de conforto térmico e os de sensação térmica em ambos os tipos de edificações. Observa-se que no intervalo entre  $\pm 1$ , a frequência de votos de desconforto é inferior a 20%, e inclusive mais acentuada no agrupamento referente aos votos de “levemente com frio”

da edificação com sistema central. Tais resultados reafirmam as análises de sensação térmica seguintes, que adotaram o intervalo entre  $\pm 1$  como “confortável”, enquanto o desconforto térmico só foi registrado em porcentagem significativa (acima de 20%) nas barras  $\pm 2$  e  $\pm 3$  (não foram registrados votos de “com muito calor” na edificação com sistema central). Ainda, é interessante observar que a diferença nas porcentagens de ocupantes em desconforto térmico nas barras  $\pm 2$  é de aproximadamente 20% entre uma edificação e outra, o que sugere que em edificações com sistemas mistos os ocupantes tendem a relatar menos desconforto quando votam nas escalas “com frio, -2” e “com calor, +2”.

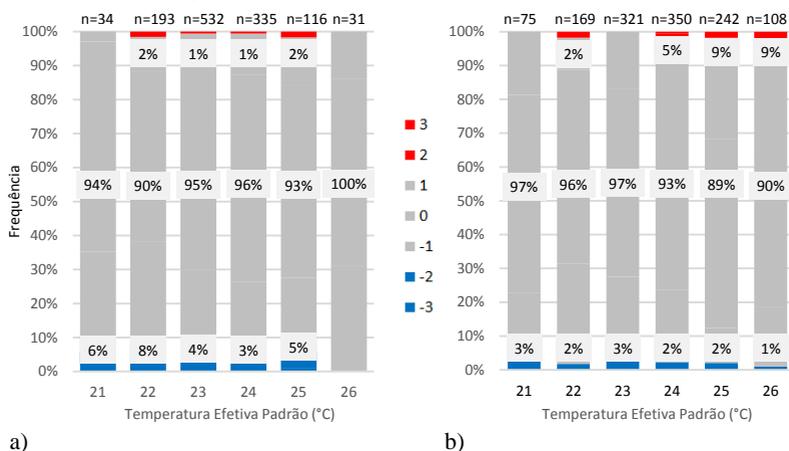
Figura 40. Conforto térmico vs. sensação térmica na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b).



A Figura 41a apresenta os votos de sensação térmica de ocupantes na edificação que opera com um sistema central, considerando-se o mesmo intervalo de SET\* (entre 21°C e 26°C), enquanto a Figura 41b apresenta os dados provenientes de edificações com sistemas mistos. A cor vermelha representa os votos de desconforto térmico causado pelo calor, azul representa o desconforto térmico causado pelo frio e a barra cinza representa a situação de conforto térmico, quando os votos de sensação oscilam no intervalo de  $\pm 1$  da escala sétima de sensações (em ambas as edificações, o intervalo entre  $\pm 1$  resultou em menos de 20% de pessoas desconfortáveis). Analisando ambas as edificações, pouca diferença entre os votos de desconforto térmico pode ser observada. No entanto, é possível afirmar que na

edificação com sistema central, a ocorrência de votos de desconforto por frio é maior quando comparada às edificações com sistemas mistos, onde o desconforto por calor ocorre em maior percentagem.

Figura 41. Sensação térmica dos ocupantes de acordo com a temperatura efetiva padrão (SET\*) na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b).



Analisando o comportamento da sensação térmica média em função da temperatura efetiva padrão de ambos os tipos de edificações (Figura 42), verificou-se diferença significativa (*t-test*) nos agrupamentos de 24°C e 25°C ( $p < 0,01$ ), e entre 21°C, 23°C e 26°C ( $p < 0,05$ ). A barra relativa aos dados agrupados em 22°C é a única que não apresenta diferença estatística alguma, já que nela, as indicações de erros sobrepõem-se umas às outras, e o valor médio é muito próximo (-0,33 em edificações com sistema central e -0,20 em edificações com sistemas mistos). Observando-se a Figura 42, é possível afirmar que na ESC os ocupantes tendem a sentir um pouco mais de frio quando comparados aos ocupantes nas ESMs.

Ao se analisarem os votos de aceitabilidade térmica em ambos os tipos de edificações, pouca diferença pode ser visualizada; inclusive quando as barras de aceitabilidade térmica representadas pela cor cinza são comparadas às barras de mesma cor dos votos de sensação (Figura 41) e de conforto térmico (Figura 39). De acordo com a Figura 43, a aceitabilidade térmica na edificação que opera com um sistema central só atinge percentagem inferior a 95% em alguns poucos casos (22°C e 25°C), enquanto com sistema misto o mínimo atingido foi de 95%.

Embora estas diferenças sejam mínimas, é interessante notar que nas ESMs o comportamento dos usuários com relação ao ambiente térmico parece um pouco mais lógico, já que a inaceitabilidade térmica cresce de acordo com o avanço do SET\*; tal padrão não se aplica quando os votos de inaceitabilidade térmica da ESC são analisados.

Figura 42. Comportamento da sensação térmica média em função do SET\* em edificações que operam com sistema central e sistemas mistos.

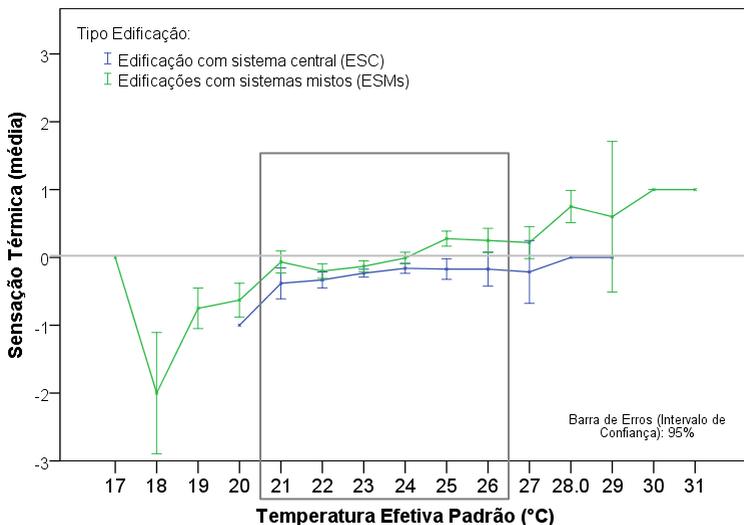
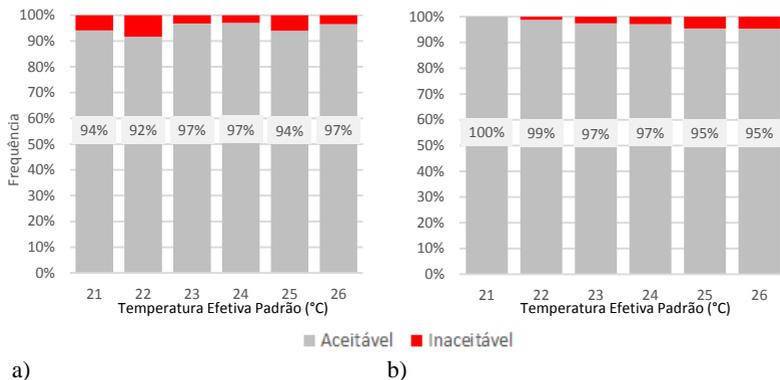
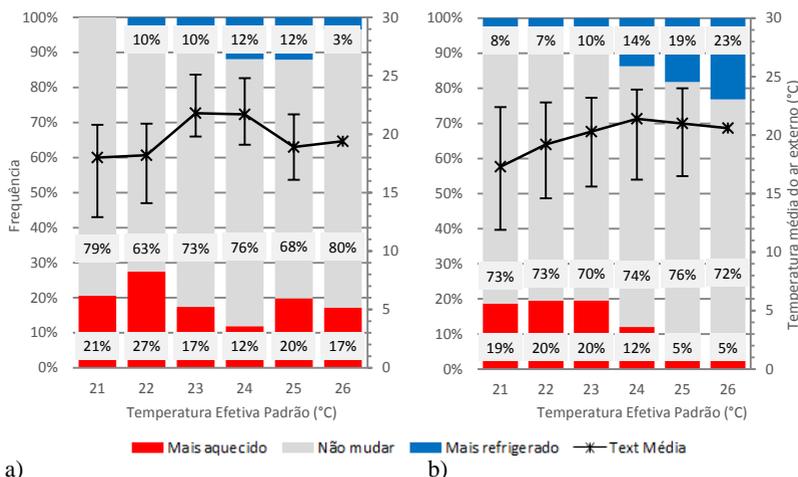


Figura 43. Aceitabilidade térmica de acordo com o SET\* na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b).



Dentre os votos de preferência térmica, tais diferenças são significativas, e abrem espaço para uma discussão maior. A Figura 44 apresenta a frequência de votos dos ocupantes obtidos a partir da pergunta: “neste momento, você preferiria estar?”. Nos gráficos a cor vermelha representa os votos de ocupantes que prefeririam que o ambiente estivesse “mais aquecido”, azul representa a preferência por um ambiente “mais refrigerado”, e a cor cinza representa total satisfação com relação ao ambiente térmico, já que nenhuma mudança é necessária. Em todas as barras, a linha preta representa a temperatura média externa do ar relativa ao período de operação da edificação no momento em que a medição foi realizada. Ou seja, um valor médio proveniente dos valores médios relativos à temperatura externa, e apenas dos períodos de operação em cada edificação e de acordo com os dias em que cada experimento foi realizado, para cada agrupamento de SET\* estipulado. Ainda nestas linhas, observa-se a média entre as máximas diárias e mínimas para cada barra de SET\*. A partir das figuras que apresentam a preferência térmica dos ocupantes, é possível concluir que existe uma tendência consideravelmente maior ao desejo por um ambiente mais aquecido na edificação com sistema central, quando comparada à preferência dos ocupantes em edificações com sistemas mistos, que desejam em uma porcentagem significativamente maior um ambiente mais refrigerado - mesmo que os agrupamentos de SET\* sejam os mesmos. É necessário considerar que algumas diferenças podem estar relacionadas às condições externas das edificações, ainda que os períodos de medição tenham sido os mesmos. De toda forma, em alguns intervalos onde a temperatura externa média é maior na ESC, quando comparada às ESMs, ainda existe preferência por temperaturas mais baixas nos ambientes mistos, como no caso da comparação entre as barras de SET\* 25°C e 26°C para ambos os tipos de edificações. Novamente, é interessante ressaltar o comportamento desconexo dos votos em edificações que operam com sistema central de condicionamento artificial em comparação ao comportamento observado nas edificações mistas (Figura 44).

Figura 44. Frequência de votos de preferência térmica de acordo com o SET na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b).

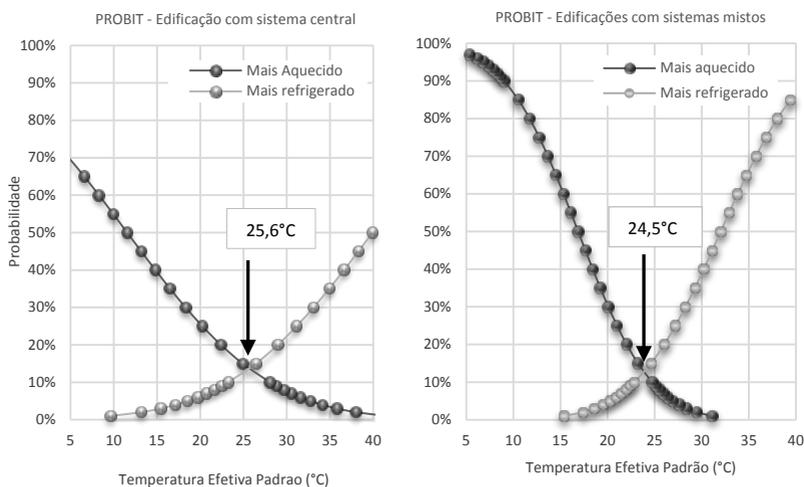


A partir dos votos de preferência térmica, mais especificamente votos de preferência por um ambiente “mais refrigerado” ou “mais aquecido”, elaborou-se um modelo de regressão *probit* que permitisse estimar a probabilidade de se obterem votos de preferência térmica em diferentes situações de temperatura efetiva padrão, com base nos resultados reais já coletados. O ponto de intersecção entre as curvas “mais aquecido” e “mais refrigerado” provenientes do modelo de regressão observado na Figura 45 foi assumido como o valor representativo da “temperatura neutra preferida”, assim como adotado por Fanger (1970) e de Dear et al., (2015). Portanto, este ponto de intersecção representa a menor porcentagem possível de pessoas que prefeririam que o ambiente estivesse ou “mais aquecido” ou “mais refrigerado”, que em ambas as edificações, ocorreu próximo de 15%.

A partir desta análise, observou-se que a temperatura neutra preferida na edificação com sistema central é de aproximadamente 25,6°C (Figura 45a), e 24,5°C em edificações com sistemas mistos (Figura 45b). É importante ressaltar que no modelo de regressão *probit*, o teste qui-quadrado apresentou significância estatística apenas no grupo de votos “mais aquecido” ( $p < 0,001$ ), o que não ocorreu no grupo de votos “mais refrigerado” ( $p > 0,001$ ), provenientes das ESMs. É possível que tal ressalva tenha ocorrido devido à baixa amostragem de pessoas votando por um ambiente “mais refrigerado”, em comparação com o

número de pessoas da escala “mais aquecido”. No entanto, tal restrição não invalida o modelo proposto para as análises, já que o *software* de estatística aplica um fator de heterogeneidade para o cálculo dos limites de confiança, alcançando a eficácia do preditor necessária. Nas ESMs, os coeficientes do modelo de regressão linear responderam bem em ambos os grupos (teste- $z$  e nível descritivo,  $p < 0,001$ ). Por se tratar de um modelo de probabilidade, alguns intervalos de temperatura efetiva padrão previstos encontraram-se fora do intervalo de dados medidos, especialmente nos casos como aquele relativo à edificação com sistema central (Figura 45a).

Figura 45. Análise *probit* a partir da preferência térmica na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b).



a)

b)

A preferência por um ambiente “mais aquecido” na edificação com sistema central, e “mais refrigerado” em edificações com sistemas mistos também pode ser observada na Tabela 9, que apresenta apenas os votos de preferência térmica de ocupantes que classificaram o ambiente como inaceitável termicamente. Embora a amostra em ambos os tipos de edificações seja pequena, é possível observar que grande parte dos ocupantes que classificaram o ambiente como **inaceitável** na ESC (73%) preferiria que o ambiente estivesse mais aquecido, enquanto a maioria nas ESMs preferiria um ambiente mais refrigerado (56%).

Tabela 9. Preferência térmica dos ocupantes que consideraram o ambiente “inaceitável”

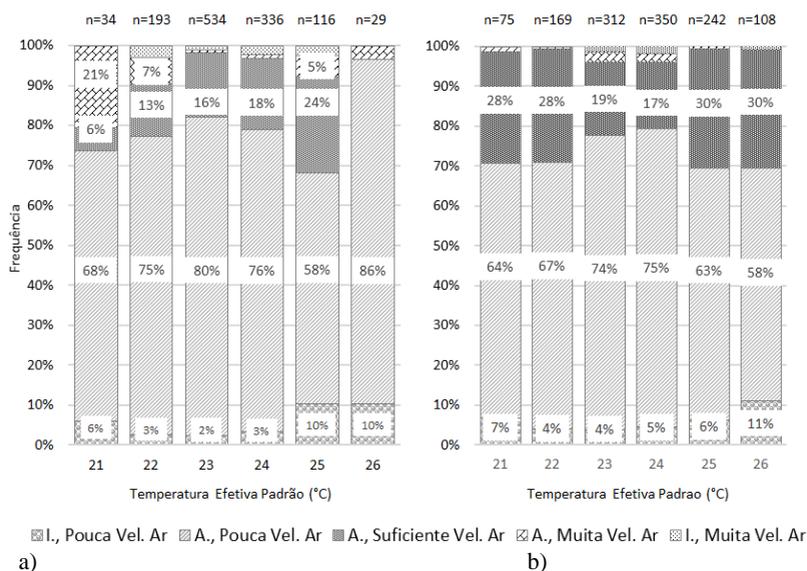
Tipo Edificação	ESC		ESMs	
	Mais Aquecido (n=45)	Mais Resfriado (n=17)	Mais Aquecido (n=12)	Mais Resfriado (n=20)
Temperatura Efetiva Padrão				
22°C	8%	0%	11%	0%
23°C	53%	11%	6%	0%
24°C	12%	13%	22%	23%
25°C	0%	3%	5%	33%
<b>Total</b>	<b>73%</b>	27%	44%	<b>56%</b>

ESC: Edificações condicionadas artificialmente a partir de um sistema central.  
ESMs: Edificações com sistema misto de condicionamento ambiental.

#### 4.2.2 Aceitabilidade e preferência da velocidade do ar

As análises de aceitabilidade da velocidade do ar e a comparação entre os resultados de ambos os tipos de edificações apresentaram pouca diferença. Para estas análises, os ocupantes foram solicitados a responder: “Com relação à velocidade do ar neste momento, para você, ela está...?”. Foram oferecidas as seguintes alternativas: “aceitável” ou “inaceitável”, representados na pelas letras “A” e “I”, respectivamente, na Figura 46. Caso o ocupante selecionasse a alternativa “aceitável”, eram fornecidas mais três alternativas adicionais: aceitável, mas a “velocidade do ar é baixa”, ou a “velocidade do ar é suficiente” e, finalmente, a “velocidade do ar é alta”. No caso dos ocupantes que selecionassem a alternativa “inaceitável”, eram fornecidas as opções: a “velocidade do ar é muito baixa” e a “velocidade do ar é muito alta”. Assim, o que se observa em ambas as edificações é que os valores medidos de velocidade do ar, embora aceitáveis em sua grande maioria, classificaram-se em todos os casos como abaixo do desejado (aceitável, mas pouca velocidade do ar).

Figura 46. Aceitabilidade da velocidade do ar de acordo com a temperatura efetiva padrão na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b).



Com relação à preferência pela velocidade do ar, algumas diferenças podem ser observadas Figura 47. Semelhante ao que se encontrou nos dados de preferência térmica, os ocupantes da edificação condicionada artificialmente a partir de um sistema central apresentaram maior preferência por valores mais baixos de velocidade do ar, enquanto em edificações condicionadas de forma mista a predominância ocorreu de forma contrária, mesmo que as médias de valores fossem praticamente iguais (0,13 m/s em ESC, e 0,16 m/s em ESMs). É interessante lembrar que em edificações com sistemas mistos, a frequência de valores de velocidade do ar no agrupamento de 0,20 m/s é um pouco maior quando comparada à frequência observada na edificação com sistema central.

Analisando a preferência pela velocidade do ar de acordo com as barras agrupadas de velocidade 0,1, 0,2 e 0,3 m/s, e faixa de temperatura efetiva padrão de uma forma geral (considerando-se que as amostras nos intervalos mais altos de velocidade do ar não são significativas, como no caso da faixa 0,3m/s no agrupamento 23 em ESC onde existe apenas 1 voto), observa-se que a ocorrência de votos preferindo valores ainda mais baixos concentra-se em maior quantidade

nos agrupamentos de 0,3 m/s (Figura 48). Tal fenômeno não foi observado em edificações com sistemas mistos, onde a partir de 22°C a preferência por valores mais altos de velocidade do ar é sempre predominante, e independe da faixa de velocidade do ar considerada (Figura 49).

Figura 47. Preferência da velocidade de acordo com a temperatura efetiva padrão na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b).

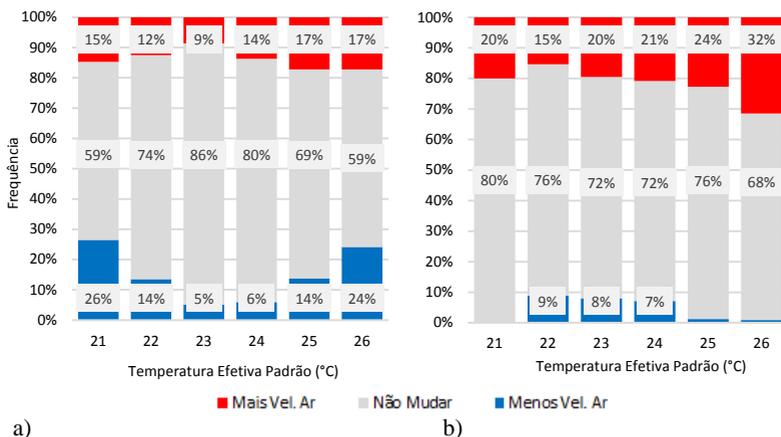


Figura 48. Preferência da velocidade do ar de acordo com o SET\* e a velocidade do ar medida na edificação que opera com sistema central de condicionamento artificial.

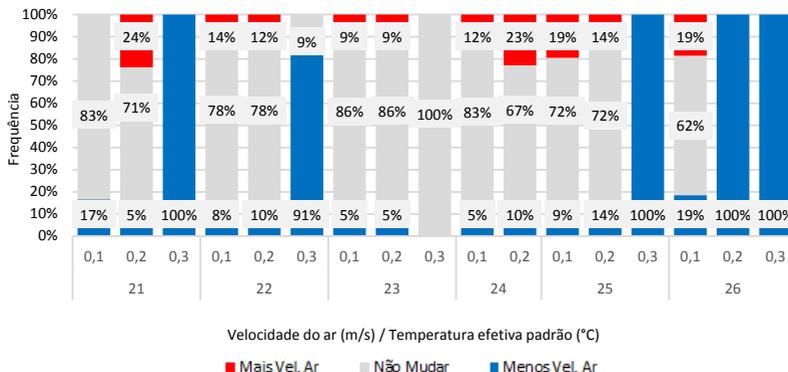
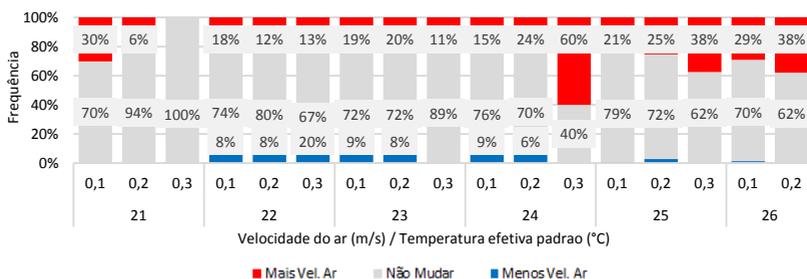
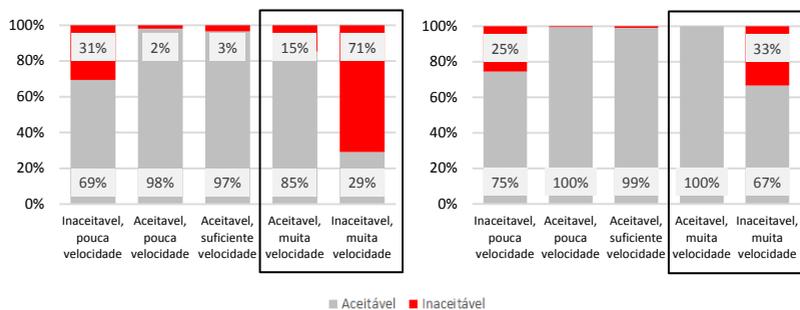


Figura 49. Preferência da velocidade do ar de acordo com o SET\* e a velocidade do ar medida em edificações que operam com sistemas mistos de condicionamento ambiental.



Na Figura 50, é apresentada a relação entre a aceitabilidade térmica do ambiente e a aceitabilidade com relação à velocidade do ar em edificações com sistema central e mistos, respectivamente. Observa-se que a inaceitabilidade térmica do ambiente está muito mais relacionada à velocidade do ar em edificações com sistema central do que em edificações com sistemas mistos. Na ESC constatou-se que a maioria dos votos de inaceitabilidade térmica ocorreu em função da velocidade do ar, em especial à alta velocidade do ar (15% e 71%, Figura 50a). Embora o mesmo fenômeno possa ser observado em ESMs, o percentual de votos é mais modesto (71% vs 33%, Figura 50b). Além disto, nas barras em que a velocidade do ar é classificada como aceitável, observa-se quase 100% de aceitabilidade térmica em todas as barras das edificações com sistemas mistos, o que não ocorre na edificação com sistema central.

Figura 50. Aceitabilidade térmica vs. a preferência pela velocidade do ar na edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b).



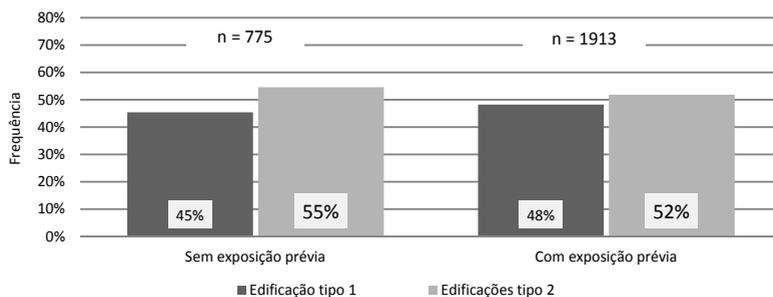
a)

b)

### 4.2.3 Influência da memória térmica

A Figura 51 apresenta a proporção de ocupantes que apresentaram exposição prévia ao condicionamento artificial em ambos os tipos de edificações analisadas. De acordo com as barras da figura, dentre os 2.688 votos coletados, a grande maioria é proveniente de usuários que disseram utilizar ar condicionado de forma rotineira quando estão fora do trabalho ( $n = 1.913$ , 71% do total de votos). Entretanto, a proporção de ocupantes com exposição prévia ao condicionamento artificial em ambas as edificações é praticamente a mesma (48% na edificação com sistema central e 52% em edificações com sistemas mistos).

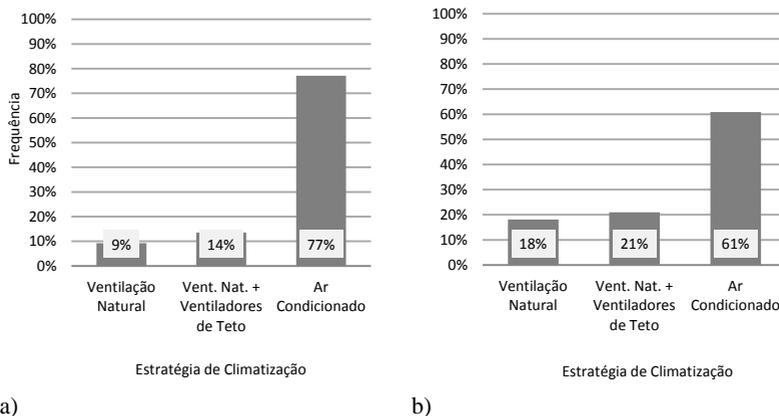
Figura 51. Frequência de ocupantes com e sem exposição prévia na edificação com sistema central (tipo 1) e sistemas mistos (tipo 2).



Na Figura 52 apresenta-se a porcentagem de ocupantes que optariam por estratégias passivas de condicionamento, que é inferior em edificações que operam de forma mista quando comparadas à porcentagem de votos provenientes da edificação que opera com climatização artificial central (39% e 23%, respectivamente). Embora tais diferenças existam, a preferência pelo ar-condicionado como instrumento de climatização ambiental predomina em ambos os tipos de edificações.

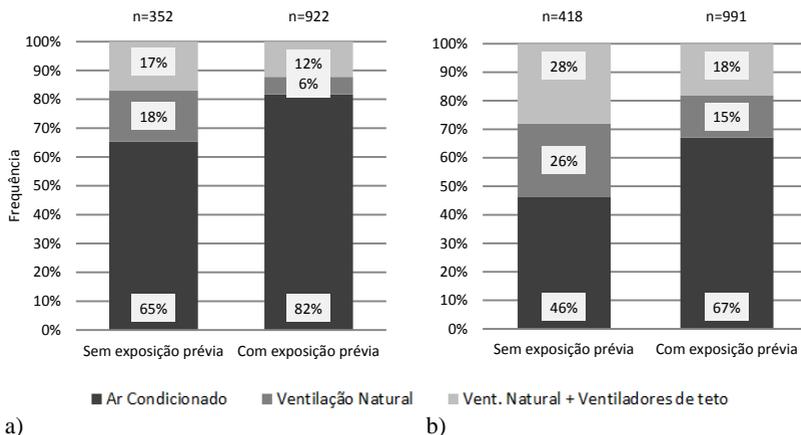
Assim, para averiguar se a preferência pelo sistema de climatização está relacionada à exposição prévia ao condicionamento artificial em ambientes internos, as duas respostas provenientes das Figura 51 e Figura 52 foram reunidas e cruzadas entre si; os resultados podem ser observados na Figura 53.

Figura 52. Preferência pela estratégia de climatização em períodos quentes de ocupantes da edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b).



Na Figura 53a apresentaram-se os resultados entre o cruzamento de votos de exposição prévia e preferência de estratégia de climatização na edificação com sistema central, enquanto a Figura 53b apresenta os mesmos resultados para edificações com sistemas mistos. É interessante notar que a proporção de votos sob a influência da exposição prévia, e que ainda preferem o ar-condicionado como estratégia de climatização em períodos quentes, é maior na edificação com sistema central quando comparadas às edificações com sistemas mistos, onde o ar-condicionado é utilizado de forma esporádica. A proporção de ocupantes que optaram pelo condicionamento artificial como estratégia de climatização quando existe exposição prévia - dentro e fora do trabalho - é muito próxima em ambas as edificações, o que pode sugerir que a preferência pelo condicionamento artificial fora do expediente de trabalho está mais relacionada à influência da memória térmica que ao tipo de edificação que estas pessoas ocupam (considerando que ambos os tipos operam com o condicionamento artificial).

Figura 53. Exposição prévia vs. a preferência pelo sistema de climatização da edificação que opera com um sistema central (a), e edificações que operam com sistemas mistos (b).



#### 4.2.4 Discussão

O presente bloco de análises tratou das diferenças (e até semelhanças) encontradas na comparação entre os votos de ocupantes de edificações que operam com diferentes sistemas de climatização ambiental. Foram comparados os dados de sensação, aceitabilidade e preferência térmica e da velocidade do ar, além dos efeitos causados pela exposição prévia e prolongada ao condicionamento artificial em edificações que operam com sistema de condicionamento artificial central, e edificações que operam de forma mista e são controladas pelos ocupantes.

Dentre os principais resultados encontrados, destacam-se as semelhanças entre a sensação térmica de ambos os tipos de edificações sob os mesmos intervalos de temperatura efetiva padrão (entre 90% e 95% em média, no intervalo de 21°C a 26°C), que são igualmente semelhantes aos resultados de aceitabilidade térmica em ambas as edificações (também entre 90% e 95% em média). No entanto, ao analisarem-se os votos de conforto, e associando-os à sensação térmica, observou-se que o desconforto térmico é mais proeminente na edificação sistema central, e causado em sua maioria pelo frio excessivo (77% de desconforto no ponto -2, 17% no ponto -1, 9% no ponto +1 e 60% no ponto +2). Tais resultados sugerem que os votos localizados entre o intervalo de “levemente com calor” e “levemente com frio”

podem ser classificados como confortáveis e aceitáveis pelos usuários, o que reafirma a teoria de Fanger (1970) e demonstra que a insatisfação térmica pode ser verificada de fato apenas fora do intervalo entre  $\pm 1$ .

Os votos de preferência térmica apresentaram comportamento significativamente diferente daquele observado nas análises de sensação térmica. Enquanto as médias de sensação térmica entre as edificações apontam pequenas diferenças entre os dois grupos (edificação com sistema central tende para “levemente com frio”, enquanto edificações com sistemas mistos tendem para “neutro”), quando questionados a respeito da sua preferência térmica, os ocupantes apresentam temperaturas preferidas que distam cerca de 1,0K entre um valor e outro. Comparar a sensação com a preferência térmica, neste caso, se assemelharia a algo próximo de comparar o que é confortável ao que na percepção dos ocupantes é tido como ideal. Por outro lado, se analisados a partir da preferência térmica, tais votos poderiam resultar em um intervalo de temperaturas mais estreito, limitando a zona de conforto térmico de acordo com as normas e modelos existentes, e conseqüentemente impactando diretamente no consumo de energia de edificações.

Com relação à velocidade do ar, pouca diferença foi registrada em edificações com sistema central e misto. Um dos principais motivos para tal ocorrência seriam os baixos intervalos de velocidade do ar medidos em ambas as edificações, muito próximo do que se considera “imperceptível”. Entretanto, a preferência por velocidades “mais baixas” na edificação com sistema central, e “mais altas” em edificações com sistemas mistos transpareceu na maioria das análises apresentadas. Como o intervalo de temperaturas operativas é menor na edificação com sistema central, é natural que os ocupantes relatem desconforto causado pelas correntes de ar frias quando a temperatura operativa é mantida em um intervalo mais baixo (22°C a 23°C). Ao mesmo tempo em que a preferência por valores mais altos de velocidade do ar nas ESMs está provavelmente ligada à expectativa dos ocupantes, que esperam por uma brisa mais veloz ao abrir uma janela (mesmo que uma parte destes ocupantes possa ainda reclamar dos inconvenientes causados pela alta velocidade do ar). Uma boa alternativa para edificações com sistemas centrais de condicionamento artificial, e até mesmo espaços com sistemas mistos, seria a utilização de ventiladores de teto, ou sistemas de ventilação que proporcionem maior distribuição de ar, homogeneizando a temperatura interna e redistribuindo o ar refrigerado, como verificado por De Vecchi, Candido e Lamberts (2013). Segundo os autores, ao aumentar a velocidade do ar para um valor próximo de 0,90m/s, o

*setpoint* interno poderia ser ajustado para um valor dentro do intervalo entre 25°C e 28°C, mantendo assim os mesmos níveis de conforto.

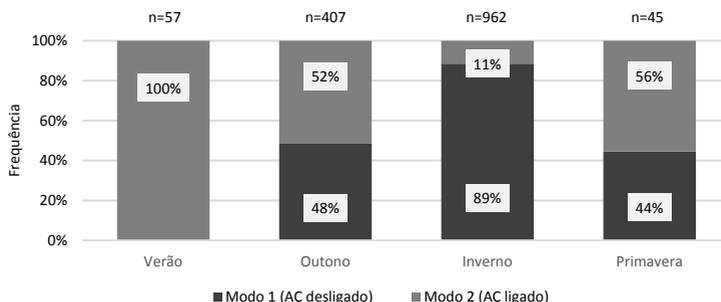
As análises relacionadas à memória térmica dos ocupantes mostraram diferenças insignificantes entre os dois tipos de edificações investigadas, mesmo considerando que grande parte dos votos de edificações com sistemas mistos tenha sido coletada durante a utilização da ventilação natural. A preferência pelo ar-condicionado como estratégia de climatização em períodos quentes se mostrou muito mais relacionada à utilização diária do equipamento que ao tipo de edificação que estes usuários trabalham (central ou mista); embora seja importante destacar que a porcentagem de usuários que prefere a utilização do condicionamento artificial é ainda maior em edificações que operam a partir de um sistema de condicionamento central.

### 4.3 CONFORTO TÉRMICO E OPERAÇÃO DE EDIFICAÇÕES MISTAS

#### 4.3.1 Análise do modo de operação

Os resultados da Figura 54 apresentam a frequência de votos coletados de acordo com o modo de operação das edificações e estação do ano. Os dados foram divididos em dois grupos, que consideraram os diferentes modos de operação destas edificações: modo de operação 1, quando a ventilação natural estava sendo utilizada e o ar-condicionado desligado; e modo de operação 2, quando o condicionamento artificial estava em uso. A partir da Figura 54, observa-se que a maior frequência de experimentos ocorreu durante os períodos de outono e inverno (93%), e uma pequena porção dos votos foi obtida durante a primavera e verão (7%). Embora a amostra seja pequena durante o verão, a utilização do condicionamento artificial predominou neste período, seguida dos meses de primavera e outono. Durante o inverno, 89% dos votos foram coletados em salas ventiladas naturalmente, embora ainda se observe a utilização do condicionamento artificial em uma pequena parcela dos dados (11%).

Figura 54. Frequência de votos coletados de acordo com o modo de operação e estação do ano em edificações que operam de forma mista.



As Figura 55 e Figura 56 apresentam a distribuição da temperatura efetiva padrão interna de acordo com a temperatura do ar externo média durante os períodos de experimento. A Figura 55 apresenta os valores observados durante o modo de operação 1, enquanto a Figura 56 apresenta os valores observados durante o modo de operação 2. Analisando ambas as figuras em conjunto, observa-se que em todas as situações onde o ar condicionado operou de forma permanente, ou foi acionado durante o período de medição, a temperatura média do ar externo se localizou no intervalo de 20°C a 25°C. Nas medições em que o ar condicionado estava desativado (Figura 55), observa-se predominância de valores nos meses mais frios, com ocorrência de temperatura média do ar externo inferior a 20°C. O único caso em que a temperatura do ar externo ultrapassou a faixa de 20°C, sem que o ar condicionado fosse acionado, ocorreu durante um valor de SET\* próximo a 30°C, e em apenas 0,3% dos dados. Neste caso em particular, os ocupantes preferiram não acionar o condicionamento artificial, mesmo que a sensação térmica média encontrada fosse de 1,30 na escala sétima. O PMV médio calculado para esta situação foi de 0,10 ( $T_{ar}$  25,3°C; UR 73%;  $T_{mr}$  25°C;  $V_{ar}$  0,2 m/s; clo médio 0,7 e met 1,0), e a temperatura média predominante do ar externo de 20,6°C. Na Figura 56, é interessante ressaltar que os valores mais baixos de SET\*, embora com baixa frequência, ocorrem durante as observações de temperaturas do ar externo mais baixas; por outro lado, valores mais elevados de SET\* ocorrem durante as verificações de temperaturas do ar externo mais baixas. De uma forma geral, pode-se concluir que a maioria dos casos onde o ar-condicionado é utilizado ocorre quando a temperatura do ar externo está próxima de 24°C, e a temperatura efetiva padrão interna é mantida próxima de 23°C e 24°C.

Considerando-se os votos coletados apenas nestas condições (ar-condicionado ligado, SET\* entre 23°C e 24°C), a sensação térmica média real é de 0,5 na escala sétima, e a preferência térmica tende levemente para o voto “mais aquecido”.

Figura 55. Dados de temperatura média do ar externo de acordo com o SET\* durante os períodos de medição em edificações mistas no modo de operação 1.

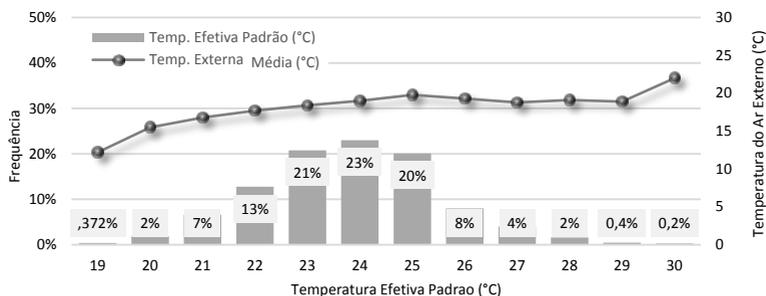
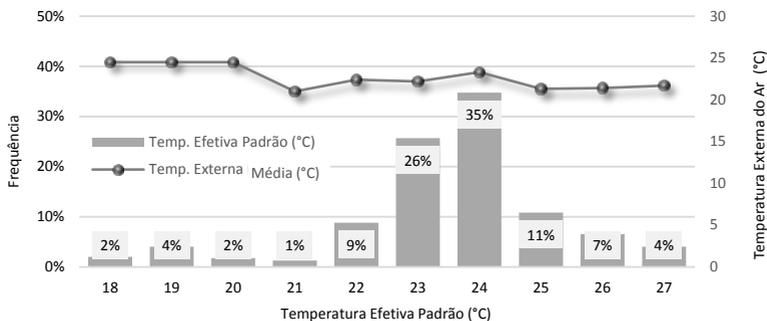


Figura 56. Dados de temperatura média do ar externo de acordo com a temperatura efetiva padrão interna durante os períodos de medição em edificações mistas no modo de operação 2.

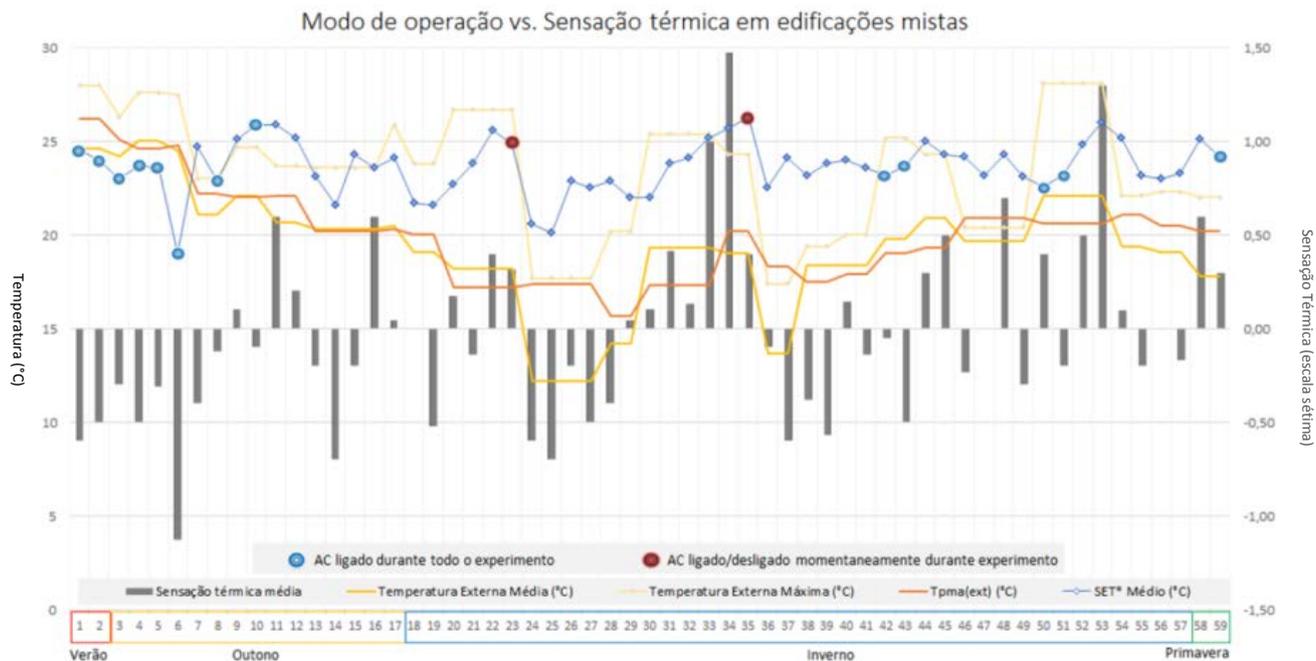


A Figura 57 apresenta um esquema geral que contém todos os dados de medições realizadas nas duas edificações mistas consideradas neste trabalho. Nela, é possível observar os dados de temperatura do ar interno e externo, a temperatura média do ar externo predominante, a temperatura efetiva padrão interna média nas linhas do eixo y esquerdo, os votos de sensação térmica média por experimento nas barras do eixo y direito, e finalmente, o número do experimento de acordo com a estação do ano no eixo x. A linha azul corresponde aos valores médios de SET\* encontrados, e círculos de mesma cor identificam cada um dos

experimentos em que o ar condicionado permaneceu ligado o tempo todo. Na cor vermelha, os círculos representam os experimentos em que o ar-condicionado foi acionado durante a medição por algum ocupante. A temperatura média do ar interno registrada pelo confortímetro no momento de acionamento, e em ambas as ocasiões observadas, foi de 26,2°C no experimento de número 22, e 26,3°C no experimento de número 35. Embora esta figura apresente ruídos provenientes de amostras pequenas, algumas conclusões importantes relacionadas à operação destas edificações podem ser delineadas. Assim, destacou-se:

- O valor da temperatura média do ar externo predominante, que embora calculado a partir de uma média ponderada dos últimos sete dias com um  $\alpha$  que confere maior peso aos dias mais próximos ao dia de análise, apresentou falhas nas ocasiões em que a temperatura do ar externo caiu bruscamente em relação aos dias anteriores. Nos experimentos entre os números 23 e 28, tal fenômeno pode ser observado claramente, assim como nos experimentos 36 e 37. Nestes casos, o voto de sensação térmica média dos ocupantes acompanha a variação da temperatura externa, e cai significativamente quando comparado às médias anteriores;
- Analisando pontualmente as duas situações em que o ar-condicionado foi acionado durante o experimento, verifica-se que o mesmo ocorre após uma sequência de temperaturas mais altas, próximas àquelas observadas durante o período de verão e outono (acima de 25°C), e ainda, quando a temperatura máxima diária ultrapassa 25°C. É importante destacar que no caso do experimento 34, em que o voto de sensação térmica médio atingiu o pico mais alto (+1,5) sem que o aparelho de ar-condicionado fosse ligado, verificou-se defeito técnico no equipamento, o que inviabilizou sua utilização;
- Durante o período em que o ar-condicionado estava em operação constante (entre os experimentos 1 a 8), a média do voto de sensação térmica é constantemente negativa. Isto acontece também em situações semelhantes até durante o inverno (42, 43 e 51), sugerindo a má utilização ou desconhecimento da temperatura de *setpoint* ideal para estas situações;
- De forma semelhante, observou-se média de sensação térmica positiva em todos os casos em que a temperatura efetiva padrão interna ultrapassou a marca de 25°C, sem que o ar-condicionado fosse acionado.

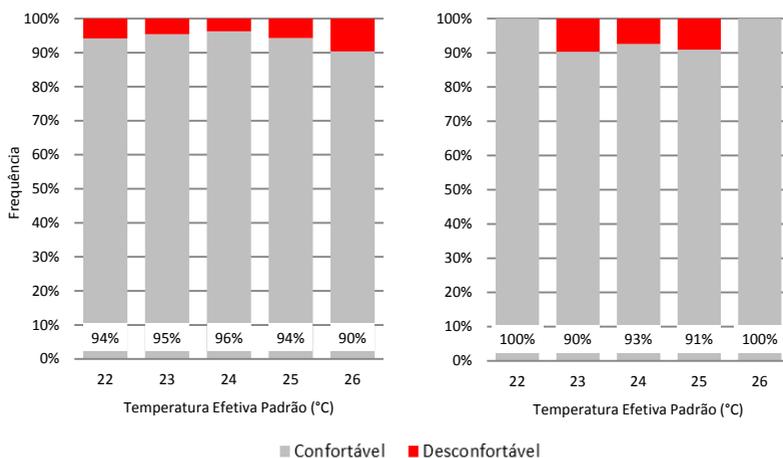
Figura 57. Operação de edificações mistas observada em cada um dos experimentos de campo.



### 4.3.2 Conforto, sensação, preferência e aceitabilidade térmica

Analisando-se os votos de conforto térmico de ocupantes a partir do modo de operação no momento em que os votos foram coletados (modo de operação 1, ar-condicionado desligado; modo de operação 2, ar-condicionado desligado), pouca diferença pode ser observada. No entanto, durante a operação do condicionamento artificial, verifica-se 100% de conforto térmico nos agrupamentos de 22°C e 26°C (SET\*). Em nenhum destes agrupamentos de SET\* observou-se porcentagem acima de 10% de desconforto, embora a maior faixa de conforto térmico seja observada nos pontos 23°C e 24°C durante o modo de operação 1 (Figura 58a), e entre 22°C e 26°C durante o modo de operação 2 (Figura 58b).

Figura 58. Conforto térmico de acordo com a temperatura efetiva padrão (SET\*) durante o modo de operação 1 (a), e durante o modo de operação 2 (b).



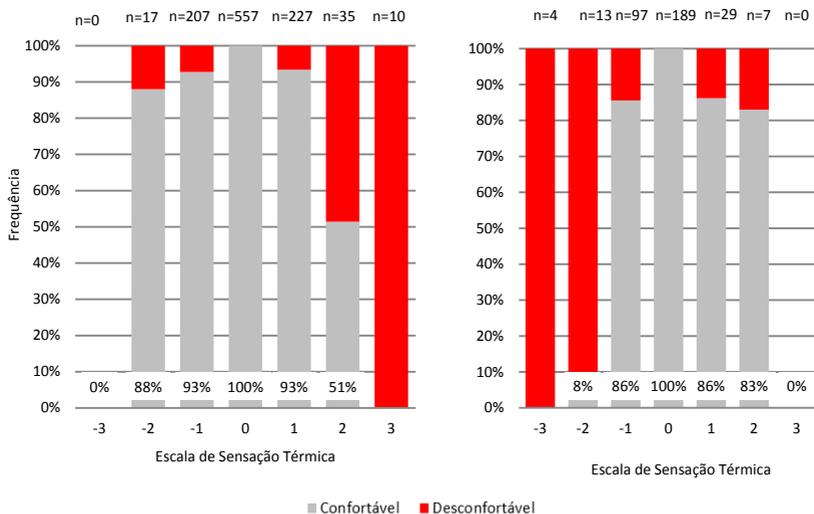
a)

b)

A sensação térmica dos ocupantes foi então cruzada com os votos de conforto/desconforto térmico em ambos os modos de operação observados (Figura 59). Diferentemente do que se observou nas análises do item anterior, o desconforto térmico nos intervalos -2 no modo de operação 1 e +2 no modo de operação 2 atingiu porcentagens muito baixas, inferiores à 20% (12% e 17%, respectivamente). Tais resultados sugerem que durante a operação da ventilação natural, a sensação de frio pode não resultar em grande porcentagem de ocupantes que relatam

desconforto térmico (Figura 59a), assim como durante a operação do condicionamento artificial, quando a sensação de calor não é tida como desconfortável pela maior percentagem dos ocupantes (Figura 59b). No entanto, é necessário considerar que as amostras nos agrupamentos  $\pm 2$  e  $\pm 3$  são muito pequenas em relação às demais ( $\pm 1$  e 0).

Figura 59. Conforto térmico vs. sensação térmica durante o modo de operação 1 (a), e durante o modo de operação 2 (b).

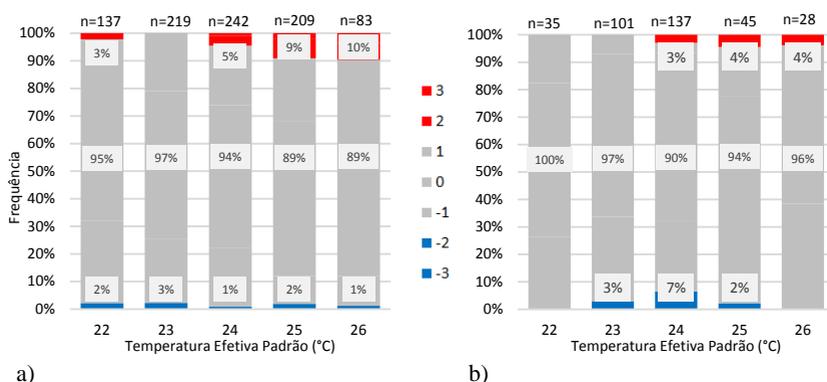


a)

b)

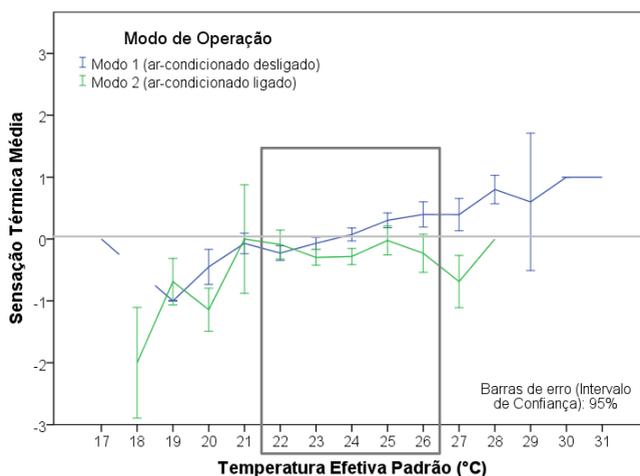
A sensação térmica de ocupantes em edificações mistas foi avaliada de acordo com o modo de operação 1 ou 2, em conjunto com a temperatura efetiva padrão (Figura 60). Nota-se que ao separar os votos, independentemente da estação do ano ou temperatura externa média, o comportamento observado é similar àquele encontrado nas comparações entre edificação com sistema central e as edificações mistas: durante a utilização da ventilação natural (Figura 60a), a sensação térmica média apresenta frequência levemente maior de votos de desconforto por calor, e o inverso acontece quando o condicionamento artificial está em operação (Figura 60b). As amostras são consideradas estatisticamente diferentes nas barras de 23°C, 24°C e 26°C ( $p < 0,01$ ), e 25°C ( $p < 0,05$ ). A barra com o agrupamento de 22°C não apresentou diferença estatística.

Figura 60. Frequência dos votos de sensação térmica de acordo com o SET\* durante o modo de operação 1 (a), e durante o modo de operação 2 (b).



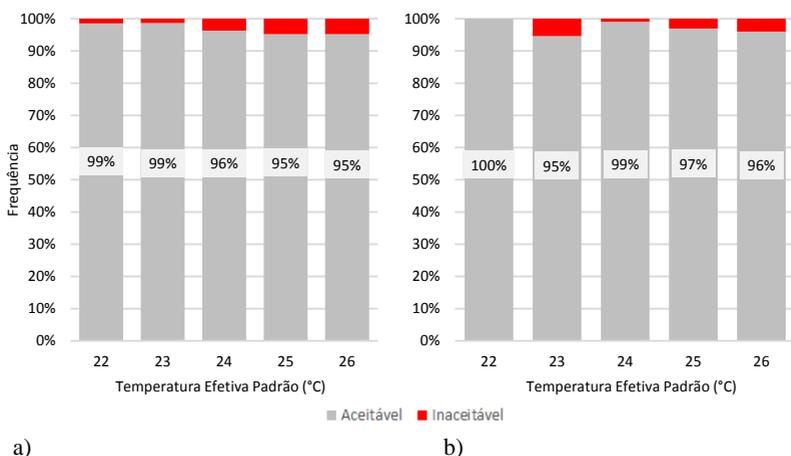
a) Analisando a comparação entre as médias dos votos de sensação térmica (Figura 61), tal comportamento pode ser observado de forma mais clara. No entanto, ao mesmo tempo em que a média de sensação térmica durante o modo de operação 1 (ar-condicionado desligado) cresce em conjunto, e progressivamente com a temperatura efetiva padrão, a média de sensação térmica durante o modo de operação 2 (ar condicionado ligado) permanece na escala negativa durante todo o intervalo analisado (22°C a 26°C).

Figura 61. Diferenças na sensação térmica média em edificações mistas considerando os votos provenientes dos modos de operação 1 e 2.



O comportamento da aceitabilidade térmica entre os diferentes modos de operação das edificações novamente apresentou números muito próximos daqueles encontrados nas barras representadas pelos votos de sensação térmica na escala considerada como conforto ( $\pm 1$  na escala sétima, Figura 60). Destaca-se ainda o crescimento gradativo dos votos de inaceitabilidade térmica durante a operação da ventilação natural, ao mesmo tempo em que se observa uma despadroneização destes votos nos períodos de operação do condicionamento artificial (Figura 62). Este comportamento já foi observado anteriormente neste trabalho, e por De Vecchi (2011), que realizou experimentos de campo em salas de aula onde se avaliou o efeito da alta velocidade do ar provocada por ventiladores de teto, com e sem a operação do condicionamento artificial.

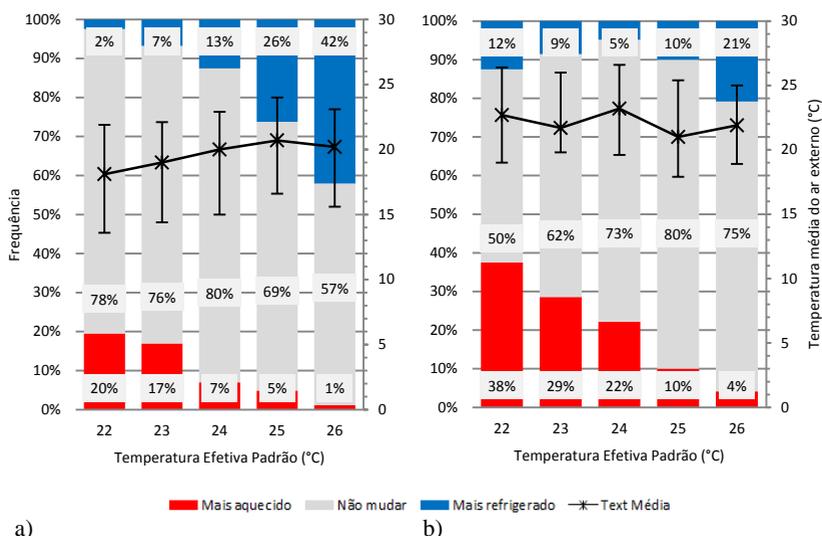
Figura 62. Frequência de votos de aceitabilidade térmica de acordo com o SET\* durante o modo de operação 1 (a), e durante o modo de operação 2 (b).



Ao analisarem-se os votos de preferência térmica, as diferenças encontradas nas análises anteriores são ainda mais evidentes. Enquanto a preferência térmica por um ambiente mais refrigerado evolui gradativamente no modo de operação 1 (Figura 63a), atingindo 42% dos votos no agrupamento de 26°C (SET\*), a preferência por um ambiente mais aquecido no modo de operação 2 (Figura 63b) inicia em 38% e decresce progressivamente até atingir 4% no agrupamento em 26°C. É importante ressaltar que mesmo que a temperatura do ar externo média seja superior durante o modo de operação 2, os ocupantes ainda assim

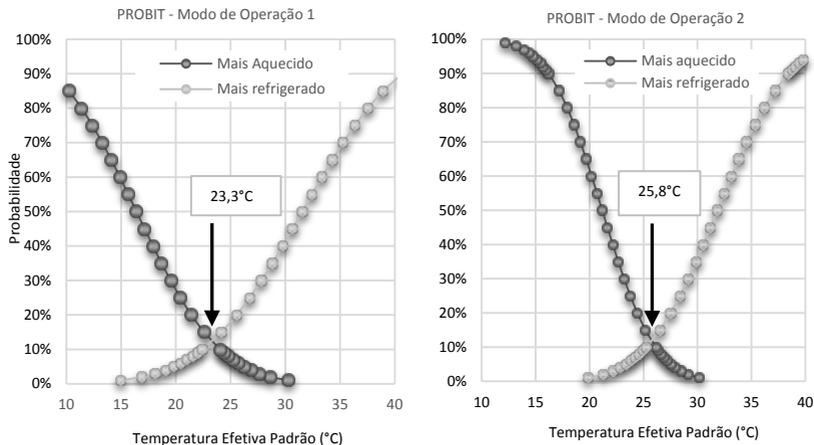
optariam por um ambiente mais aquecido. Tal resultado provavelmente ocorre devido à estação do ano e à expectativa de conforto. A maior percentagem de usuários que preferiria não mudar o ambiente durante a utilização da ventilação natural é observada na barra de 24°C. No modo de operação 2, essa mesma percentagem é atingida em 25°C.

Figura 63. Comportamento dos votos de preferência térmica de acordo com as faixas de SET\* durante o modo de operação 1 (a), e durante o modo de operação 2 (b).



A análise *probit* a partir dos modelos de regressão provenientes de dados em ambos os modos de operação, e considerados separadamente, reforça as diferenças já encontradas nos resultados de preferência térmica e apresentam diferença de 2,6K no valor da temperatura preferida. De acordo com os resultados da Figura 64, a temperatura neutra preferida (SET\*) encontrada para o grupo exposto à ventilação natural é de 23,3°C, enquanto no grupo exposto ao condicionamento artificial este valor é de 25,8°C. Em ambos os grupos, os coeficientes do modelo de regressão linear responderam bem aos dados de entrada (teste-z e nível descritivo,  $p < 0,001$ ).

Figura 64. Modelo de análise *PROBIT* a partir dos votos de preferência térmica provenientes de ambos os modos de operação em edificações mistas.



### 4.3.3 Aceitabilidade e preferência da velocidade do ar

O comportamento dos votos a respeito da aceitabilidade e preferência da velocidade do ar analisados de acordo com o modo de operação das edificações mistas deste bloco de análises seguiu um comportamento muito parecido àquele encontrado nas comparações entre os dois tipos de edificações do item 4.2. A Figura 65 apresenta os votos de aceitabilidade da velocidade do ar de acordo com a temperatura efetiva padrão, durante o modo de operação 1 à esquerda e 2 à direita. Observa-se que a inaceitabilidade relacionada à velocidade do ar cresce à medida que o valor de SET\* aumenta no modo de operação 1 (ventilação natural). No modo de operação 2, aceitabilidade atingiu 100% dos votos no intervalo de 25°C a 26°C (ar-condicionado).

Uma das possíveis causas para tal inaceitabilidade durante os períodos de ventilação natural se deve ao baixo valor da velocidade do ar observado nas edificações analisadas. A inaceitabilidade ressaltada durante a operação do condicionamento artificial provavelmente ocorre devido à maior velocidade do ar para este tipo de ambiente (climatização), caracterizando o desconforto local causado pelas correntes de ar indesejadas (Figura 66). No entanto, a grande maioria dos ocupantes apontou baixa velocidade do ar em todas as barras de temperatura efetiva padrão analisadas, e em ambos os modos de operação. Tal resultado foi também observado nas análises que

consideraram a edificação com condicionamento central e as edificações com sistemas mistos.

Figura 65. Frequência de votos de aceitabilidade relacionada à velocidade do ar de acordo com os valores de SET\* durante o modo de operação 1 (a), e durante o modo de operação 2 (b).

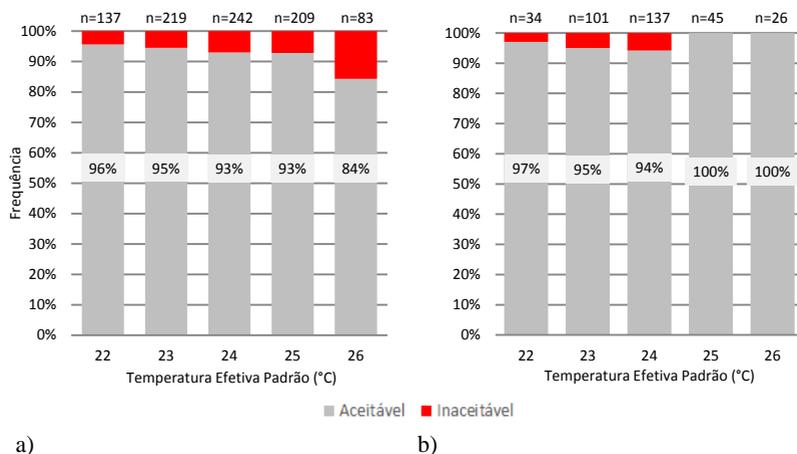
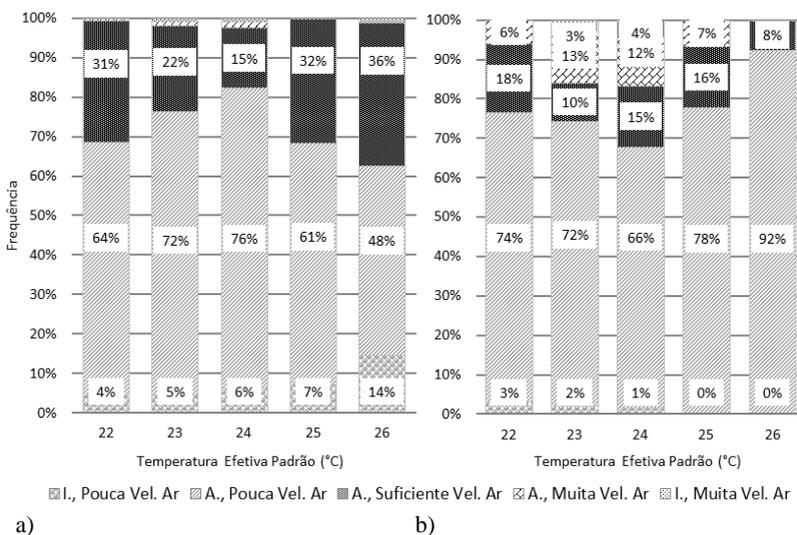
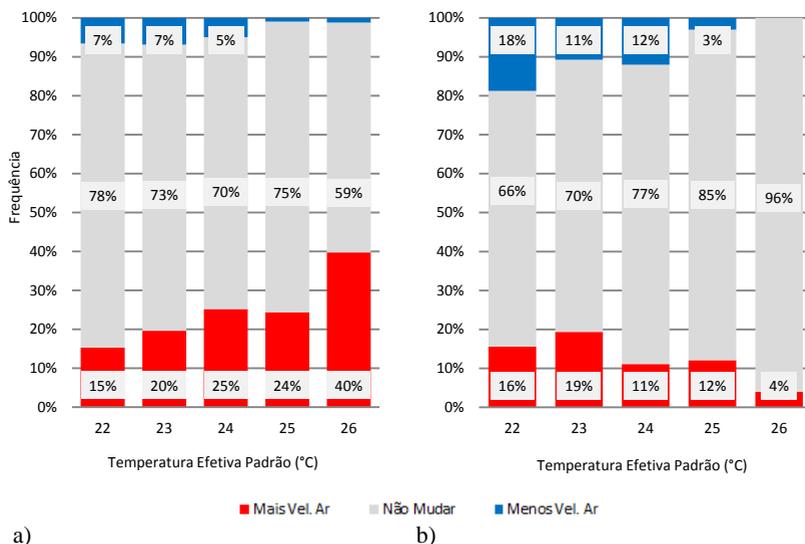


Figura 66. Aceitabilidade relacionada à velocidade de acordo com os valores de SET\* durante o modo de operação 1 (a), e durante o modo de operação 2 (b).



A preferência pela velocidade do ar novamente tendeu a valores mais elevados durante a operação da ventilação natural (Figura 67a), ao mesmo tempo em que se observou leve preferência por valores mais baixos nos agrupamentos de 22°C a 24°C. No modo de operação 2, observa-se uma frequência maior de votos na escala de preferência por velocidades mais baixas (Figura 67b). Ambas as frequências de votos para mudanças nos valores de velocidade do ar durante a utilização do ar-condicionado ocorrem de forma desordenada quando comparadas às frequências observadas no modo de operação 1, que diminuem a medida que o valor de SET\* aumenta.

Figura 67. Preferência pela velocidade do ar de acordo com os valores de SET\* durante o modo de operação 1 (a), e durante o modo de operação 2 (b).



#### 4.3.4 Discussão

Este bloco de análises tratou da operação de edificações mistas, apresentando também as diferenças encontradas entre os votos de sensação, aceitabilidade e preferência térmica de acordo com os diferentes modos de operação observados (com ou sem a utilização do condicionamento artificial). Além disto, analisaram-se os votos de sensação e preferência da velocidade do ar de acordo com a utilização do condicionamento artificial e a ventilação natural.

Inicialmente, observou-se que a utilização do ar-condicionado em edificações mistas ocorreu em grande parte nos períodos mais quentes de outono, primavera e em todos os dados levantados durante o verão. No entanto, no período de inverno os ocupantes continuaram a acionar o condicionamento artificial, mas em uma quantidade de vezes inferior às outras estações. Nesta pequena amostra de dados analisada, a utilização do condicionamento artificial ocorreu sempre durante o período da tarde, e apresentou pouca relação com a temperatura média do ar externo diária, que em alguns casos chegou a ser inferior a 18°C; na realidade, estes casos isolados apresentaram forte relação com a “temperatura máxima diária” registrada. Verificou-se ainda que a temperatura média dos dias anteriores ao dia em que o condicionamento artificial foi utilizado pode estar relacionada à utilização do condicionamento artificial nos períodos mais frios, fazendo com que a influência da memória térmica no comportamento do usuário seja também um fator de destaque neste trabalho (neste caso, a temperatura média externa dos dias anteriores é diferente da temperatura média predominante do ar externo).

Analisando os votos de sensação térmica média, notou-se que em quase 100% dos casos onde o ar-condicionado estava em operação, os valores registrados eram negativos (abaixo de neutro); ao contrário do que se verificou nas vezes em que a temperatura efetiva padrão ultrapassou 25°C sem que o ar-condicionado fosse utilizado, e o voto de sensação térmica média se localizou sempre na escala positiva (acima de neutro). Estes resultados se refletem nas análises de conforto térmico vs. sensação térmica, onde se observou que durante a operação do condicionamento artificial, a sensação de calor não gerou alta porcentagem de desconforto no grupo de votos +1 e +2 (17%), enquanto durante os períodos em que a ventilação natural estava presente, a sensação de frio (-1 e -2) resultou em apenas 12% de desconforto. Tanto para a sensação, como para aceitabilidade e preferência térmica e da velocidade do ar observada entre os modos de operação 1 e 2, os resultados encontrados foram muito semelhantes àqueles observados no bloco de análises que comparou edificações condicionadas por um sistema central com as edificações de sistemas mistos. No entanto, quando a temperatura preferida da edificação com sistema central é comparada à temperatura preferida durante o modo de operação 1 de edificações com sistema misto, a diferença é superior a 1K (24,5°C na ESC, e 23,3°C em ESMs durante a operação do ar condicionado). Uma das possíveis explicações para este comportamento poderia estar relacionada ao tamanho da amostra observada durante a utilização do

condicionamento artificial nestas edificações ( $n = 402$ ). É necessário considerar também que, supostamente, os ocupantes acionam o condicionamento artificial em situações de desconforto térmico, o que geralmente faz com que eles utilizem um *setpoint* baixo de forma equivocada buscando amenizar a situação de forma rápida. Com o passar do tempo, esta situação pode inclusive extrapolar o limite de “leve desconforto por frio” e chegar a uma situação predominante de votos “com frio” ou “com muito frio”.

Assim, durante a operação do condicionamento artificial, os ocupantes apresentaram sensação térmica média abaixo de zero, e a preferência por um ambiente mais aquecido predominou nestes casos. Ao contrário dos votos coletados durante a operação da ventilação natural, onde as médias eram positivas e houve preferência predominante por um ambiente mais refrigerado. Se analisado um ponto de encontro entre estas duas situações, este seria representado por um SET\* de 24,5°C; neste ponto seriam obtidos 80% de votos de preferência por “nenhuma mudança” em ambos os modos de operação. Portanto, considerando-se os valores discutidos para a utilização do condicionamento artificial, e o ponto de encontro a partir do qual se atinge 80% de satisfação dos ocupantes sem que nenhuma mudança seja necessária, conclui-se que o limite ideal para o acionamento do ar-condicionado e a não utilização da ventilação natural seria algo próximo de 24,5°C (SET\*). Ou seja, abaixo de 24,5°C se priorizaria o uso da ventilação natural, e acima deste limite a utilização do condicionamento artificial. Esta conclusão é adequada para edificações como as analisadas neste trabalho, além de contexto climático semelhante.

Ainda, é interessante observar que em ambos os tipos de edificação analisadas (1 e 2), e durante a operação do condicionamento artificial, existe boa aceitação da temperatura efetiva padrão próxima de 25°C e 26°C. Tais resultados se estendem aos votos de preferência térmica, destacando-se que, em edificações mistas e sob a operação do ar-condicionado, as temperaturas de 25°C e 26°C foram aquelas que apresentaram maior frequência de votos para que a condição térmica não fosse mudada. A verificação destes resultados é consistente com os valores observados por De Vecchi, Cândido e Lamberts (2013), que analisaram a aceitabilidade térmica de estudantes em salas de aula durante a operação do ar condicionado e ventiladores de teto simultaneamente. Os autores afirmaram que em ambientes condicionados artificialmente os usuários podem aceitar, e até preferir velocidades do ar acima de 0,90 m/s, quando associadas aos valores de temperatura operativa mais elevados - entre 25°C e 28°C. Tal cenário

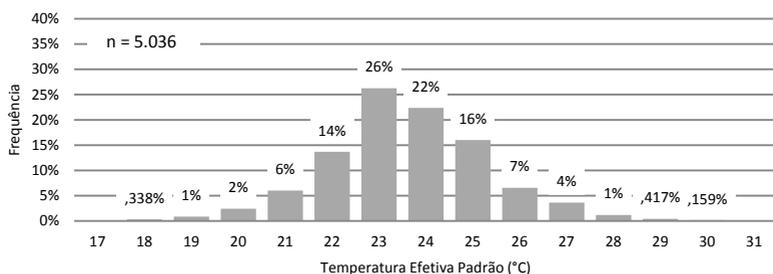
sugere um grande potencial de economia energética em ambos os tipos de edificações, já que de acordo com Hoyt, Arens e Zhang (2015), a mudança de temperatura de *setpoint* de 22°C para 25°C em edificações condicionadas artificialmente pode representar até 30% de economia no consumo energético final. Ainda de acordo com Zhai et al. (2015), edificações comerciais mistas que possuem ventiladores de teto poderiam estender a aceitabilidade térmica sem recorrer ao condicionamento artificial até próximo de 28°C, apenas incrementando da velocidade do ar.

#### 4.4 INDICADORES ANTROPOMÉTRICOS ASSOCIADOS AO CONFORTO TÉRMICO

Para as análises que buscaram averiguar a influência de características antropométricas associadas ao conforto térmico, utilizou-se um banco de dados com um volume amostral significativamente maior quando comparado ao anterior. Este banco de dados uniu os resultados provenientes de experimentos de campo desta tese em conjunto com os dados obtidos nos experimentos de campo realizados em salas de aula no ano de 2009, conduzidos pela mesma pesquisadora com método similar (DE VECCHI, 2011). Tal procedimento foi adotado com o objetivo de expandir o tamanho da amostra de dados, e diversificar ainda mais as características antropométricas dos ocupantes, possibilitando assim análises mais completas. O tipo de edificação ou o sistema de climatização ambiental em operação foram ignorados nesta parte dos resultados, já que pouca relevância têm em relação ao foco principal das análises.

Assim, os dados utilizados no desenvolvimento deste bloco de análises somaram 5.036 votos, provenientes de 1.161 usuários que participaram do experimento durante três estações no ano de 2009 (primavera, verão e outono), e em todas as quatro estações do ano de 2014 (embora o volume de dados seja maior durante o outono e o inverno). A Figura 68 apresenta a frequência de votos disponíveis de acordo com a temperatura efetiva padrão observada. O maior volume de dados se concentra entre o intervalo de 22°C a 25°C (SET\*), e a amostra é considerada válida entre 20°C e 27°C.

Figura 68. Frequência dos valores de temperatura efetiva padrão observados a partir do novo volume de dados amostrais considerado.



A Tabela 10 apresenta a descrição estatística das características individuais da amostra total de dados. Ainda que alguns valores mínimos e máximos da caracterização antropométrica dos ocupantes permaneçam idênticos aos observados na Tabela 8 do item 4.1, verifica-se que as médias e desvios padrões de fatores individuais em alguns casos apresentam alteração, como a vestimenta, o peso e a idade. É importante ressaltar que a atividade metabólica de ambos os estudos é semelhante (entre 1,0 e 1,2 met).

Tabela 10. Descrição estatística das características individuais de ocupantes envolvidos na amostra total de dados.

	Idade (anos)	Altura (m)	Peso (kg)	Vestimenta (clo)	Metabolismo (met)
Mínima	17	1,50	39	0,23	1,0
Máxima	68	1,97	130	1,49	1,4
Média	31	1,70	70	0,58	1,0
D.P.	± 12	± 0,10	± 14	± 0,20	± 0,1

A distribuição da frequência de votos de acordo com o gênero e a idade dos participantes, agrupadas em intervalos de 10 anos, pode ser observada na Figura 69. Dentre os votos analisados, 48% são de ocupantes do sexo feminino e 52% do sexo masculino. Grande parte dos dados analisados se localiza entre o intervalo de 20 a 30 anos. De acordo com a Figura 70, o índice de massa corporal dos participantes está diretamente relacionado à faixa etária, já que a frequência de ocupantes abaixo do peso e com o peso normal é maior em grupos mais jovens (20 - 30 anos); em grupos acima de 50 anos observa-se a predominância de pessoas acima do peso ou com características de obesidade.

Figura 69. Caracterização dos participantes de acordo com o gênero e faixa etária.

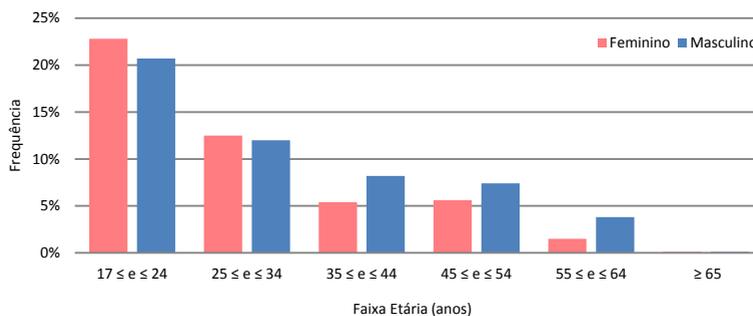
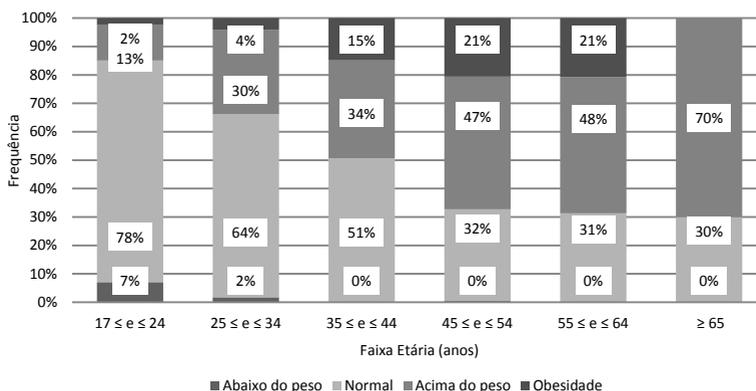


Figura 70. Caracterização dos participantes de acordo com a classe de peso e faixa etária considerada.



#### 4.4.1 Gênero

A primeira característica pessoal analisada nesta parte dos resultados é o gênero. O número total de votos (5.036) foi dividido entre o grupo masculino e feminino; assim, investigaram-se os votos de sensação e preferência térmica, e de exposição prévia com base nos agrupamentos de SET\*. Os votos de aceitabilidade térmica de ambos os grupos foram descartados por se tratarem de dados que não apresentam diferenças significativas quando comparados aos dados de sensação térmica do intervalo de conforto ( $\pm 1$ ), como discutido anteriormente. Da

mesma forma, foram descartados os dados de aceitabilidade e preferência pela velocidade do ar, que por se tratarem de experimentos com abordagens diferentes, estão fora de contexto. Tal procedimento foi adotado em todos os grupos analisados neste item dos resultados. Ainda, os gráficos das análises *probit* que consideraram as diferentes características pessoais foram discutidos apenas durante o texto, e as figuras movidas para o **Apêndice G**.

#### 4.4.1.1 Sensação e preferência térmica

As diferenças entre os votos de sensação térmica dos grupos masculino e feminino são apresentadas nas Figuras 71 e 72. A partir da análise da frequência de votos entre ambos os grupos, é possível observar uma proporção maior de votos de desconforto por calor no grupo masculino, que chega a 22% no agrupamento de dados de SET\* próximos a 27°C, e 6% no grupo feminino. Ainda considerando o grupo masculino, o desconforto causado pelo frio não ultrapassou 2% em nenhuma das situações. No grupo de votos femininos, observou-se uma frequência de votos bem menor na escala de desconforto por calor, que é próxima da frequência de votos de desconforto por frio em alguns intervalos (Figura 72). Embora estas diferenças na faixa de desconforto por frio entre homens e mulheres sejam mínimas, a Figura 73 mostra que a grande maioria dos votos coletados nestes intervalos (-3 e -2) é proveniente de ocupantes do gênero feminino. Os votos masculinos aparecem em uma frequência maior na escala de desconforto por calor (+3 e +2).

Figura 71. Frequência de votos na escala de sensação térmica de acordo com o SET\* no grupo de ocupantes do gênero masculino.

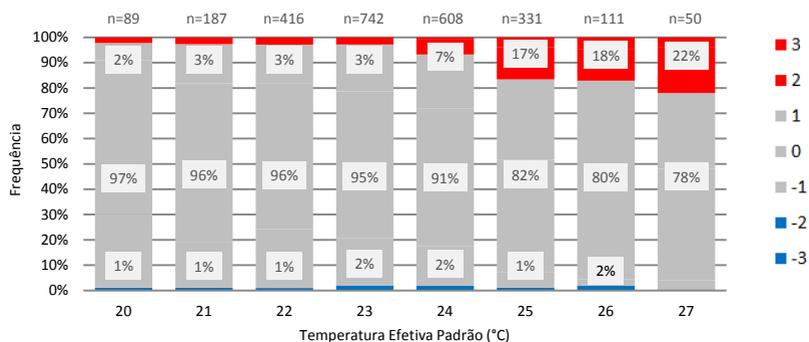


Figura 72. Frequência de votos na escala de sensação térmica de acordo com o SET\* no grupo de ocupantes do gênero feminino.

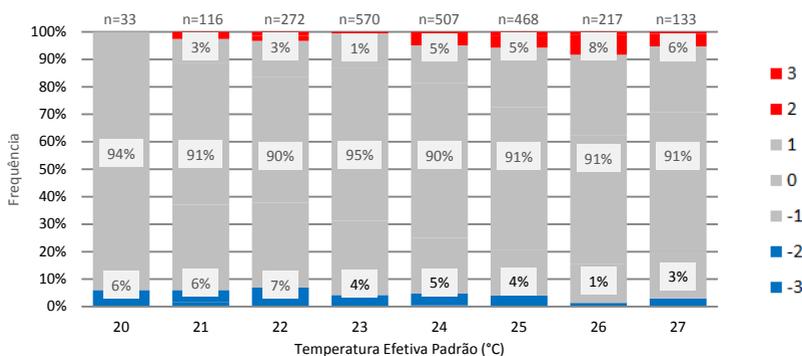
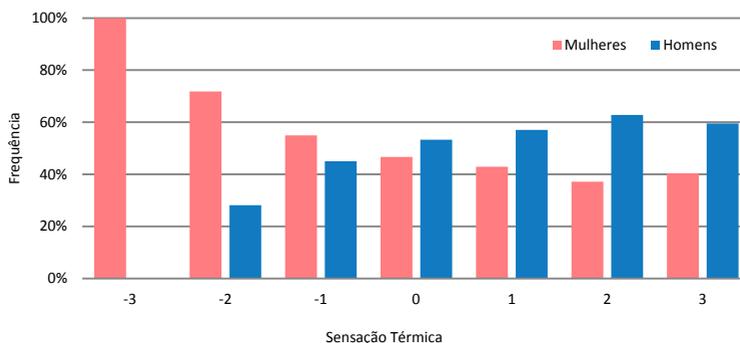
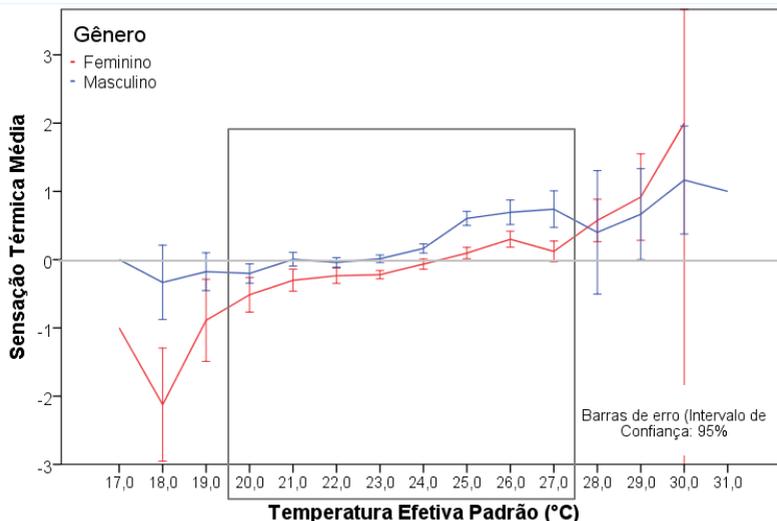


Figura 73. Frequência dos votos de sensação térmica entre homens e mulheres.



Analisando o comportamento das médias dos votos de sensação térmica entre homens e mulheres a partir dos valores de SET\* considerados (20°C a 27°C), é possível concluir que tais diferenças são significativas e se tornam levemente maiores nas extremidades, à medida que o valor da temperatura efetiva padrão aumenta ou diminui (Figura 74).

Figura 74. Comparação das médias entre os votos de sensação térmica em função do SET\* de ocupantes do gênero masculino e feminino.



A análise dos votos de preferência térmica apontou diferenças ainda mais significativas entre os dois grupos investigados. Dentre os votos de ocupantes do sexo masculino (Figura 75), observa-se que em nenhuma das situações de SET\* atingiu-se mais que 73% de preferência para que a atual condição do ambiente não fosse mudada. A principal causa de desconforto neste grupo de ocupantes é, em sua grande maioria, o calor; a proporção de votos por um ambiente mais refrigerado atingiu um valor máximo (44%) quando a temperatura efetiva padrão chegou em 27°C. Também neste grupo, observa-se que a preferência por um ambiente mais refrigerado é sempre superior a 10% dos votos, desde o valor inicial considerado (SET\* de 21°C). No grupo feminino (Figura 76), a preferência térmica ocorre em maior porcentagem na escala vermelha, representada pelo voto “mais aquecido”. O comportamento deste grupo apresenta dispersões que podem estar ligadas à sensibilidade das mulheres às condições climáticas externas, lembrando que valores de SET\* baixos podem representar a utilização do ar-condicionado. Se analisados pontualmente os dados provenientes do agrupamento em 27°C (SET\*), verificou-se que o condicionamento artificial estava em operação em 100% dos casos de preferência por um ambiente “mais aquecido” – 33%. Os valores médios das variáveis consideradas no cálculo do SET\* deste grupo de votos foram:  $T_{bs}$  24,0°C,  $V_{ar}$  0,11 m/s,

UR de 51%, 1,1 clo e 1,0 met. No agrupamento em 21°C, observou-se clo médio de  $0,59 \pm 0,21$  no grupo feminino, e  $0,57 \pm 0,21$  no grupo masculino.

Figura 75. Preferência térmica de acordo com a escala de valores de SET\* no grupo masculino.

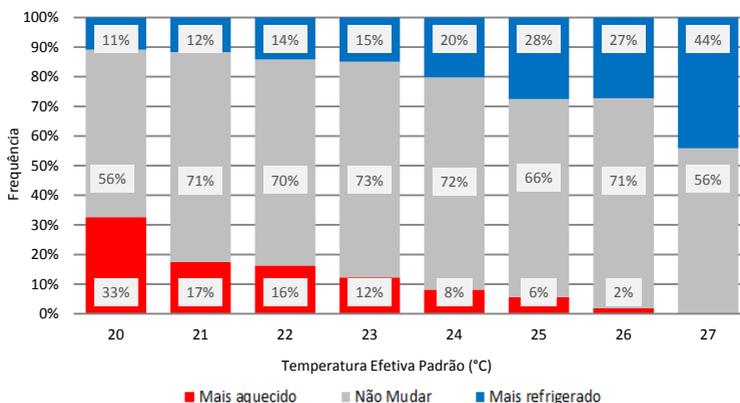
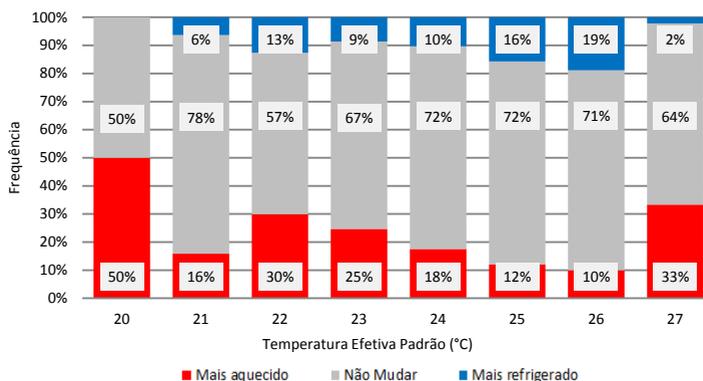


Figura 76. Preferência térmica de acordo com a escala de valores de SET\* no grupo feminino.

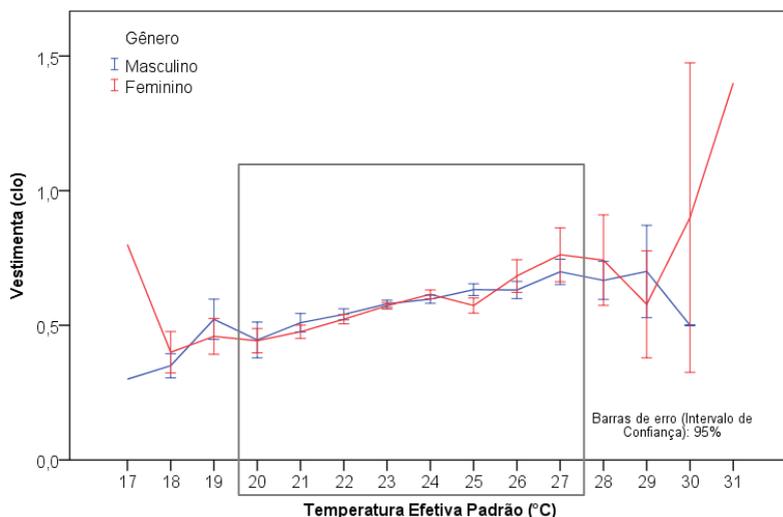


A diferença entre homens e mulheres é também significativa nos resultados da análise *probit*, sugerindo que a diferença entre a temperatura preferida de ambos os grupos é de aproximadamente 3,0K. De acordo com o modelo de regressão, a intersecção entre os votos de preferência por um ambiente “mais aquecido” e “mais refrigerado” no grupo masculino acontece próxima de 22,3°C, enquanto no grupo

feminino a mesma intersecção ocorre em 25,5°C. Os coeficientes do modelo de regressão linear responderam bem em ambos os grupos analisados (teste- $z$  e nível descritivo,  $p < 0,001$ ), e as figuras relativas a esta análise se encontram no **Apêndice G**.

Para descartar a possibilidade de interferência relacionada ao clo de ocupantes do gênero feminino e masculino nos votos de sensação e preferência térmica, a média da vestimenta entre os dois grupos em função da temperatura efetiva padrão (SET\*) foi comparada e apresentada na Figura 77. Destaca-se que, para o intervalo analisado de SET\*, a média do isolamento da vestimenta é muito próxima, e não é significativamente diferente em nenhum dos agrupamentos considerados ( $p < 0,01$ ), com exceção do ponto onde o SET\* corresponde a 25°C, e a média do clo masculino é levemente superior que a média do clo feminino (0,58 masculino vs. 0,62 feminino).

Figura 77. Comparação do clo médio entre os ocupantes do gênero masculino e feminino em função da escala de valores de SET\*.



#### 4.4.1.2 Influência da memória térmica

Analisando os dados de exposição prévia dentre os grupos de mulheres e homens, nenhuma diferença relacionada à proporção dos votos “com e sem exposição prévia” foi observada (Figura 78). No entanto, a maior parte dos ocupantes que participaram do experimento

relatou exposição prévia ao condicionamento artificial (62% vs. 38%). Quando questionados a respeito de sua preferência com relação à climatização de ambientes (Figura 79), verificou-se que no grupo feminino grande parte dos ocupantes prefere estratégias que utilizam como princípio básico a velocidade do ar, ao invés da refrigeração artificial (55% preferem a utilização da ventilação natural ou sua combinação com o uso de ventiladores de teto). Dentre o grupo masculino, ficou clara a preferência pela utilização do ar-condicionado ao invés do aproveitamento da ventilação natural, combinada ou não ao uso de ventiladores de teto (65% vs. 35%).

Figura 78. Exposição prévia entre os ocupantes de diferentes gêneros.

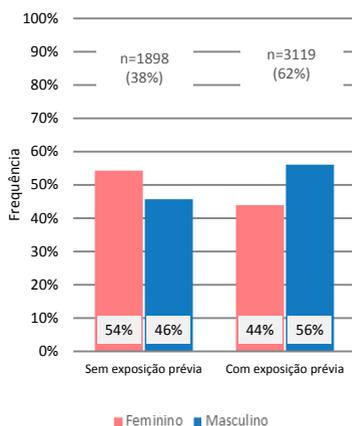
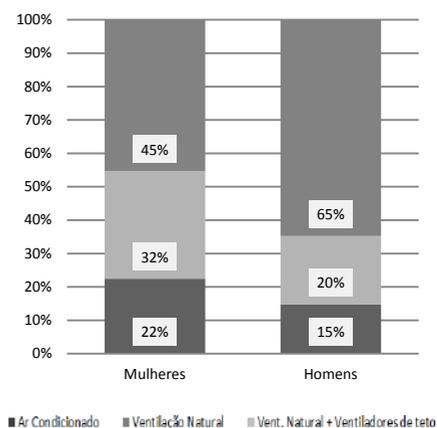


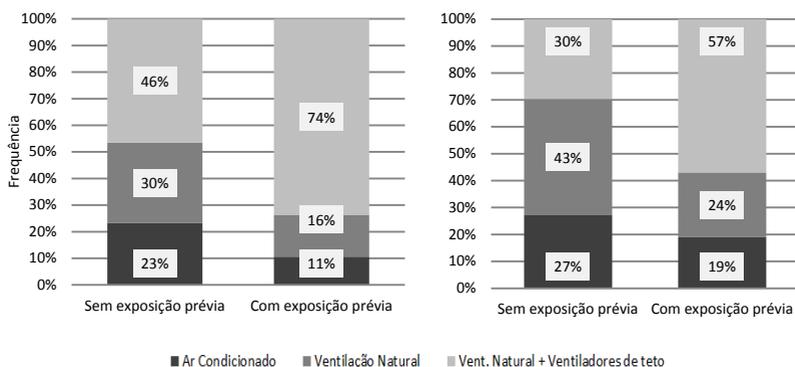
Figura 79. Preferência pela estratégia de climatização entre os ocupantes de diferentes gêneros.



Cruzando-se os votos de exposição prévia com os votos de preferência pela estratégia de climatização, e filtrando pelos diferentes grupos de análise, verificou-se que a exposição prévia, independentemente do grupo analisado - assim como o tipo de edificação, e o modo de operação - é o fator que mais influencia nas respostas dos ocupantes. Tal fenômeno ocorreu tanto no grupo masculino (Figura 80a), quanto no grupo feminino (Figura 80b), embora em diferentes proporções. A preferência pelo condicionamento artificial no grupo masculino sobe de 46% para 74% quando existe exposição prévia. No grupo feminino, observa-se que este número passa de 30% para 57%. É interessante notar que em ambos os grupos sem exposição prévia (tanto homens quanto mulheres), a preferência pela utilização da

ventilação natural combinada ao uso de ventiladores de teto é maioria no conjunto que prefere estratégias relacionadas à velocidade do ar para climatização ambiental. No entanto, a combinação da ventilação natural com o uso de ventiladores de teto é raramente encontrada em ambientes comerciais no Brasil, sendo mais comum no ambiente residencial.

Figura 80. Preferência pelo sistema de climatização de acordo com exposição prévia ao condicionamento artificial no grupo masculino (a) e feminino (b).



## 4.4.2 Idade

### 4.4.2.1 Sensação e preferência térmica

O segundo bloco de análises deste item considerou a influência da idade na percepção de conforto térmico de acordo com grupos etários distintos. Assim, os votos foram agrupados considerando três faixas etárias pré-determinadas pela pesquisa: 1) ocupantes com idade inferior a 30 anos; 2) ocupantes entre 31 e 50 anos; e 3) ocupantes acima de 51 anos. Analisando-se os votos de sensação térmica em conjunto, pouca diferença pode ser observada entre os grupos. No entanto, é possível notar que a frequência de votos de desconforto por calor é levemente superior na Figura 81, relativa aos votos do grupo etário 1. Em todas as situações, observa-se que os votos de conforto térmico (barra cinza,  $\pm 1$ ) representam a maioria em todos os grupos, ocorrendo em maior porcentagem nas temperaturas de 22°C e 23°C (Figuras 81, 82 e 83).

Figura 81. Sensação térmica de ocupantes do grupo etário 1 (< 30 anos) de acordo com o SET\* interno.

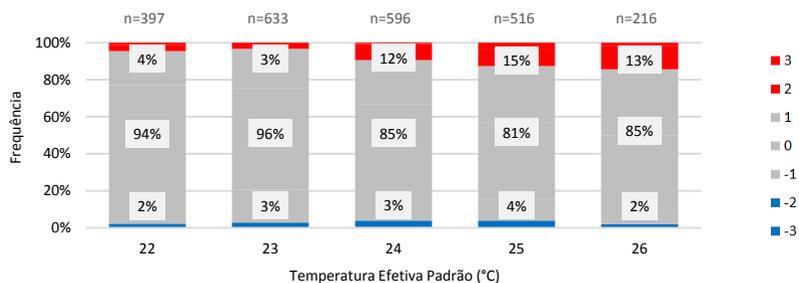


Figura 82. Sensação térmica de ocupantes do grupo etário 2 (entre 31 e 50 anos) de acordo com o SET\*.

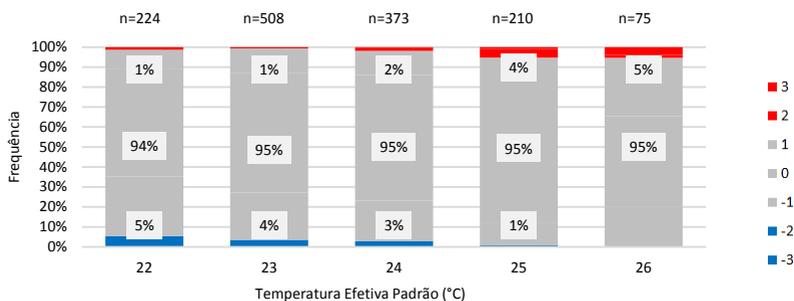
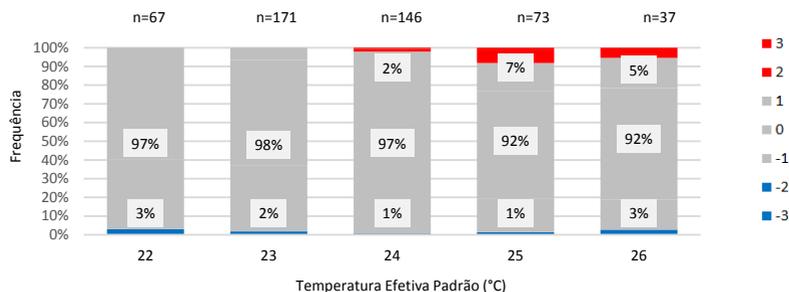


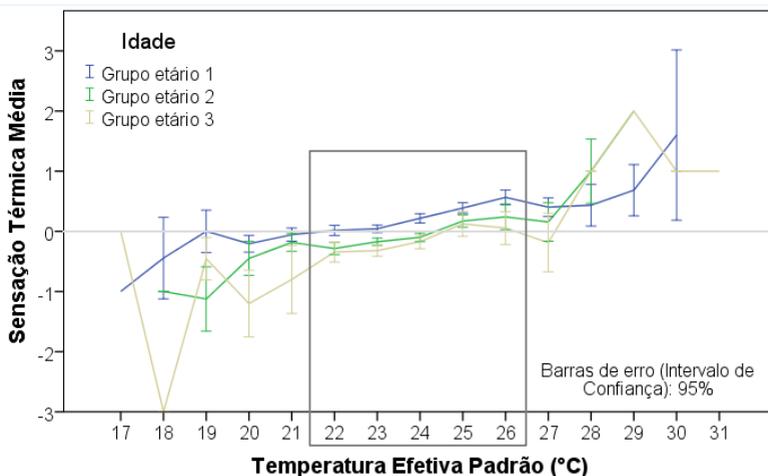
Figura 83. Sensação térmica de ocupantes do grupo etário 3 (> 51 anos) de acordo com SET\*.



Analisando o comportamento entre as médias dos votos de sensação térmica em função da escala de SET\* definida para este grupo de dados, observa-se um deslocamento significativo entre a linha

representada pelo grupo etário 1 comparada à linha referente aos grupos etários 2 e 3, que se sobrepõem em diversos momentos (Figura 84). Os grupos etários 2 e 3 apresentaram valor médio abaixo da escala neutra (linha cinza) em boa parte do intervalo de análise (22°C a 26°C), cruzando o eixo quase que simultaneamente - entre o intervalo de 24°C e 25°C. O grupo etário 1 cruza o eixo de neutralidade térmica entre 21°C e 22°C.

Figura 84. Comportamento da média dos votos de sensação térmica entre os grupos etários e o SET\*.



As análises de preferência térmica destes grupos apresentaram comportamento similar ao observado nos votos de sensação térmica, com diferenças significativas apenas entre os ocupantes do grupo etário 1 em comparação ao 2 e 3. De acordo com as Figuras 85, 86 e 87, o grupo etário 1 apresenta predominância de votos na escala “mais refrigerado”, enquanto os grupos 2 e 3 apresentam uma distribuição mais homogênea entre a quantidade de votos por um ambiente “mais aquecido” no início e “mais refrigerado” no final.

Figura 85. Votos de preferência térmica de acordo com os valores de SET\* no grupo etário 1.

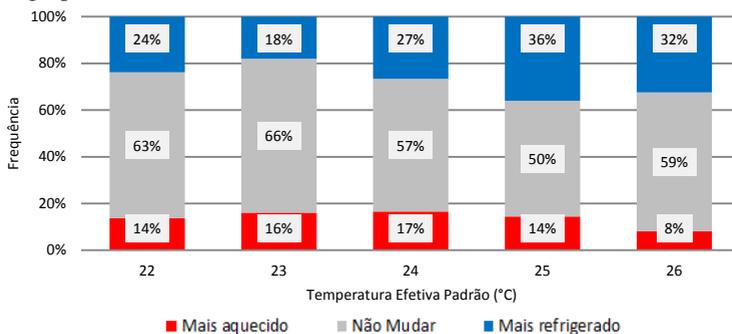


Figura 86. Votos de preferência térmica de acordo com os valores de SET\* no grupo etário 2.

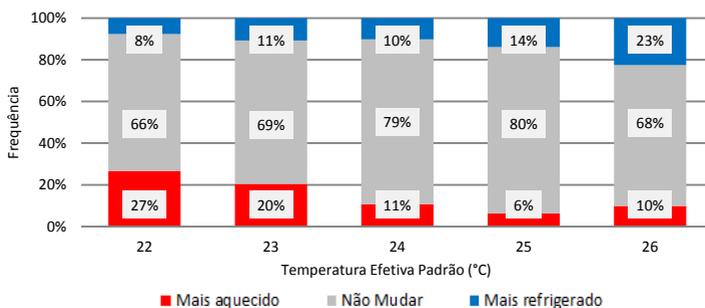
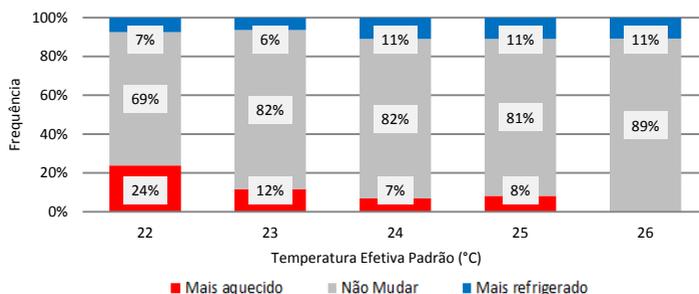


Figura 87. Votos de preferência térmica de acordo com os valores de SET\* no grupo etário 3 (> 50 anos).



A análise dos modelos de regressão *probit* entre as três faixas etárias reforçou tal diferença entre o grupo 1 em comparação aos

demais, apontando valores de temperatura neutra preferida (SET\*) de 21,1°C entre os ocupantes do grupo 1; 24,5°C entre os ocupantes do grupo 2; e 24,4°C entre os ocupantes do grupo 3.

#### 4.4.2.2 Influência da memória térmica

A Figura 88 apresenta a relação entre os diferentes grupos etários analisados e a existência ou não de exposição prévia ao condicionamento artificial. É possível observar que dentre os ocupantes do grupo etário 2, a proporção de dados com e sem exposição prévia é muito próxima. Nos grupos 1 e 3 observa-se predominância de dados no lado direito da figura, onde se verifica exposição prévia ao condicionamento artificial. Analisando a preferência destes ocupantes pela estratégia de condicionamento ambiental em dias mais quentes (Figura 89), é possível afirmar que a preferência pelo condicionamento artificial depende também da idade dos usuários, e cresce à medida que se adquire maior idade.

Figura 88. Exposição prévia entre grupos de diferentes faixas etárias.

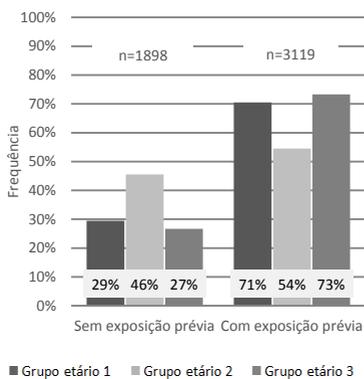
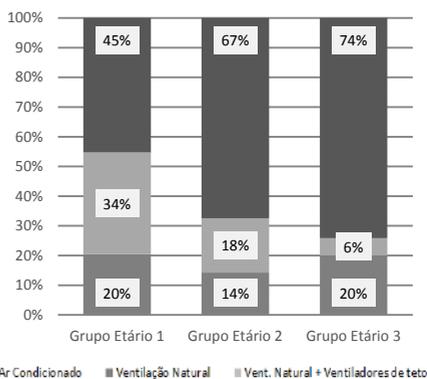
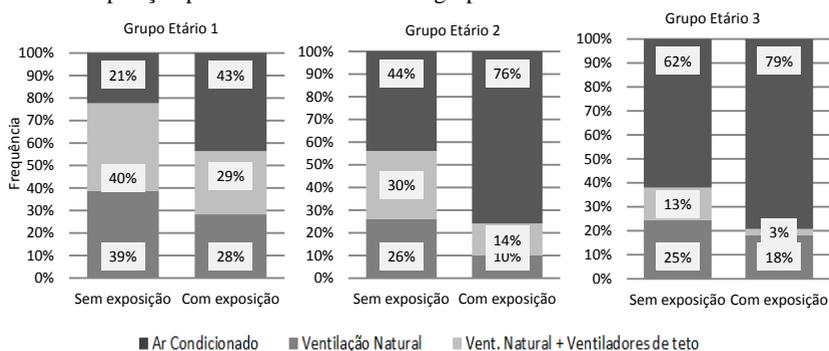


Figura 89. Preferência pelo sistema de climatização entre grupos de diferentes faixas etárias.



Analisando a preferência pelo sistema de climatização ambiental a partir do cruzamento entre os diferentes grupos etários e a existência (ou não) de exposição prévia ao condicionamento artificial (Figura 90), se observa mais uma vez que a proporção de pessoas que optam pela utilização do ar-condicionado é sempre maior naquele grupo que confirma a utilização de tais equipamentos rotineiramente. No entanto, esta preferência cresce em conjunto com a idade.

Figura 90. Preferência pelo sistema de climatização de acordo com a existência ou não da exposição prévia entre os diferentes grupos etários.



#### 4.4.3 Peso

Dentre as características pessoais analisadas neste estudo, a diferença relacionada ao peso dos ocupantes foi considerada e agrupada em função do Índice de Massa Corporal (IMC), reconhecido pela OMS<sup>3</sup> como a principal referência para classificação das diferentes faixas de peso. Desta forma, utilizaram-se as quatro principais classes de peso deste índice, inclusive aquela relativa à amostra de dados “abaixo do peso”, que embora demasiadamente pequena em relação às demais, foi aproveitada apenas para análises visuais e comparações em geral.

##### 4.4.3.1 Sensação e preferência térmica

Nas Figuras 91, 92, 93 e 94 são apresentados os efeitos das diferentes classes de peso nos votos de sensação térmica, analisados com base nos valores de SET\* que resultaram em tamanho amostral suficiente para as comparações (neste caso, entre 23°C e 26°C). Nenhuma diferença significativa foi observada entre as três últimas figuras (desconsiderando a análise visual do grupo abaixo do peso), embora a frequência de votos de desconforto por calor apresente leve aumento à medida que o índice de massa corporal dos ocupantes se desloca em direção à obesidade. No grupo de ocupantes “abaixo do peso”, nota-se apenas que a frequência de votos de desconforto por frio é maior que as demais.

<sup>3</sup> [http://www.who.int/gho/ncd/risk\\_factors/bmi\\_text/en/](http://www.who.int/gho/ncd/risk_factors/bmi_text/en/).

Figura 91. Sensação térmica de ocupantes classificados como “abaixo do peso”.

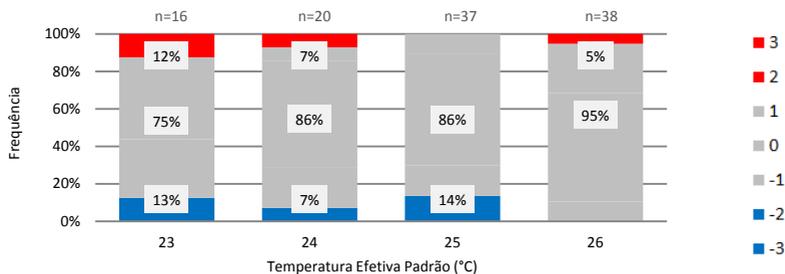


Figura 92. Sensação térmica de ocupantes classificados com o peso “normal”.

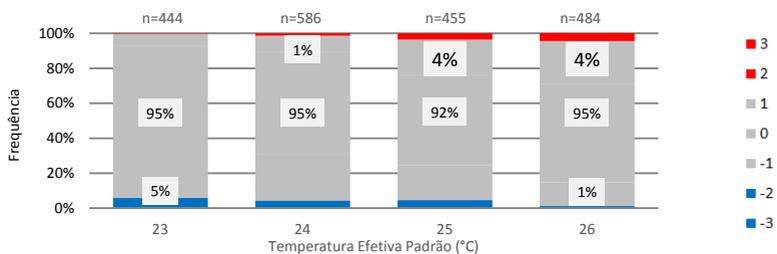


Figura 93. Sensação térmica de ocupantes na classificação “acima do peso”.

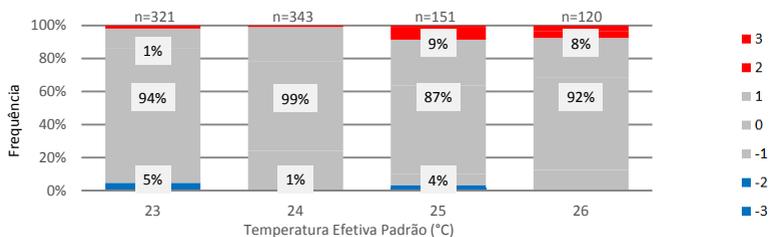
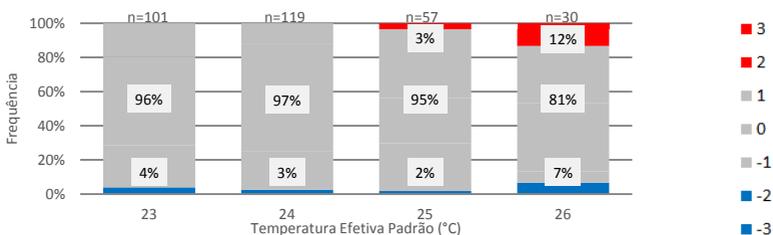
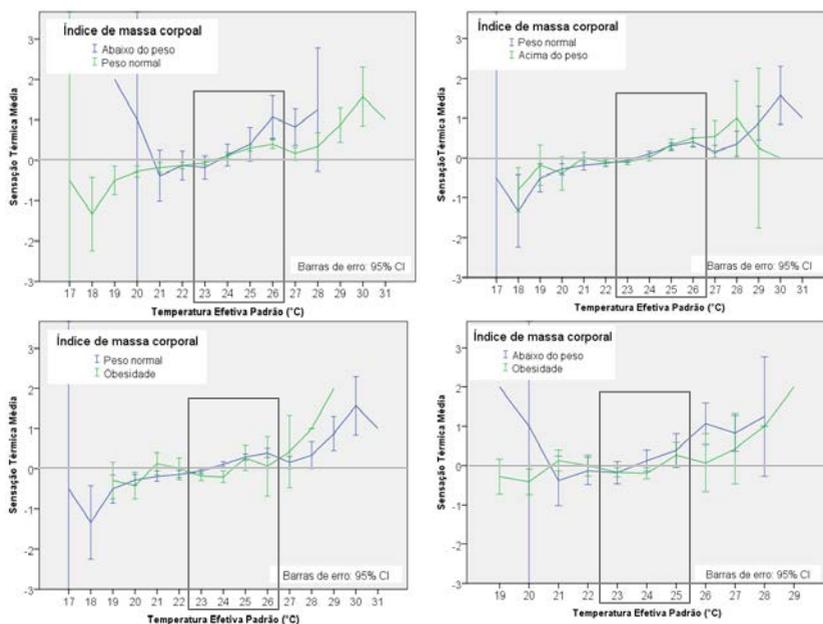


Figura 94. Sensação térmica de ocupantes classificados como “obesos”.



A dificuldade na visualização das quatro linhas referentes ao comportamento das médias dos votos de sensação térmica em função das diferentes faixas de peso em uma mesma figura levou à análise dos dados por meio de comparações individuais grupo a grupo, que seguiram a ordem: abaixo do peso vs. peso normal; peso normal vs. acima do peso; peso normal vs. obesidade; e abaixo do peso vs. obesidade. Dentre as comparações apresentadas na Figura 95, observa-se leve diferença nos valores das médias extremas (i.e. peso normal vs. obesidade e, abaixo do peso vs. obesidade). Nas duas primeiras imagens observa-se que as linhas relativas às médias de sensação térmica cruzam a neutralidade térmica em valores de temperaturas muito próximos, e tal fenômeno não ocorre nas demais figuras analisadas.

Figura 95. Votos de sensação térmica médios dentre os ocupantes de diferentes índices de massa corporal.



Embora tais análises referentes aos votos de sensação térmica não tenham acusado diferença alguma em termos estatísticos e em função das quatro classificações de IMC, quando os votos de preferência térmica são aferidos, as diferenças entre grupos são notáveis. A começar

pele grupo de ocupantes com peso normal (Figura 97), que demonstrou ser aquele que apresenta comportamento com maior proporcionalidade entre os votos de “mais aquecido” e “mais refrigerado”. A partir da Figura 98, observa-se que a frequência de votos por um ambiente “mais refrigerado” começa a aumentar consideravelmente, e se torna predominante no grupo de ocupantes classificados como obesos (Figura 99). Percebe-se ainda que a maior quantidade de votos que preferem “não mudar” a condição atual do ambiente no grupo de ocupantes com peso normal ocorre entre o intervalo de 24°C a 25°C. Esta mesma condição passa para o intervalo de 24°C e 23°C no grupo de ocupantes acima do peso e classificados como obesos. Ressalta-se ainda que, embora a amostra de dados seja pequena no grupo “abaixo do peso”, a preferência predominante é para um ambiente “mais aquecido” (Figura 96).

Figura 96. Preferência térmica de acordo com o SET\* de ocupantes “abaixo do peso”.

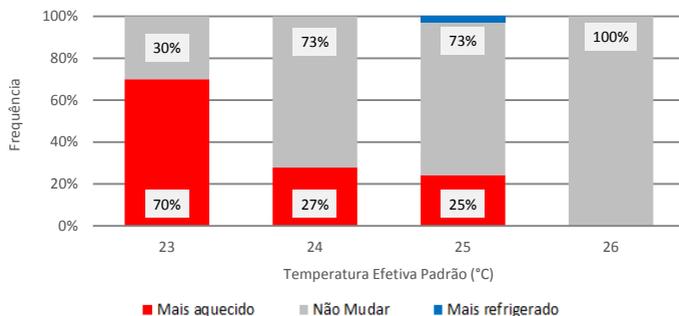


Figura 97. Preferência térmica de acordo com o SET\* de ocupantes com “peso normal”.

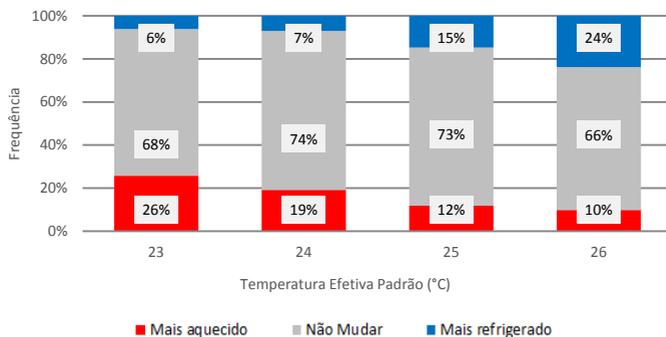


Figura 98. Preferência térmica de acordo com o SET\* de ocupantes “acima do peso”.

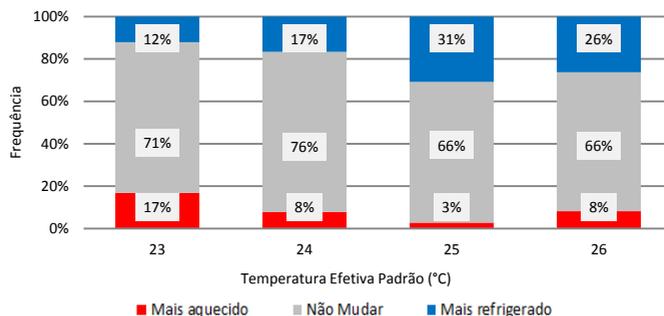
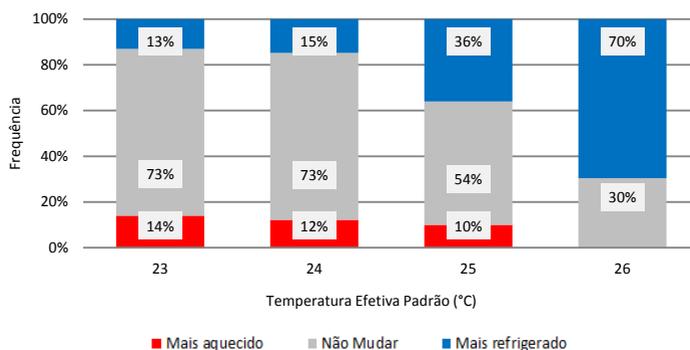


Figura 99. Preferência térmica de acordo com o SET\* de ocupantes “obesos”.

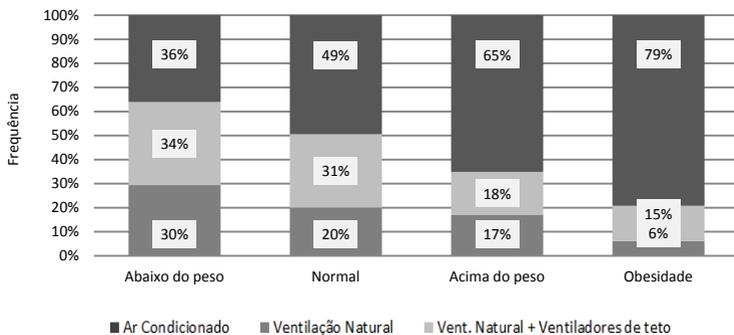


A análise de regressão *probit* foi efetivada para os três grupos de maior amostragem: peso normal, acima do peso e obeso. Dentre os modelos de regressão investigados, todos apresentaram coeficientes lineares com boas respostas (teste-*z* e nível descritivo,  $p < 0,001$ ). A temperatura neutra preferida encontrada para o grupo de ocupantes com peso normal foi de 24,6°C; nos grupos “acima do peso” e “obesos”, os valores encontrados foram de 22,9°C e 21,9°C, respectivamente. Foram desconsiderados os votos de ocupantes abaixo do peso por não apresentarem volume de dados suficientes para o modelo de regressão utilizado.

#### 4.4.3.2 Influência da memória térmica

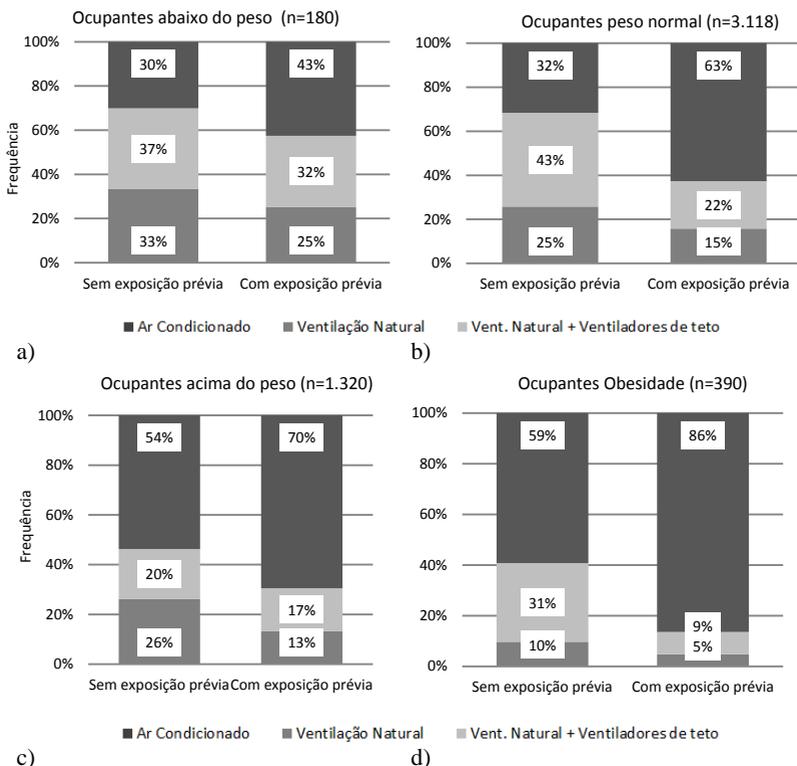
Analisando a preferência pela estratégia de climatização dentre os grupos com diferentes classificações de peso (Figura 100), verificou-se que no grupo de ocupantes “abaixo do peso”, a proporcionalidade entre os votos de preferência por equipamentos condicionadores de ar, ventilação natural, e ventilação natural assistida por ventiladores de teto é muito próxima. No entanto, a partir do grupo de ocupantes com o peso normal, observa-se um crescimento gradativo na preferência pelo ar-condicionado, que chega a 79% no grupo de ocupantes classificados como obesos.

Figura 100. Preferência pela estratégia de climatização de grupos com diferentes classificações de índice de massa corporal.



Ao cruzar os votos de preferência pelos diferentes tipos de climatização ambiental e a existência ou não da exposição prévia ao condicionamento artificial (Figura 101), novamente se percebe a influência de tal fenômeno em todos os grupos considerados. No grupo de ocupantes com o peso normal (Figura 101b), onde a amostra é significativamente maior, a preferência pelo condicionamento artificial chega a ser duas vezes maior quando comparados ambos os lados – com e sem exposição prévia ao condicionamento artificial. No grupo de ocupantes classificados como obesos, a preferência pelo ar-condicionado como estratégia de climatização chega a quase 90%, e é a maior porcentagem observada até então entre os diferentes grupos (Figura 101d).

Figura 101. Preferência sistema de climatização x exposição prévia de usuários classificados como “abaixo do peso” (a) e “peso normal” (b), “acima do peso” (c) e com “obesidade” (d).



#### 4.4.3.3 Influência da condição física no conforto térmico

Além da influência de diversas classes de peso nos votos de preferência térmica, e alterações nas escolhas pelo sistema de climatização ambiental de acordo com os grupos considerados, a rotina de exercícios dos ocupantes também apresentou números que podem ser classificados como variável de influência nas respostas. Assim, analisaram-se grupos que disseram realizar atividade física diariamente, de duas a três vezes por semana, e um grupo de ocupantes que afirmou não praticar nenhum tipo de exercício físico. Novamente, as principais diferenças encontradas surgiram nas avaliações de preferência térmica, que podem ser observadas nas Figuras 103, 104 e 105. Tais análises

sugerem que ocupantes que nunca se exercitam fisicamente (Figura 102) apresentam maior intolerância à temperatura de 26°C, quando comparados às demais amostras. A porcentagem de ocupantes que disse praticar exercícios físicos diariamente ou de duas a três vezes por semana, são aquelas com menor frequência de votos por um ambiente “mais aquecido”, e/ou “mais refrigerado” (Figura 103 e Figura 104). Embora a parcela de ocupantes votando por um ambiente “mais refrigerado” no agrupamento de 26°C do grupo que pratica atividade física diária seja grande (35%), é importante notar que neste ponto a amostra é pequena - inferior a 20; assim, a comparação entre os resultados das Figuras 103 e 104 seria neste caso mais confiável.

Figura 102. Preferência térmica de ocupantes que disseram nunca se exercitar.

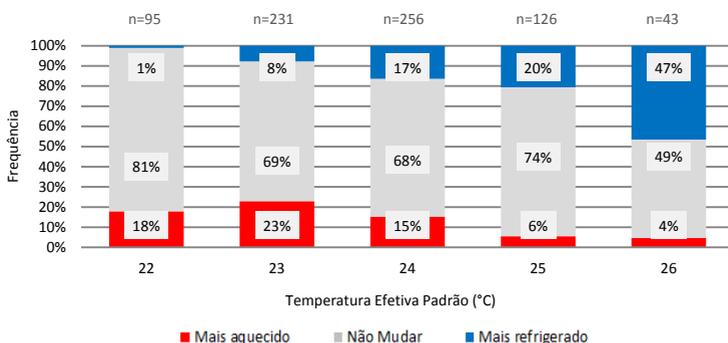


Figura 103. Preferência térmica de ocupantes que disseram se exercitar de duas a três vezes por semana.

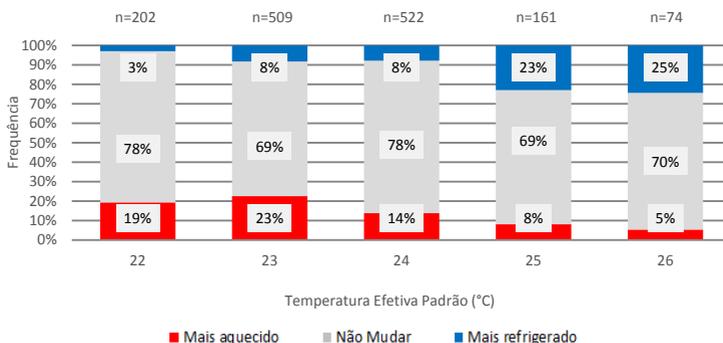
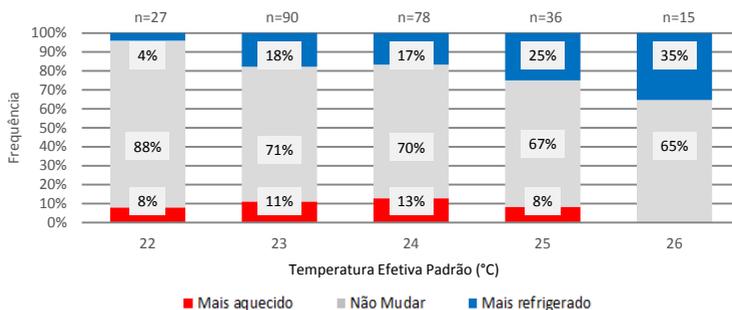


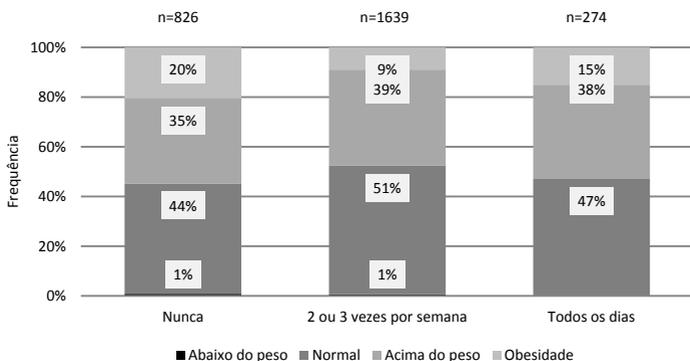
Figura 104. Preferência térmica de ocupantes que disseram fazer exercícios físicos diariamente.



Considerando as diferenças encontradas nos votos de preferência térmica, partiu-se para a análise do modelo *probit* e verificação da temperatura neutra preferida entre os três grupos em discussão. Os resultados só foram satisfatórios para o modelo de regressão no grupo que se exercita de duas a três vezes por semana, e naquele que nunca se exercita. A comparação entre a temperatura preferida de ambos os grupos apresentou diferença de 0,5K, sendo o valor encontrado para o grupo que não pratica atividades físicas de 23,8°C, e 24,4°C para o grupo que se exercita de duas a três vezes por semana.

Mesmo que a rotina de exercícios físicos esteja relacionada à sensação e preferência térmica dos ocupantes envolvidos nesta pesquisa, não foram encontrados padrões de preferência pelos diferentes sistemas de climatização relacionados à rotina de exercícios físicos, o que em parte se deve à distribuição razoavelmente proporcional de todas as categorias de IMC em todos os grupos, independente da rotina de exercícios físicos (Figura 105). Ressalta-se ainda que a amostra de dados deste bloco de análises é menor que a amostra das análises que consideram o IMC, já que a pergunta relacionada à rotina de exercícios físicos se restringiu aos dados coletados nos experimentos do ano de 2014, e não contavam no questionário aplicado em 2010.

Figura 105. Rotina de exercícios físicos de acordo com a classificação do índice de massa corporal.



#### 4.4.4 Discussão

Este item apresentou as análises da influência de características pessoais na percepção térmica geral de ocupantes averiguadas a partir de diferentes faixas de temperatura efetiva padrão (SET\*). Dentre os itens investigados destacam-se o gênero (masculino e feminino), a idade (abaixo de 30 anos, entre 31 e 50 anos, e acima de 51 anos) e o peso, segundo a classificação do índice de massa corporal (abaixo do peso, peso normal, acima do peso e obesos). Discutiu-se ainda a influência da rotina de atividades físicas na preferência térmica destes ocupantes.

Dentre as características analisadas, o gênero e a condição física foram aquelas que apresentaram as maiores alterações na percepção de conforto térmico. Focando apenas nos votos de sensação térmica, observou-se que homens apresentam maior intolerância ao calor, e as mulheres queixam-se mais de desconforto por frio. A análise comparativa entre as médias de clo masculino e feminino em função do SET\* descartou a possibilidade de influência desta variável nos votos de sensação e preferência, no entanto nenhuma análise relacionada à idade (andro e menopausa) pôde ser efetuada devido às limitações no tamanho da amostra de dados. Dentre as diferentes classes de peso, ocupantes obesos são aqueles que apresentam os maiores níveis de reclamações relacionadas ao calor, embora a análise da sensação térmica não evidencie tal fato. Neste sentido, a preferência térmica aparenta ser um indicador muito mais preciso para tal fenômeno, apontando claramente as diferenças entre grupos. Portanto, focando-se apenas na preferência térmica, traçaram-se duas reflexões importantes:

1. Dentre os três grupos etários observados, verificou-se que os ocupantes acima de 31 anos são aqueles que preferem temperaturas mais altas quando comparados aos ocupantes mais novos. Tal preferência pode ocorrer devido às mudanças no metabolismo basal e sedentarismo de pessoas mais velhas, conforme afirmaram Indagranti e Rao (2010). Neste trabalho, observou-se que a parcela de ocupantes que preferiram não mudar a condição térmica atual no grupo etário 1 foi maior no intervalo de 21°C a 23°C, enquanto no grupo etário 2 e 3 esta condição ocorreu acima de 24°C (SET\*).
2. Entre os gêneros, idades e condições físicas consideradas, a diferença nos valores de temperatura preferida atingiu em alguns casos  $3,0^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Tais resultados poderiam ser ainda mais expressivos se algumas destas características analisadas fossem combinadas e comparadas entre si. Embora promissora, a amostra de dados deste trabalho não é grande o suficiente para se avançar nestas verificações.

Com relação à memória térmica dos ocupantes ao condicionamento artificial, verificou-se mais uma vez que este é um dos parâmetros de maior influência na escolha pelo sistema de climatização ambiental de ocupantes durante os períodos mais quentes do ano. No entanto, concluiu-se que as diferentes características antropométricas possuem papel igualmente importante. Dentre os grupos de ocupantes que preferem estratégias com base na velocidade do ar para resfriamento ambiental, verificou-se que as mulheres representam a maioria. Tal resultado sugere que o grupo feminino é menos propenso ao acionamento de condicionadores de ar, o que também se discutiu no estudo de Karjalainen (2007) em edificações residenciais. Segundo o autor, homens utilizam o termostato com maior frequência que mulheres. Os ocupantes obesos são aqueles que optam em maior porcentagem pela utilização do condicionamento artificial; sob a influência da exposição prévia, a maioria indiscutível de ocupantes deste grupo (80%) prefere a utilização do ar-condicionado para climatização de ambientes.

Ainda com base nestes resultados, destaca-se a importância da utilização de um sistema de controle ambiental pessoal (*Personal Control Systems - PCS*) - como os pequenos ventiladores de mesa, aquecedores portáteis e demais itens discutidos por Zhang, Arens e Zhai (2015) - nas edificações comerciais que possuem uma concentração

maior de funcionários. Tais sistemas auxiliariam diretamente na demanda proveniente de funcionários com diferentes características individuais, elevando assim os níveis de conforto e aceitabilidade térmica de uma forma geral.

#### 4.5 APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE CONFORTO TÉRMICO

As análises de aplicação dos métodos propostos pela ASHRAE 55 (2013) foram efetivadas em sua totalidade adotando-se o índice de temperatura operativa ao invés do índice de temperatura efetiva padrão corrigido, como utilizado nas análises anteriores. Assumiu-se tal procedimento por se tratar de um padrão normativo, comum aos três métodos aplicados.

##### **4.5.1 Aplicação do método geral destinado a ambientes térmicos aceitáveis de espaços ocupados**

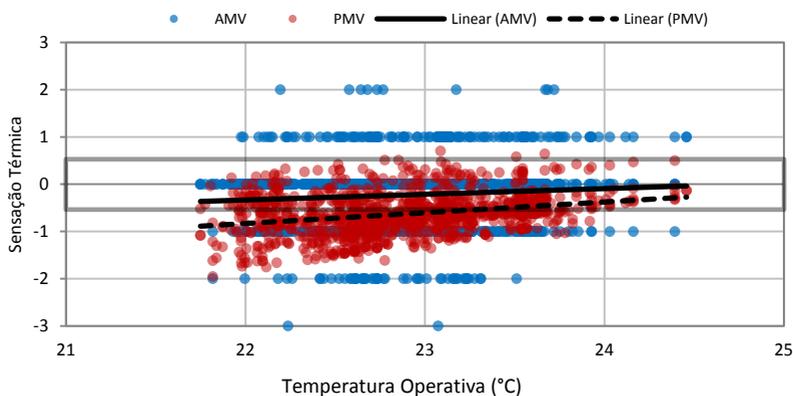
O método geral para a determinação de ambientes térmicos aceitáveis é dividido em duas seções: uma aplicável a ambientes com velocidade do ar baixa (até 0,20 m/s), e a outra voltada aos ambientes com velocidade do ar mais elevada (acima de 0,20 m/s). Contudo, este trabalho testou ambos os métodos sem considerar a baixa velocidade do ar observada nos experimentos, buscando discutir todos os limites propostos pelas normas. O método gráfico indicado pela norma para valores mais baixos de velocidade do ar (seção 5.3.1) não foi avaliado devido à dificuldade no ajuste de um grande volume de dados coletados na figura sugerida, sem a ajuda de uma ferramenta de apoio.

###### *4.5.1.1 Método analítico*

A Figura 106 apresenta a comparação entre os votos de sensação térmica real e os votos médios preditos, calculados individualmente a partir do modelo de Fanger (1970) e de acordo com a ASHRAE 55 (2013). O retângulo cinza, que delimita o intervalo entre  $\pm 0,5$  na área de plotagem do gráfico, representa a faixa de conforto térmico regulamentada pela norma em questão. A partir da figura, pode-se observar que nos pontos onde a temperatura é mais baixa ( $22^{\circ}\text{C}$  -  $23^{\circ}\text{C}$ ), o PMV e o AMV apresentam maior diferença de valores médios quando comparados à região próxima de  $24^{\circ}\text{C}$ , onde estas diferenças se aproximam. As médias entre os valores de PMV e AMV parecem coincidir ao mesmo tempo em que a temperatura operativa interna

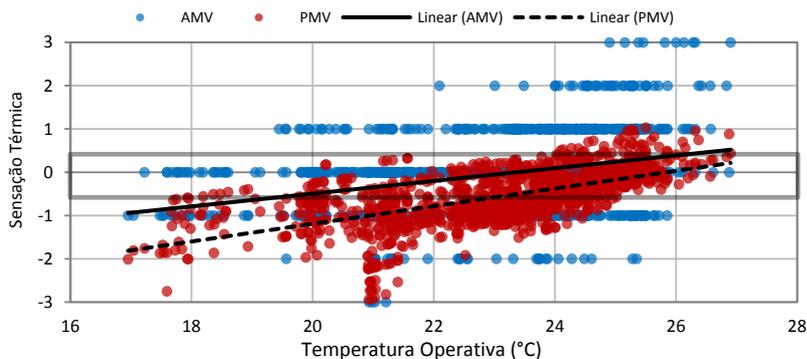
aumenta, em torno de  $24,5^{\circ}\text{C}$ . Em edificações condicionadas artificialmente a partir de um sistema central, e considerando o clima de Florianópolis, o PMV superestimou a sensação de frio em todas as situações apresentadas. Ainda, se considerados apenas os valores de PMV calculados e sua aplicação de acordo com o método analítico da ASHRAE 55 (2013), a grande parte dos votos dos ocupantes seria classificada como fora da zona de conforto térmico na situação em que o experimento foi realizado (pontos vermelhos acima do intervalo de  $\pm 0,5$ ). No entanto, tal resultado contraria a média de votos de sensação térmica dos ocupantes, observando-se a maior concentração de pontos no eixo relativo à neutralidade térmica (58% dos votos). É importante ainda ressaltar que, se considerados os votos reais de sensação térmica dos ocupantes, o intervalo entre  $\pm 1$  classificado por esta tese como confortável, abrange 95% pontos azuis da Figura 106.

Figura 106. Comparação entre o voto médio real (AMV) e o voto médio previsto (PMV) de ocupantes na edificação com sistema central de climatização ambiental.



O mesmo parece acontecer quando os votos provenientes de ocupantes de edificações com sistemas mistos são analisados. A Figura 107 apresenta os votos de sensação térmica média (AMV), comparados aos valores calculados de voto médio previsto (PMV), independentemente do modo de operação nestes edifícios. Observa-se a partir das linhas de regressão da figura que próximo à temperatura de  $17^{\circ}\text{C}$ , a diferença entre as médias dos índices pode chegar ao valor de 1 na escala sétima de sensações. As linhas parecem coincidir em algum ponto após  $27^{\circ}\text{C}$ .

Figura 107. Comparação entre o voto médio real (AMV) e o voto médio predito (PMV) de ocupantes em edificações que operam de forma mista, independentemente do modo de operação.



Embora as retas demonstrem uma tendência ao encontro acima de 27°C na Figura 107, quando os valores médios de sensação térmica real e predita são avaliados de forma separada em edificações com sistemas mistos - considerando apenas os votos nos momentos em que a ventilação natural está sendo utilizada (Figura 108), e quando o ar-condicionado está em operação (Figura 109) – tal comportamento é bastante diferente. A partir da Figura 108, pode-se afirmar que as médias entre o que é predito e o que é real não se encontrariam em uma situação de temperatura operativa interna usual ou real. As diferenças entre as linhas de regressão apresentam pouca disparidade, variando aproximadamente de 0,8 a 0,5 na escala sétima no intervalo entre 17°C e 27°C.

No caso da Figura 109, onde as médias de sensação térmica foram comparadas considerando-se apenas os votos de edificações mistas, e durante a operação do ar-condicionado, o comportamento é semelhante ao observado na Figura 106. As linhas de regressão se encontram próximo de 24,7°C e o PMV, neste caso, superestima novamente a sensação de frio no intervalo de temperaturas abaixo de 24°C. Acima de 25°C, observa-se ainda uma tendência à superestimação da sensação de calor, o que torna a aplicação do índice restrita a uma pequena faixa entre 24°C e 25°C em edificações operadas com o condicionamento artificial em Florianópolis.

Figura 108. Comparação entre o voto médio real (AMV) e o voto médio predito (PMV) de ocupantes em edificações que operam de forma mista durante a utilização da ventilação natural.

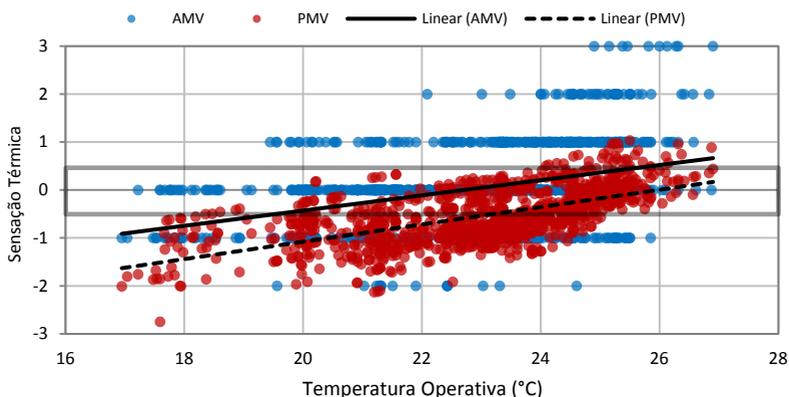
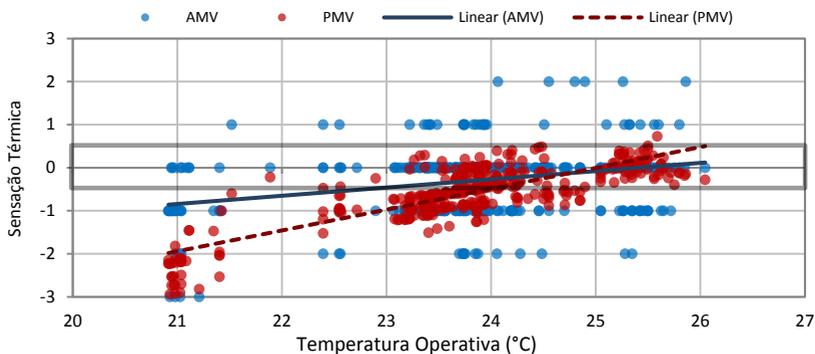


Figura 109. Comparação entre o voto médio real (AMV) e o voto médio predito (PMV) de ocupantes em edificações que operam de forma mista durante a utilização do condicionamento artificial.



Considerando ainda o mesmo método de avaliação proposto pela norma, foram analisados os níveis de conforto térmico provenientes dos votos de ocupantes e de acordo com o intervalo de voto médio predito calculado (Tabela 11 e Tabela 12). Segundo a ASHRAE 55 (2013), para que um ambiente apresente conformidade a partir deste método, o PMV deve estar entre  $\pm 0,5$ . A porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPD) com o ambiente ao seu redor está diretamente ligada ao PMV. Assim, um PMV de  $\pm 0,5$  resulta automaticamente em um PPD de 10%, ou seja, 10% de pessoas desconfortáveis termicamente. A partir

desta lógica, a Tabela 11 apresenta a análise de conforto térmico efetuada com os dados resultantes da edificação que opera com sistema central. Na coluna relativa aos votos de preferência térmica, as colunas representadas pelos números “-1”, “0” e “+1” representam os grupos de votos “mais aquecido”, “não mudar” e “mais refrigerado”, respectivamente, enquanto os valores da coluna AMV (*Actual Mean Vote*) se referem ao voto de sensação térmica médio real. Observa-se que apenas 34% dos votos coletados neste tipo de edificação estavam dentro do intervalo de PMV calculado entre  $\pm 0,5$ , e para estes valores, a média da sensação térmica real foi de -0,11; 85% estavam dentro do intervalo de  $\pm 1,0$ , com média de sensação térmica de -0,20, e 98% dos votos dentro do intervalo de  $\pm 1,5$ , com média de sensação térmica de -0,22. Analisando-se os votos de conforto térmico e considerando cada um destes intervalos, percebe-se que não há diferença significativa entre os números encontrados, independentemente do intervalo de PMV considerado. Da mesma forma, a porcentagem de ocupantes que preferiram “não mudar o ambiente térmico” permanece muito próxima nas três faixas de PMV analisadas.

Tabela 11. Avaliação da aceitabilidade térmica de acordo com diferentes faixas de voto médio predito (PMV) na edificação do que opera com um sistema central de condicionamento ambiental.

EDIFICAÇÃO COM CONDICIONAMENTO ARTIFICIAL CENTRAL							
Faixa PMV (calculado)	% do total de votos (n=1.274)	AMV (médio)	% de pessoas confortáveis	Preferência Térmica (%)			T <sub>op</sub> (média)
				-1 (n=227)	0 (n=903)	+1 (129)	
$\pm 0,5$	34	-0,11	92	13,4	71,5	15,1	23,0°C
$\pm 1,0$	85	-0,20	93	16,3	73,0	10,7	23,0°C
$\pm 1,5$	98	-0,22	91	17,9	71,6	10,5	22,9°C

A mesma análise foi realizada para os dados provenientes das edificações que operam de forma mista, e ao observar-se a Tabela 12, as mesmas conclusões podem ser delineadas. A porcentagem de pessoas que disseram se sentir confortável termicamente, independente do valor de PMV calculado, é muito próxima nos três intervalos analisados ( $\pm 1,5$ ,  $\pm 1,0$  e  $\pm 0,5$ ), assim como a porcentagem de pessoas que preferem “não mudar” a condição atual do ambiente. Tais resultados conduzem ao questionamento a respeito do intervalo estipulado pelo método da ASHRAE 55 (2013), que apesar de se basear no método de Fanger (1970), adota um intervalo de conforto diferente (para Fanger, o intervalo entre  $\pm 1,0$  é considerado confortável). É importante ressaltar

que, se considerado o método proposto por Fanger, os valores de PPD equivalentes aos valores de PMV  $\pm 0,5$ ,  $\pm 1,0$  e  $\pm 1,5$  resultariam em 10%, 25% e 50% de pessoas desconfortáveis termicamente. As análises da Tabela 12 apresentam para todos os intervalos considerados aproximadamente 5% de pessoas em desconforto térmico, que não mudam significativamente entre uma faixa e outra.

Tabela 12. Avaliação da aceitabilidade térmica de acordo com diferentes faixas de voto médio predito (PMV) em edificações que operam de forma mista.

EDIFICAÇÕES CONDICIONADAS DE FORMA MISTA							
Faixa PMV (calculado)	% do total de votos (n=1.414)	AMV (médio)	% de pessoas confortáveis	Preferência Térmica (5)			T <sub>op</sub> (média)
				-1 (n=217)	0 (n=1.050)	+1 (n=182)	
$\pm 0,5$	47,1	0,11	94	10,4	73,2	16,4	24,1°C
$\pm 1,0$	81,8	0,02	94	13,5	72,6	13,9	23,6°C
$\pm 1,5$	95,1	0,00	94	13,8	73,2	13,0	23,3°C

Mesmo que os resultados acima sugiram que os altos níveis de conforto térmico dos ambientes analisados possam estar relacionados à baixa expectativa do usuário com relação à temperatura interna (principalmente no caso da edificação condicionada artificialmente de forma central, onde existe pouca variação de temperatura interna e o usuário já sabe o que esperar do ambiente térmico), deve-se pesar que a restrição da faixa de conforto térmico a um intervalo tão baixo de PMV adotado pela ASHRAE 55 ( $\pm 0,5$ ) apresenta pouca relação com o clima temperado e úmido, o que torna duvidosa a aplicação do modelo em ambos os tipos de edificação analisadas neste trabalho, mesmo que o modelo seja direcionado unicamente às edificações com condicionamento artificial. Tais resultados são semelhantes aos resultados de Arens et al. (2010), embora os intervalos de tal estudo sejam um pouco menores (PMV entre 0,2, 0,5 e 0,7).

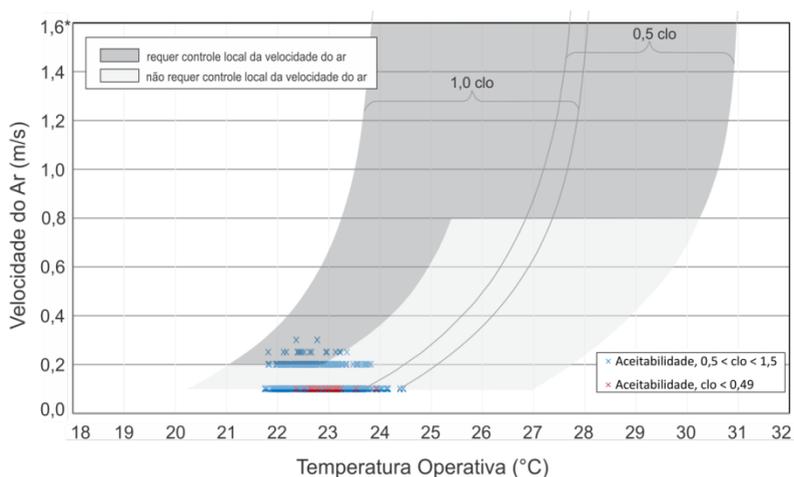
#### 4.5.1.2 Método da zona de conforto térmico para valores elevados de velocidade do ar

A Figura 110 apresenta os votos de aceitabilidade térmica da edificação com sistema central plotados nas figuras que representam os métodos propostos pela ASHRAE 55 (2013) em sua última versão, publicada recentemente pelo site da organização (adenda "d", ANSI/ASHRAE, 2015). O método em questão limita a vestimenta dos ocupantes a um intervalo de 0,5 a 1,5 clo; por este motivo, a Figura a seguir apresenta duas cores relativas aos votos de aceitabilidade térmica:

azul, referente aos votos que atendem aos limites de vestimenta da norma (96% dos votos) e, vermelha, relativa aos votos de aceitabilidade de ocupantes que vestem isolamento abaixo de 0,5 clo (4% dos votos, não havia ocupantes com clo superior a 1,5). No grupo vermelho, o clo variou entre 0,42 e 0,49, sendo a média de 0,45 clo.

Nota-se que, 100% dos votos de aceitabilidade térmica estão localizados dentro da zona de aceitabilidade proposta pelo modelo, embora uma porcentagem considerável dos votos ainda invada a zona mais escura, onde é necessário que o ocupante detenha o controle da velocidade do ar. Mesmo que os ocupantes desta edificação não possam controlar a velocidade do ar, observa-se uma pequena ocorrência de votos de aceitabilidade térmica acima do limite de 0,20m/s. Mas, embora estes ocupantes tenham avaliado o ambiente como “aceitável”, apenas a minoria (33%) votou por “não mudar” a condição do ambiente, enquanto o restante preferiria que o ambiente estivesse “mais aquecido”. Tal averiguação sugere novamente que, nem sempre o que é “aceitável”, é considerado pelo usuário como “ideal”.

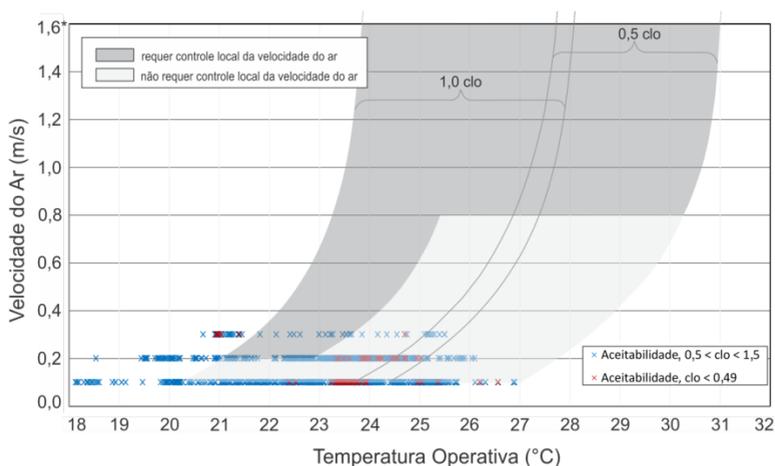
Figura 110. Aplicação da zona de conforto térmico de acordo com a velocidade do ar interna nos votos de aceitabilidade térmica coletados na edificação que opera com sistema central de condicionamento ambiental.



Na Figura 111, os dados de aceitabilidade térmica provenientes dos experimentos realizados na edificação condicionada de forma mista não apresentaram a mesma conformidade que a análise anterior.

Nenhuma restrição entre os votos coletados durante o período de utilização do ar-condicionado e de ventilação natural foi aplicada nesta figura; apenas os votos de usuários com a vestimenta fora do limite de aplicação foram sinalizados com a cor vermelha, e representam 11% do total de votos. Percebe-se que grande parte dos votos de aceitabilidade (24,7%) está fora da zona proposta pela norma. No entanto, a grande maioria dos pontos vermelhos se encontra dentro da zona, o que sugere que a flexibilidade do limite de vestimenta da norma poderia ser maior neste tipo de edificações, que usualmente operam com uma faixa de temperatura operativa bem maior quando comparadas às edificações com sistema central de condicionamento. Dentre o total de votos fora da zona de aceitabilidade proposta pela norma (aproximadamente 25% dos votos), 72% preferiram não mudar a sua condição térmica. Ressalta-se que apenas 4% deste total de votos fora da zona ocorreram durante a operação do condicionamento artificial, enquanto os outros 96% de votos vieram de ocupantes expostos à ventilação natural.

Figura 111. Aplicação da zona de conforto térmico de acordo com a velocidade do ar interna no total de votos de aceitabilidade térmica de edificações que operam de forma mista, independentemente da forma de operação.

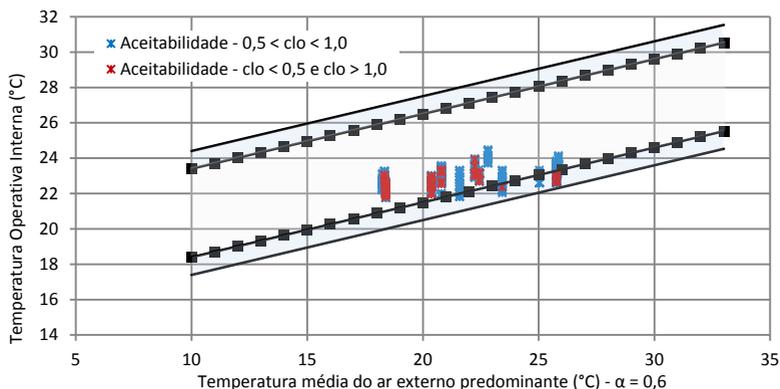


#### 4.5.2 Aplicação do método destinado às edificações ventiladas naturalmente

O último método testado é aquele destinado às edificações que não possuem nenhum tipo de condicionamento de ar instalado. Embora ambas as edificações possuam condicionamento artificial, os dados foram plotados nas zonas propostas pela norma. Novamente, a aplicação do método restringe a vestimenta em um intervalo de 0,5 a 1,0 clo, fazendo com que a plotagem ocorresse em duas cores diferentes na Figura 112 (dentro do intervalo, e abaixo do limite de aplicação), e em três cores diferentes na Figura 113 (dentro do intervalo, acima e abaixo do intervalo de aplicação).

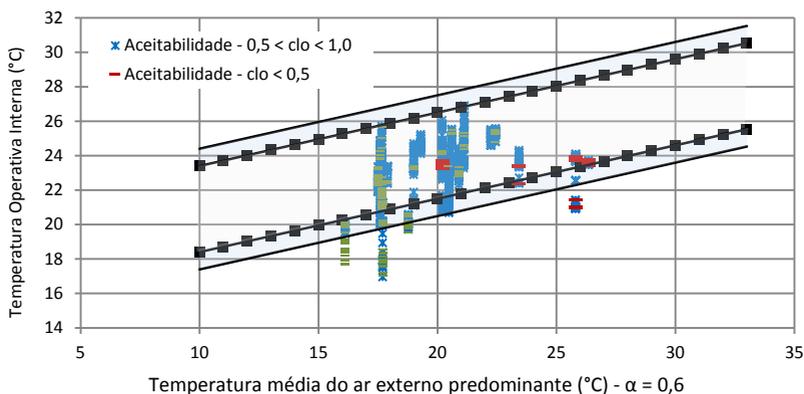
A primeira figura apresenta os dados provenientes da edificação com sistema central plotados na zona de aceitabilidade do modelo adaptativo (Figura 112), onde a linha simples delimita 80% de aceitabilidade, e a linha com marcadores 90%. É interessante observar que todos os votos de aceitabilidade térmica coletados nesta edificação se encaixam dentro da zona para 80%, e a grande maioria dentro da zona de 90%, o que ocorre independentemente da preferência térmica dos ocupantes. Tal resultado sugere que, para o clima de Florianópolis, e em uma edificação com sistema central onde a temperatura operativa interna varia entre 21°C e 24°C, o modelo adaptativo responde bem aos votos dos ocupantes quando a temperatura média do ar externo predominante oscila entre 18°C e 26°C.

Figura 112. Votos de aceitabilidade térmica provenientes da edificação com sistema central de condicionamento ambiental plotados na zona de aceitabilidade térmica do modelo adaptativo.



Ao plotar os dados provenientes das edificações que operam de forma mista, os resultados são ainda mais interessantes. A Figura 113 apresenta os votos de aceitabilidade provenientes de edificações que operam de forma mista plotados na zona do modelo adaptativo, independentemente da estratégia de climatização em operação. Observa-se que aproximadamente 8% dos votos estão localizados fora da zona de aceitabilidade térmica, sendo que neste caso, apenas 4% do total de votos plotados representam valores de clo fora do intervalo de aplicabilidade da norma. Grande parte destes votos fora da zona de aceitabilidade térmica (53% destes 8%) está representada pela cor verde, e é proveniente de ocupantes que estão vestidos com um clo acima do limite estipulado. Dentre os votos representados pela cor verde, e fora da zona de aceitabilidade, 80% preferiram “não mudar” a condição atual. É importante frisar que, dentre o grupo de votos fora da zona de aceitabilidade, e localizados na área esquerda do gráfico (temperatura do ar externo predominante entre 16°C e 19°C), 100% provém de ocupantes expostos à ventilação natural. Por outro lado, 100% dos votos localizados fora da zona de aceitabilidade, e à direita do gráfico (temperatura média do ar externo predominante próxima de 26°C), provém de ocupantes que responderam ao questionário enquanto o ar-condicionado estava em operação. Tais resultados são similares aos encontrados por De Vecchi et al. (2014), que propuseram uma zona de adaptação do clo que abrange grande parte deste grupo de votos.

Figura 113. Votos de aceitabilidade térmica provenientes de edificações que operam de forma mista plotados na zona de aceitabilidade térmica do modelo adaptativo, independentemente da estratégia de climatização utilizada.



### 4.5.3 Discussão

O presente grupo de resultados testou a aplicação de três métodos diferentes para a análise de conforto térmico a partir da ASHRAE 55 (2013). Embora os métodos sejam propostos para condições ambientais com estratégias de climatização distintas, todos os métodos e dados coletados foram testados, independentemente do modo de operação das edificações analisadas.

O primeiro método analisado foi aquele derivado do modelo de PMV/PPD de Fanger (1970), voltado a ambientes térmicos aceitáveis de espaços ocupados para baixas velocidades do ar. Observou-se que tanto as comparações entre o voto médio calculado e o real, quanto as que consideraram o intervalo de sensação térmica proposto ( $\pm 0,5$ ) não apresentaram resultados em consonância em nenhum dos tipos de edificações analisadas. Apenas 34% dos votos na edificação com sistema central estavam dentro do intervalo de  $\pm 0,5$  estipulado pelo método analítico da ASHRAE 55 (2013) como confortável, enquanto 92% dos votos de sensação térmica estão localizados dentro do intervalo de  $\pm 1,5$  e resultam na mesma porcentagem de conforto que os votos localizados no intervalo  $\pm 0,5$ . O PMV apresentou falhas em quase todos os casos ao prever sensação e o conforto térmico dos usuários. Embora os ocupantes de edificações climatizadas artificialmente durante o ano todo tenham menos oportunidades de ajuste ambiental que ocupantes de edificações mistas, os mesmos ainda podem modificar a sua vestimenta de acordo com a sua expectativa e condição atual do ambiente, o que provavelmente explica a superestimação da sensação de frio a partir do PMV em intervalos de temperatura mais baixas. É importante ressaltar que embora as condições térmicas ambientais possam ser estáticas nestas edificações, os ocupantes não são estáticos, e se adaptam da forma que julgam necessária para reestabelecer sua condição de conforto.

Ainda, a inaplicabilidade deste método durante o período de ventilação natural em edificações mistas reforça a fundamentação teórica do modelo adaptativo, já discutida anteriormente fora e dentro do Brasil (XAVIER; LAMBERTS, 2000; HUMPHREYS; NICOL, 2010; VAN HOOFF, 2008; ANDREASI; LAMBERTS; CÂNDIDO, 2010). Edificações que operam de forma mista devem, idealmente, incentivar a utilização da ventilação natural como estratégia de climatização ambiental, o que, por extensão lógica, torna evidente a inadequação de

tal procedimento de análise em edificações mistas, independentemente da condição que predomina.

Os dois últimos métodos testados voltados aos ambientes gerais com velocidade do ar elevada e ambientes ventilados naturalmente apresentaram boa aderência aos votos de aceitabilidade térmica coletados. No entanto, o método proveniente do modelo adaptativo se mostrou mais eficaz em todos os conjuntos de dados analisados, inclusive naqueles derivados da edificação climatizada de forma central, onde a maioria dos dados aparece dentro do intervalo de 90% de aceitabilidade. Na outra parte de dados provenientes de edificações que operam de forma mista, e durante os períodos de uso da ventilação natural, apenas 8% dos votos se localizaram fora da zona de aceitabilidade. Se adaptada para o contexto climático de Florianópolis, corrigindo sua inclinação e permitindo um intervalo maior para a adaptação da vestimenta, certamente a zona do modelo adaptativo apresentaria um resultado ainda melhor. Levando-se em consideração a praticidade gráfica do modelo adaptativo em relação aos outros, e as questões de eficiência energética ligada aos limites superiores da zona (inclusive em conjunto com a adaptação da zona devido à alta velocidade do ar e a zona de adaptação do clo sugerida por De Vecchi et al., 2014), o método adaptativo seria facilmente uma boa opção para análises simplificadas de conforto térmico. Poderia ainda ser adaptado de forma simples para a realidade climática brasileira, sendo que para isso, seriam necessários dados de diversos experimentos de campo originários de regiões e contextos climáticos distintos do país.

## 5 CONCLUSÕES

Esta tese avaliou as condições de conforto térmico de ocupantes em edificações climatizadas a partir de um sistema misto, que alterna entre a utilização da ventilação natural e o condicionamento artificial. Os dados analisados se basearam nas respostas de 2.831 votos relativos à sensação, preferência, aceitabilidade térmica e da velocidade do ar coletados durante experimentos de campo em Florianópolis/SC, que abrangeram todas as estações do ano. Os resultados encontrados formam uma espécie de estrutura para futuros trabalhos, arquivando informações importantes que podem ser estudadas e incorporadas em futuras versões de normas e métodos de avaliação voltados a estes tipos de edificações.

A comparação entre os resultados de edificações que funcionam a partir de um sistema de condicionamento misto e edificações com sistema central revelou diferença não significativa em termos de aceitabilidade térmica. No entanto, a edificação com sistema de climatização central apresentou desconforto térmico por frio em uma porcentagem levemente superior à verificada em edificações que operam com sistemas mistos (embora o desconforto térmico não tenha ultrapassado 20% em nenhum dos casos analisados). Tal constatação permite concluir que ambientes com condições estacionárias de temperatura operativa não necessariamente são aqueles que resultam nos maiores níveis de conforto térmico, assim como promover um intervalo maior de temperaturas operativas possa resultar em níveis mais baixos de conforto e aceitabilidade térmica. Na realidade, as edificações mistas deste trabalho apresentaram médias de sensação térmica dentro do intervalo de conforto estipulado entre  $\pm 1$ , também, mais próximas de zero (neutro), sendo ainda levemente superiores àquelas encontradas na edificação condicionada por um sistema central, onde a tendência está nos votos que se localizam na escala negativa (frio). Inclusive neste tipo de edificações (ESMs), a preferência por temperaturas e velocidades do ar mais elevadas predomina em todas as análises. De acordo com as análises *probit*, edificações mistas apresentaram temperatura neutra preferida 1,1K superiores àquela encontrada em edificações que funcionam com sistema central (24,5°C e 25,6°C, respectivamente), enquanto a inaceitabilidade térmica devido à alta velocidade do ar foi 53% menor (a inaceitabilidade térmica causada pela velocidade do ar foi de 71% e 33%, respectivamente). É importante ainda ressaltar que independentemente do sistema de climatização adotado em cada uma das edificações, os ocupantes demonstraram se adaptar às condições

internas ambientais, seja a partir da vestimenta, ou pela mudança de metabolismo e ingestão de bebidas quentes ou frias.

Focando-se apenas nos resultados encontrados em edificações mistas, pode-se afirmar que a utilização do condicionamento artificial ocorre independentemente da estação do ano; as observações durante os experimentos de campo mostraram que, quando a temperatura máxima do ar externo atinge valores próximos a 25°C (temperatura operativa interna máxima registrada para estes dados próxima de 26°C), os ocupantes acionam o condicionamento do ar, mesmo que a temperatura predominante do ar externo ou a média diária sejam inferiores a 20°C. No entanto, encontrou-se também indicativos da influência da memória térmica dos ocupantes na operação do condicionamento artificial e na forma como eles se vestem, o que, conseqüentemente, interfere na utilização do condicionamento artificial durante os meses de inverno. Analisando a percepção térmica dos ocupantes sob as diferentes formas de operação de edificações mistas, conclui-se ainda que existe uma forte tendência ao *desconforto térmico pelo frio* excessivo durante a operação dos condicionadores de ar, e ao *desconforto térmico por calor* quando a ventilação natural é utilizada. Assim, é possível afirmar que a sensação e a preferência térmica dos ocupantes neste tipo de edificações são dependentes do sistema de climatização em operação, variando significativamente quando se analisa um modo e o outro.

A memória térmica demonstrou ser um fator bastante importante na escolha dos ocupantes pela estratégia de climatização ambiental. Em todas as análises deste trabalho, independentemente do tipo de edificação, modo de operação utilizado, e características antropométricas consideradas, ocupantes que disseram utilizar o condicionamento artificial diariamente, tanto no trabalho quanto fora também, são aqueles que em sua grande maioria optam pelo ar-condicionado como estratégia de climatização pessoal. Ao associar estas conclusões aos resultados observados nas análises que consideraram os diferentes fatores individuais, é possível traçar um perfil de usuário econômico em termos de consumo de energia para as edificações modernas; isto se consideradas as mudanças climáticas e a demanda de energia elétrica de pico, que nos últimos anos tem sido impulsionada principalmente pelo uso do condicionamento artificial. Assim, ocupantes de edificações mistas são aqueles que detêm maior controle das condições térmicas internas, podendo interagir e modificar o ambiente de acordo com suas necessidades, e podendo tornar estas edificações mais eficientes. Dentre os gêneros analisados, o grupo feminino é aquele que prefere temperaturas mais altas (25,5°C em

comparação a 22,3°C do gênero masculino), e talvez por esse motivo, é também aquele que opte em sua maioria por não utilizar o condicionamento artificial como principal estratégia de climatização. Considerando-se a faixa etária, ocupantes acima dos 30 anos de idade são aqueles que apresentam maior preferência por nenhuma mudança relacionada ao ambiente térmico em intervalos mais altos de SET\* (de 24°C a 26°C). Quando combinados ao índice de massa corporal normal e abaixo do peso, poderiam ainda representar o grupo de usuários com menor preferência pela utilização do condicionamento artificial, ou aquele que o ajusta o *setpoint* a temperaturas mais altas, já que a temperatura neutra preferida nestes grupos é de aproximadamente 24,6°C, enquanto o grupo de ocupantes obesos prefere em torno de 22°C. Ainda de acordo com os resultados deste trabalho, ocupantes que se exercitam de duas a três vezes por semana são também aqueles mais propensos às temperaturas mais altas quando comparados àqueles que nunca realizam atividade física (temperatura neutra preferida de 24,4°C e 23,8°C, respectivamente).

Quanto à adequabilidade dos atuais métodos de conforto térmico para avaliação de ambientes internos indicados pela ASHRAE 55 (2013), conclui-se que o método derivado do modelo PMV/PPD é aquele que apresenta os piores resultados quando comparado aos votos de sensação e conforto térmico reais provenientes das edificações investigadas. No entanto, é importante ressaltar que tal problema não se relaciona diretamente ao modelo, e sim à forma como as normas restringem sua aplicação. De acordo com Fanger (1970), a insatisfação relacionada ao ambiente térmico (e consequentemente a aceitabilidade térmica) é definida pelos votos -2 e -3, e +2 e +3 da escala sétima de sensação térmica, e ainda de acordo com Gagge, Stolwijk e Hardy (1967), o real desconforto térmico só é expresso de fato além do intervalo entre  $\pm 2,0$ . Desta forma, limitar conforto ou aceitabilidade térmica a um intervalo de  $\pm 0,5$ , como no caso da ASHRAE 55/2013, ou no pior dos casos a  $\pm 0,7$  como a ISO 7730/2005 (que ainda sugere como ideal o breve intervalo entre  $\pm 0,2$ ), além de contrariar a fundamentação teórica do modelo, acaba por caracterizar erroneamente votos de conforto térmico em desconforto térmico (o percentual de pessoas que relataram desconforto térmico foi inferior a 10% em todos os intervalos de PMV calculados e analisados:  $\pm 0,5$ ,  $\pm 1,0$  e  $\pm 1,5$ ).

Ainda com relação aos métodos de conforto térmico da ASHRAE 55 (2013), observou-se boa aderência entre os dados obtidos nos experimentos de campo desta tese quando aplicados os métodos que permitem valores mais altos de velocidade do ar (mesmo a velocidade

do ar não tendo atingido valores significativos nos experimentos). Tanto o método voltado para edificações climatizadas, onde a velocidade do ar é ilimitada em ambientes em que o usuário detém controle, quanto aquele direcionado aos espaços ventilados naturalmente, com faixa de adaptação da velocidade do ar de acordo com a temperatura operativa apresentaram bons resultados. Entretanto, o método proveniente do modelo adaptativo mostrou-se mais eficaz em ambos os tipos de edificações analisadas, e cobriu a maior parte dos votos de aceitabilidade térmica do experimento. Se considerada a última versão disponível da ASHRAE 55 (2013), o método adaptativo não poderia ser utilizado em momento algum para avaliação em edificações mistas, já que estas possuem sistema de climatização instalado. Assim, embora a ASHRAE 55 (2013) indique um método que, fundamentalmente, está voltado para a avaliação de conforto térmico em edificações essencialmente condicionadas, o modelo adaptativo é a melhor opção para avaliação em edificações mistas, cobrindo aproximadamente 93% dos votos de aceitabilidade dos ocupantes. O método convencional para ambientes com maior velocidade do ar, indicado pela norma para avaliação em edificações mistas, permitiu que aproximadamente 25% dos votos de aceitabilidade se localizassem fora da zona proposta. O método analítico, proveniente do modelo PMV/PPD

Se consideradas a praticidade e a facilidade de aplicação do gráfico adaptativo, além da oportunidade de economia energética que tal modelo pode proporcionar, parece mais racional afirmar que para a efetivação um método simplificado de avaliação de conforto térmico em edificações, este é o método representante da melhor alternativa entre os demais investigados. Tal afirmação pode ser feita independentemente do sistema de climatização que opera no ambiente. Neste sentido, seriam ainda necessárias pequenas adaptações na inclinação da zona de aceitabilidade térmica, buscando uma nova equação que envolva dados de campo de diferentes contextos climáticos brasileiros.

## 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 de ocupantes reais, exercendo sua rotina de trabalho.

No entanto, é importante destacar que existem ainda limitações relacionadas aos aspectos:

- A vestimenta e o metabolismo foram estimados baseando-se nas tabelas disponibilizadas pela a ISO 7730 e ASHRAE 55, sendo importante considerar que tal procedimento representa impacto significativo nas análises finais deste trabalho, e principalmente quando se avalia as diferenças entre homens e mulheres.
- Os experimentos de campo deste trabalho foram realizados em sua grande maioria durante o outono e inverno de 2014, o que ocorreu devido a algumas restrições impostas pelas empresas onde os dados foram levantados. Apenas 3% dos dados foram coletados no verão, e 14% na primavera. Ainda, a velocidade do ar registrada em todas as edificações estudadas atingiu valores máximos muito baixos, o que ocorreu devido à baixa participação da ventilação cruzada na grande maioria dos ambientes analisados. Desta forma, todas as conclusões relativas aos itens 4.2, 4.3 e 4.5 do capítulo de resultados desta tese se limitam as seguintes características climáticas: 1) temperatura do ar externo entre 11°C e 25°C; 2) temperatura operativa interna entre 17°C e 27°C; velocidade média do ar interno entre 0,10 e 0,3 m/s; umidade relativa do ar entre 61% e 82%.

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante a realização deste trabalho foram observadas algumas ramificações referentes ao tema e que poderiam ser exploradas, buscando maior compreensão e ampliação de informações:

1. Novos levantamentos de campo com foco nas edificações comerciais mistas e utilização dos sistemas de controle pessoais (PCS) no período de verão; tal condição proporcionaria novas análises e conclusões efetivas a respeito da utilização do condicionamento artificial, efeito da velocidade do ar na operação de janelas e incremento do *setpoint*;
2. Elaboração e validação de novos métodos para análises focadas nas diferenças e variabilidade de características antropométricas, buscando resultados mais conclusivos do efeito combinado de tais características na percepção térmica dos ocupantes;
3. Análise de fatores não usuais e sua influência na percepção térmica, tais como o estresse, humor, condição física, hábitos relacionados ao fumo e volume de trabalho diário. Poucas pesquisas focaram em aspectos deste tipo em trabalhos da área de conforto térmico. No entanto, sabe-se que estes muitas vezes

influenciam nas análises finais e podem gerar resultados equivocados.

4. 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, e tal assunto foi muito pouco explorado no Brasil, que sofre influência da cultura e contexto climático local na forma como a população local se veste.
5. Desenvolvimento de experimentos de campo em ambiente residencial para avaliação da aplicabilidade dos métodos de avaliação das atuais normas neste contexto.

## REFERÊNCIAS

ABNT. **Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários - Parte 2: Parâmetros de conforto térmico, NBR 16401-2**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.

ACKERLY, K.; BRAGER, G. Window signaling systems: control strategies and occupant behavior. **Building Research & Information**, v. 41, n. 3, p. 342–360, 2013.

ACKERLY, K.; BRAGER, G. S.; ARENS, E. **Data collection methods for assessing adaptive comfort in mixed-mode buildings and personal comfort systems**. Disponível em: <[www.escholarship.org/uc/item/64p9111k](http://www.escholarship.org/uc/item/64p9111k)>.

AL-AJMI, F. F.; LOVEDAY, D. Indoor thermal conditions and thermal comfort in air-conditioned domestic buildings in the dry-desert climate of Kuwait. **Building and Environment**, v. 45, n. 3, p. 704–710, 2010.

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, maio 2010.

ANSI/ASHRAE. **Standard Addendas**. Disponível em: <<https://www.ashrae.org/standards-research--technology/standards-addenda>>. Acesso em: 4 jun. 2015.

ARENS, E. et al. A study of occupant cooling by personally controlled air movement. **Energy and Buildings**, v. 27, p. 45–59, 1998.

ARENS, E. et al. Are “class A” temperature requirements realistic or desirable? **Building and Environment**, v. 45, n. 1, p. 4–10, jan. 2010.

ARENS, E.; ZHANG, H.; HUIZENGA, C. Partial-and whole-body thermal sensation and comfort, part II: non- uniform environmental conditions. **Journal of Thermal Biology**, v. 31, p. 60–66, 2006.

ASHRAE. **ASHRAE Handbook: Fundamentals - SI edition, Chapter 8, Thermal Comfort**. Atlanta, Ga.: American Society of Heating

Refrigerating and Air-Conditionin, Atlanta, Ga.: ASHRAE, 2005., 2005.

ASHRAE. **Performance measurement protocols for commercial buildings**. Atlanta, Georgia: American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2010.

ASHRAE. **Performance measurement protocols for commercial buildings: best practices guide**. Atlanta, GA: American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2012.

ASHRAE STANDARD 55 - 2013. **Thermal environmental conditions for human occupancy**. Atlanta, Georgia: American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2013.

ATTHAJARIYAKUL, S.; LERTSATITTANAKORN, C. Small fan assisted air conditioner for thermal comfort and energy saving in Thailand. **Energy Conversion and Management**, v. 49, n. 10, p. 2499–2504, 2008.

AULICIEMS, A.; DE DEAR, R. Air-conditioning in Australia I – human thermal factors. **Architectural Science Review**, v. 29, n. 3, p. 67–75, 1986.

AZER, N. Z.; HSU, S. The prediction of thermal sensation from a simple thermoregulatory model. **ASHRAE Transactions**, v. 83, n. 1, 1977.

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

BESHIRM.Y.; RAMSEYJ.D. Comparison between male and female subjective estimates of thermal effects and sensations. **Applied Ergonomics**, v. 12, p. 29–33, 1981.

BORDASS, B. et al. Assessing building performance in use 2: technical performance of the probe buildings. **Building Research & Information**, v. 28, 2001.

BORGESON, S.; BRAGER, G. **Occupant control of windows: accounting for human behaviour in building simulation**. California,

CBE: 2015. Disponível em:  
 <[http://www.cbe.berkeley.edu/research/pdf\\_files/Borgeson2008-OperableWindowSimulation.pdf](http://www.cbe.berkeley.edu/research/pdf_files/Borgeson2008-OperableWindowSimulation.pdf)>.

BORKAN, G. A. et al. Age changes in body composition revealed by computed tomography. **The Journals of Gerontology**, v. 38, n. 6, p. 673–677, 1983.

BRAGER, G. Mixed-mode cooling. **ASHRAE journal**, v. 48, p. 30–37, 2006.

BRAGER, G.; BAKER, L. **Occupant satisfaction in mixed-mode buildings** Proceedings of Conference: Air Conditioning and the Low Carbon Cooling Challenge. **Anais...**Cumberland Lodge: Windsor, UK, 27-29 July, 2008

BRAGER, G.; BAKER, L. Occupant satisfaction in mixed-mode buildings. **Building Research & Information**, v. 37, n. 4, p. 369–380, 2009.

BRAGER, G. S.; BORGESON, S.; LEE, Y. S. **Summary report: control strategies for mixed-mode buildings**. Berkeley, California, 2007.

BRAGER, G. S.; PALIAGA, G.; DE DEAR, R. Operable windows, personal control, and occupant comfort. **ASHRAE Transactions**, v. 110, n. 2, p. 17–35, 2004.

BRUGNERA, R.; RORIZ, V.; CHVATAL, K. **Temperaturas de acionamento de condicionadores de ar e ventiladores**. XII ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, ENCAC. **Anais...**Brasília, DF: 2013.

CÂNDIDO, C. et al. Cooling exposure in hot humid climates: are occupants “addicted”? **Architectural Science Review**, v. 53, n. 1, p. 59–64, 2010.

CÂNDIDO, C. et al. Towards a Brazilian standard for naturally ventilated buildings: guidelines for thermal and air movement acceptability. **Building Research & Information**, v. 39, n. 2, p. 145–153, 2011a.

CÂNDIDO, C. et al. Aplicabilidade dos limites da velocidade do ar para efeito de conforto térmico em climas quentes e úmidos. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 4, p. 59–68, 2011b.

CÂNDIDO, C. et al. **BOSSA - Building Occupants Survey System for Australia**. The 46th Annual Conference of the Architectural Science Association - Building on Knowledge: Theory and Practice. **Anais...**Brisbane: Griffith University, 2013. Disponível em: <<http://www.bossasystem.com>>. Acesso em: 15 ago. 2013

CÂNDIDO, C.; DE DEAR, R. J.; OHBA, M. Effects of artificially induced heat acclimatization on subjects' thermal and air movement preferences. **Building and Environment**, v. 49, p. 251–258, 2012.

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

CANNON, B.; NEDERGAARD, J. Brown adipose tissue: function and physiological significance. **Physiological reviews**, v. 84, n. 1, p. 277–359, jan. 2004.

CAO, B. et al. Field study of human thermal comfort and thermal adaptability during the summer and winter in Beijing. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 5, p. 1051–1056, 2011.

CBE. **Mixed mode: case studies and project database**. Disponível em: <[cbesurvey.org/mixedmode](http://cbesurvey.org/mixedmode)>. Acesso em: 23 ago. 2013.

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: behavioural strategies and effort of activities: Final Report, on ASHRAE RP-460**. Hamilton, Ontario: 1986.

CERVI, A.; FRANCESCHINI, S. C. C.; PRIORE, S. E. Análise crítica do uso do índice de massa corporal para idosos. **Revista de Nutrição**, v. 18, n. 6, p. 765–775, 2005.

CHENG, Y.; NIU, J.; GAO, N. Thermal comfort models: a review and numerical investigation. **Building and Environment**, v. 47, p. 13–22, 2012.

CHOW, T. et al. Thermal sensation of Hong Kong people with increased air speed, temperature and humidity in air-conditioned environment. **Building and Environment**, v. 45, n. 10, p. 2177–2183, 2010.

CLEMENTS-CROOME, D. Impact of indoor environment on productivity. **Workplace Comfort Forum**, v. Royal Inst, 1995.

COLE, R. J.; BROWN, Z. Reconciling human and automated intelligence in the provision of occupant comfort. **Intelligent Buildings International**, v. 1, p. 39–55, 2009.

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

DE CARLI, M. et al. People's clothing behaviour according to external weather and indoor environment. **Building and Environment**, v. 42, n. 12, p. 3965–3973, dez. 2007.

DE DEAR, R. **Adaptive comfort applications in Australia and impacts on building energy consumption** Proceedings of the 6th International Conference On Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings. **Anais...**Sendai: Japan, 2007

DE DEAR, R. Revisiting an old hypothesis of human thermal perception: alliesthesia. **Building Research & Information**, v. 39, n. 2, p. 108–117, 2011a.

DE DEAR, R. **Recent enhancements to the adaptive comfort standard in ASHRAE 55-2010** Proceedings of the 45th annual conference of the Architectural Science Association. **Anais...**Sydney, Australia: ANZAScA, 2011b

DE DEAR, R. **Shivering in summer? Sweating in winter? Your building is living a lie.** Disponível em: <<http://theconversation.com/shivering-in-summer-sweating-in-winter->

your-building-is-living-a-lie-9194>.

DE DEAR, R. et al. Adaptive thermal comfort in Australian school classrooms. **Building Research & Information**, v. 43, n. 3, p. 383–398, 2015.

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

DE DEAR, R.; BRAGER, G. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 549–561, 2002a.

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

DE DEAR, R. J. et al. Progress in thermal comfort research over the last twenty years. **Indoor Air**, v. 23, n. 6, p. 442–461, 2013.

DE DEAR, R. J.; BRAGER, G. S. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 549–561, jul. 2002b.

DE DEAR, R. J.; FOUNTAIN, M. Field experiments on occupant comfort and office thermal environments in a hot-humid climate. **ASHRAE Trans**, v. 100, n. 2, p. 457–475, 1994.

DE VECCHI, R. **Condições de conforto térmico e aceitabilidade da velocidade do ar em salas de aula com ventiladores de teto para o clima de Florianópolis/SC**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.

DE VECCHI, R. et al. ASHRAE 55 adaptive model application in hot and humid climates: the Brazilian case. **Architectural Science Review**, v. 58, n. 1, p. 93–101, 2014.

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?**

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.

DEGROOT, D.; HAVENITH, G.; KENNEY, W. Responses to mild cold stress are predicted by different individual characteristics in young and older subjects. **Journal of Applied Physiology**, v. 101, n. 6, p. 1607–1615, 2006.

DEUBLE, M.; DE DEAR, R. Green occupants for green buildings: The missing link? **Building and Environment**, v. 56, p. 21–27, 2012a.

DEUBLE, M.; DE DEAR, R. Mixed-mode buildings : a double standard in occupants' comfort expectations. **Building and Environment**, v. 54, p. 53–60, 2012b.

EKNOYAN, G. Adolphe Quetelet (1796–1874) — the average man and indices of obesity. **Nephrol Dial Transplant**, v. 23, p. 47–51, 2008.

FADEYI, M. O. Initial study on the impact of thermal history on building occupants' thermal assessments in actual air-conditioned office buildings. **Building and Environment**, v. 80, p. 36–47, out. 2014.

FANGER, O.; TOFTUM, J. Extension of the PMV model to non-air conditioned buildings in warm climates. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 533–536, 2002.

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

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

FERIADI, H.; WONG, N. H. Thermal comfort for naturally ventilated

houses in Indonesia. **Energy and Buildings**, v. 36, n. 7, p. 614–626, 2004.

FERREIRA, M. S. **Um modelo do sistema térmico humano**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica: Universidade de São Paulo, 2001.

FERREIRA, M. S.; YANAGIHARA, J. I. Um modelo do sistema termorregulador humano: exposição a ambientes quentes. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**, v. 15, n. 1, p. 87–96, 1999.

FIALA, D. **Dynamic simulation of human heat transfer and thermal comfort**. PhD Thesis, De Montfort University, England, 1998.

FIALA, D.; LOMAS, 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.

FOUNTAIN, M. et al. Comfort control for short-term occupancy. **Energy and Buildings**, v. 21, p. 1–13, 1994.

FOUNTAIN, M.; ARENS, E. Air movement and thermal comfort. **ASHRAE Journal**, v. 35, n. 8, p. 26–30, 1993.

FOUNTAIN, M.; HUIZENGA, C. A thermal comfort prediction tool. **ASHRAE Journal**, v. 38, n. 9, p. 39–42, 1996.

FU, G. **A Transient, 3-D mathematical thermal model for the clothed human**. PhD Dissertation, Department of Mechanical Engineering, Kansas State University, Manhattan, KS, USA, 1995.

GAGGE, A. P.; FOBELETS, A. P.; BERGLUND, L. G. Standard predictive index of human response to the thermal environment. **ASHRAE Trans**, v. 92, n. 2, p. 709–731, 1986.

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

GAGGE, A. P.; STOLWIJK, J. A.; NISHI, Y. An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory

response. **ASHRAE Transactions**, v. 77, n. 1, p. 247–262, 1971.

GIVONI, B.; GOLDMAN, R. Predicting metabolic energy cost. **Journal of Applied Physiology**, v. 30, p. 429–430, 1971.

GORDON, R. G.; ROEMER, R. B.; HORVATH, S. M. A mathematical model of the human temperature regulatory system - transient cold exposure response. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, v. 23, n. 6, p. 434–444, 1976.

GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. Florianópolis: PROCEL/Núcleo de Pesquisa em Construção Civil, UFSC, 1998.

GRIEGO, D.; KRARTI, M.; HERNÁNDEZ-GUERRERO, A. Optimization of energy efficiency and thermal comfort measures for residential buildings in Salamanca, Mexico. **Energy and Buildings**, v. 54, p. 540–549, 2012.

GUNAI, H. B.; O'BRIEN, W.; BEAUSOLEIL-MORRISON, I. A critical review of observation studies, modeling, and simulation of adaptive occupant behaviors in offices. **Building and Environment**, v. 70, p. 31–47, 2013.

HAVENITH, G. Individualized model of human thermoregulation for the simulation of heat stress response. **Journal of Applied Physiology**, v. 90, n. 5, p. 1943–1954, 2001a.

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

HAVENITH, G.; HOLMÉR, I.; PARSONS, K. Personal factors in thermal comfort assessment: clothing properties and metabolic heat production. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 581–591, jul. 2002.

HEALEY, K. Measurement and interpretation of thermal comfort in a highly adaptive mixed-mode building. **Architectural Science Review**, v. 57, n. 3, p. 207–214, 2014.

HENSEN, J. **On the thermal interaction of building structure and**

**heating and ventilating system.** PhD thesis: Technische Universiteit Eindhoven, 1991.

HEY, E. N.; KATZ, G. The optimum thermal environment for naked babies. **Archives of Disease in Childhood**, v. 45, p. 328–333, 1970.

HOLMES, M. J.; HACKER, J. N. Climate change, thermal comfort and energy: meeting the design challenges of the 21st century. **Energy and Buildings**, v. 39, n. 7, p. 802–814, 2007.

HOYT, T.; ARENS, E.; ZHANG, H. Extending air temperature setpoints: Simulated energy savings and design considerations for new and retrofit buildings. **Building and Environment**, v. 88, p. 89–96, jun. 2015.

HUANG, L. et al. A study about the demand for air movement in warm environment. **Building and Environment**, v. 61, p. 27–33, 2013.

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

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

HUMPHREYS, M. Field studies of thermal comfort compared and applied. **Building Research Station**, v. 44, p. 5–27, 1976.

HUMPHREYS, M.; NICOL, F. The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 667–684, 2010.

HWANG, R.-L.; CHEN, C.-P. Field study on behaviors and adaptation of elderly people and their thermal comfort requirements in residential environments. **Indoor air**, v. 20, n. 3, p. 235–45, jun. 2010.

IFMA. **Temperature wars: savings vs. comfort.** Disponível em: <<http://www.ifma.org/docs/surveys/hvacsurvey2009.pdf?sfvrsn=2>>. Acesso em: 30 ago. 2013.

INDRAGANTI, M.; OOKA, R.; RIJAL, H. B. Thermal comfort in offices in summer: findings from a field study under the “setsuden” conditions in Tokyo, Japan. **Building and Environment**, v. 61, n. 114-132, 2013.

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, I. **Pesquisa de orçamentos familiares 2008-2009**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2010.

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

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

JOHNSON, F. et al. Could increase time spent in a thermal comfort zone contribute to population increases in obesity? **Obesity reviews : an official journal of the International Association for the Study of Obesity**, v. 12, p. 543–551, 2011.

JONES, B. W. Capabilities and limitations of thermal models for use in thermal comfort standards. **Energy and Buildings**, v. 34, p. 653–659, 2002.

JONES, B. W.; OGAWA, Y. Transient interaction between the human body and the thermal environment. **ASHRAE Transactions**, v. 98, n. 1, 1992.

KACIUBA-USCILKO, H.; GRUCZA, R. Gender differences in thermoregulation. **Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care**, v. 4, n. 6, p. 533–536, 2001.

KARJALAINEN, S. Gender differences in thermal comfort and use of thermostats in everyday thermal environments. **Building and Environment**, v. 42, n. 4, p. 1594–1603, abr. 2007.

KARJALAINEN, S. Thermal comfort and gender: a literature review. **Indoor air**, v. 22, n. 2, p. 96–109, abr. 2012.

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

KEITH, S. W. et al. Putative contributors to the secular increase in obesity: exploring the roads less traveled. **Internacional Journal of Obesity**, v. 30, n. 11, p. 1585–1594, 2006a.

KEITH, S. W. et al. Putative contributors to the secular increase in obesity: exploring the roads less traveled. **International journal of obesity (2005)**, v. 30, n. 11, p. 1585–94, nov. 2006b.

KHEDARI, J. et al. Thailand ventilation comfort chart. **Energy and Buildings**, v. 32, p. 245–249, 2000.

KIM, J. et al. Gender differences in office occupant perception of indoor environmental quality (IEQ). **Building and Environment**, v. 70, p. 245–256, dez. 2013.

KINGMA, B. R. et al. Cold induced vasoconstriction at forearm and hand skin sites: the effect of age. **European Journal of Applied Physiology**, v. 109, p. 915–921, 2010.

KINGMA, B. R.; FRIJNS, A.; VAN MARKEN LICHTENBELT, W. The Thermoneutral Zone: Implications for metabolic studies. **Frontiers in Bioscience**, v. 4, p. 1975–1985, 2012.

KINGMA, B. R.; VAN MARKEN LICHTENBELT, W. D. Energy consumption in buildings and female thermal demand. **Nature Climate Change**, n. Letters, 2015.

KOHRI, I.; MOSHIDA, T. Evaluation method of thermal comfort in a vehicle with a dispersed two-node model. Part 1 - development of dispersed two-node model. **Journal of Human Environmental**

**System**, v. 6, n. 1, p. 19–29, 2002.

KOVATS, R. .; JOHNSON, H.; GRIFFITH, C. Mortality in southern England during the 2003 heat wave by place of death. **Health Statistics Quarterly**, v. 29, p. 6–8, 2006.

LAMBERTS, R. et al. **Towards a brazilian standard on thermal comfort**. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios\\_pesquis\\_a/RP\\_Towards\\_a\\_Brazilian\\_Standard\\_Complete\\_Version2013.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquis_a/RP_Towards_a_Brazilian_Standard_Complete_Version2013.pdf)>.

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

LEYTEN, J. L.; KURVERS, S. R. Robustness of buildings and HVAC systems as a hypothetical construct explaining differences in building related health and comfort symptoms and complaint rates. **Energy and Buildings**, v. 38, p. 701–707, 2006.

LICHTENBELT, W. VAN M. et al. Cold exposure - an approach to increasing energy expenditure in humans. **Trends in endocrinology and metabolism: TEM**, 17 jan. 2014.

LIKERT, R. A Technique for the measurement of attitudes. **Archives of Psychology**, v. 140, p. 1–55, 1932.

LINDEN, K. VAN DER; LOOMANS, M.; HENSEN, J. **Adaptive thermal comfort explained by PMV** (P. S.-T. et al. eds. T, Ed.) Indoor Air 2008: Proceedings of the 11th International Conference on indoor air quality and climate, Indoor Air. **Anais...**Copenhagen: 2008

LOTES, W. **Heat transfer from humans wearing clothing**. PhD Thesis, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, 1993.

LUO, M. et al. Evaluating thermal comfort in mixed-mode buildings: A field study in a subtropical climate. **Building and Environment**, v. 88, p. 46–54, jun. 2014.

MATSUNAGA, K. et al. Evaluation and measurement of thermal comfort in the vehicles with a new thermal manikin. **SAE Paper Series**, 1993.

MAVROGIANNI, A. et al. Historic variations in winter indoor domestic temperatures and potential implications for body weight gain. **Indoor and Built Environment**, v. 22, n. 12, p. 360–375, 2013.

MCALLISTER, E. J. et al. Ten putative contributors to the obesity epidemic. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 49, n. 10, p. 868–913, nov. 2009.

MORS, S. et al. Adaptive thermal comfort in primary school classrooms: Creating and validating PMV-based comfort charts. **Building and Environment**, v. 46, n. 12, p. 2454–2461, 2011.

MUZI, G. et al. Prevalence of irritative symptoms in a nonproblem air-conditioned office building. **International Archives of Occupational and Environmental Health**, v. 71, n. 6, p. 372–378, 24 ago. 1998.

NAKANO, J.; TANABE, S.; KIMURA, K. Differences in perception of indoor environment between Japanese and non-Japanese workers. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 615–621, jul. 2002.

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

NICOL, F.; HUMPHREYS, M. Derivation of the equations for comfort in free-running buildings in CEN Standard EN15251, Special Issue Section: International Symposium on the Interaction Human and Building Environment. **Building and Environment**, v. 45, n. 1, p. 11–17, 2010.

NICOL, F.; HUMPHREYS, M.; ROAF, S. **Adaptive thermal comfort: principles and practice**. Oxon – London: Routledge, 2012.

NICOL, J. F. Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics. **Energy and Buildings**, v. 36, p. 628–637, 2004.

NICOL, J. F.; ROAF, S. Pioneering new indoor temperature standards: the Pakistan project. **Energy and Buildings**, v. 23, p. 169–174, 1996.

NOVIETO, D. T.; ZHANG, Y. **Thermal comfort implications of the aging effect on metabolism, cardiac output and body**

**weight** Proceedings of Conference: Adapting to Change: New Thinking on Comfort. **Anais...** London, UK: Network for Comfort and Energy Use in Buildings, 2010

NR 17. **Ergonomics (Ergonomia)**. Brasília/DF, BR: Ministério do Trabalho, 1990.

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](http://www.ons.org.br/resultados_operacao/boletim_diario/2015_01_19/eventos_e_ocorrencias.htm)>. Acesso em: 8 abr. 2015.

OROSA, J. A. Research on the Origins of Thermal Comfort. v. 34, n. 4, p. 561–567, 2009.

PAPST, A. L. **Uso de inércia térmica no clima subtropical, estudo de caso em Florianópolis – SC**. Florianópolis: Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.

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

PAVLINIC, D.; WISSLER, E. H.; MEKJAVIC, I. Using a mathematic model of human temperature regulation to evaluate the impact of protective clothing on wearer thermal balance. **Textile Research Journal**, v. 81, n. 20, p. 2149–2159, 2011.

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

PIRARD, P. et al. Summary of the mortality impact assessment of the 2003 heat wave in France. **Euro Surveill**, v. 10, n. 7, p. 554, 2005.

RIJAL, H. B.; HUMPHREYS, M.; NICOL, F. **How do the occupants control the temperature in mixed-mode buildings? Predicting the use of passive and active controls**. Proceedings of the 2008 Windsor Conference: Air-Conditioning and the Low Carbon Cooling Challenge. **Anais...** Windsor, London, UK: Network for Comfort and Energy Use in

Buildings, <http://nceub.org.uk>. 27-29 July 2008, 2008

RING, E.; BRAGER, G. Proceedings of the ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings. **Anais...**American Council for an Energy Efficient Economy, 2000.

ROAF, S.; NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. Twentieth century standards for thermal comfort: promoting high energy buildings. **Architectural Science Review**, v. 53, p. 65–77, 2010.

SAMAN, W. et al. **A framework for adaptation of Australian households to heat waves**. National Climate Change Adaptation Research Facility, Gold Coast: 2013.

SCHELLEN, L. et al. 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, 10 set. 2012.

SCHIAVON, S.; MELIKOV, A. K. Energy saving and improved comfort by increased air movement. **Energy and Buildings**, v. 40, n. 10, p. 1954–1960, 2008.

SINGH, M. K.; MAHAPATRA, S.; ATREYA, S. K. Adaptive thermal comfort model for different climatic zones of North-East India. **Applied Energy**, v. 88, n. 7, p. 2420–2428, 2011.

SMITH, C. **A Transient three-dimensional model of the human thermal system**. PhD Dissertation, Department of Mechanical Engineering, Kansas State University, Manhattan, KS, USA, 1991.

SPINDLER, H. C.; NORFORD, L. K. Naturally ventilated and mixed-mode buildings — Part I: Thermal modeling. **Building and Environment**, v. 44, n. 4, p. 736–749, 2009.

STOLWIJK, J. A. **A mathematical model of physiological temperature regulation in man**NASA Contractor Report. NASA Contractor Report: NASA CR-1855. Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration, 1971.

SWINBURN, B. . et al. The global obesity pandemic: shaped by global drivers and local environments. **The Lancet**, v. 378, n. 9793, p. 804–814, 2011.

TAKEMORI, T.; NAKAJIMA, T.; SHOJI, Y. A fundamental model of the human thermal system for prediction of thermal comfort. **Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers**, v. 61, p. 1513–1520, 1995.

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

TANABE, S.; KIMURA, K. **Thermal comfort requirements under hot and humid conditions** Proceedings of the First ASHRAE far East Conference on Air Conditioning in Hot Climates. **Anais...**Singapore: ASHRAE, 1989

TANABE, S.; KIMURA, K. Effects of air temperature, humidity, and air movement on thermal comfort under hot and humid conditions. **ASHRAE Transactions**, v. 100, n. 2, p. 953–969, 1994.

TANAGUCHI, Y.; HIROSHI, A.; KENJI, F. . Study on car air conditioning system controlled by car occupants` skin temperatures — Part 1: research on a method of quantitative evaluation of car occupants` thermal sensations by skin temperature. **SAE Technical Paper Series**, 1992.

TIKUISIS, P. et al. Comparison of thermoregulatory responses between men and women immersed in cold water. **Journal of Applied Physiology**, v. 89, n. 4, p. 1403–1411, 2000.

TIKUISIS, P.; GONZALEZ, R. R.; PANDOLF, K. B. Thermoregulatory model for immersion of humans in cold water. **Journal of Applied Physiology**, v. 64, p. 719–727, 1988.

TOFTUM, J. Air movement - good or bad? **Indoor Air**, v. 14, p. 40–45, 2004.

TSUSHIMA, S.; TANABE, S.; UTSUMI, K. Workers' awareness and indoor environmental quality in electricity-saving offices. **Building and Environment**, v. 88, p. 10–19, jun. 2015.

VAN HOOFF, J. Forty years of Fanger's model of thermal comfort: comfort for all? **Indoor air**, v. 18, n. 3, p. 182–201, jun. 2008.

VAN HOOFF, J. Female thermal demand. **Nature Climate Changes**, n. News and Views, 2015.

VAN MARKEN LICHTENBELT, W. Human brown fat and obesity: methodological aspects. **Frontiers in endocrinology**, v. 2, n. October, p. 52, jan. 2011.

VAN SOMEREN, J. Thermoregulation and aging. **American Journal of Physiological - Regulatory, Integrative, and Comparative Physiology**, v. 292, p. 99–102, 2007.

WANG, Z. **Thermal comfort and sensation under transient conditions**. Ph.D. dissertation, Department of energy technology, division of heating and ventilation, The Royal Institute of Technology, Sweden, 1994.

WEBB, L.; PARSONS, K. **Thermal comfort requirements for people with physical disabilities** in sustainable buildings, Proceedings of the BEPAC and EPSRC mini conference. **Anais...**Oxford, UK: 1997

WIJERS, S. L. J.; SARIS, W. H. M.; VAN MARKEN LICHTENBELT, W. D. Cold-induced adaptive thermogenesis in lean and obese. **Obesity (Silver Spring, Md.)**, v. 18, n. 6, p. 1092–9, jun. 2010.

WISSLER, E. H. Steady-state temperature distribution in man. **Journal of Applied Physiology**, v. 16, p. 734–740, 1961.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **BMI classification**. Disponível em: <[http://apps.who.int/bmi/index.jsp?introPage=intro\\_3.html](http://apps.who.int/bmi/index.jsp?introPage=intro_3.html)>. Acesso em: 9 jul. 2015.

WYON, D. **Enhancing productivity while reducing energy use in buildings** Proceedings of the E-Vision 2000. **Anais...**Washington, DC: RAND Corporation: Department of Energy, Washington DC, 2000

XAVIER, A. A. P.; LAMBERTS, R. Indices of thermal comfort developed from field survey in Brazil. **ASHRAE Transactions**, v. 106, p. 45–58, 2000.

YAGLOU, C. P.; A. MESSER. Effective temperature with clothing. **Journal American Society of Heating and Ventilation Engineers**, v. 31, n. 89, 1925.

YAO, L.; LI, B.; LIU, J. A theoretical adaptive model of thermal comfort – adaptive predicted mean vote. **Building and Environment**, v. 44, p. 2889–2898, 2009.

ZANOTTO, V.; FERRARI, S. Adaptive comfort: analysis and application of the main indices. **Building and Environment**, v. 49, p. 25–37, 2012.

ZHAI, Y. et al. Human comfort and perceived air quality in warm and humid environments with ceiling fans. **Building and Environment**, v. 90, p. 178–185, ago. 2015.

ZHANG, H. **Human thermal sensation and comfort in transient and non-uniform thermal environments**. Human thermal sensation and comfort in transient and non-uniform thermal environments, 2003.

ZHANG, H. et al. Air movement preferences observed in office buildings. **International journal of Biometeorology**, v. 51, p. 349–360, 2007.

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, set. 2015.

ZHANG, Y. et al. Thermal comfort in naturally ventilated buildings in hot-humid area of China. **Building and Environment**, v. 45, n. 11, p. 2562–2570, 2010.

**APÊNDICE A**  
**Planilha de levantamento das características das edificações**

<b>Informações básicas da edificação</b>		
Nome do contato/Posição		
Telefone/e-mail:		
Nome da Edificação:		
Endereço:		
Cidade/Estado		
Ano de construção:		
Última reforma em:		
Área total da edificação:		
Edificação possui algum tipo de certificação?	Se sim, qual?	
	Outros detalhes:	
Horário de operação:		
Número de pavimentos		
	Se mais de um pavimento, possui o mesmo layout?	
Altura do pé-direito:		
Número de ocupantes:		
Densidade de ocupantes:		
Ocupação máxima:		
Se sim, quais fachadas?		
<b>Sistema de Iluminação</b>		
Utiliza iluminação natural:		
Utiliza algum controle de iluminação natural?		
Utiliza sensores de ocupação?:		
Iluminação predominante:		
Tipo de lâmpada dominante:		

<b>Sistema de condicionamento e ventilação</b>		
Tipo:		
	Se sistema central de condicionamento, possui algum dispositivo de controle?	
	Se sim, detalhes:	
	Existe alguma rede de comunicação/sugestão/ opinião dos funcionários?	
	Se sim, detalhes:	

## **APÊNDICE B**

### **Resultados do experimento piloto**

O estudo piloto foi realizado em duas salas diferentes, localizadas no bloco A do prédio de Engenharia Civil da UFSC, dias 26 e 27 de fevereiro de 2014; períodos matutino e vespertino, respectivamente. Na ocasião, participaram do experimento seis pessoas no primeiro dia, e seis pessoas no segundo dia, totalizando doze participantes (cinco do gênero masculino e sete do gênero feminino; idade média de 29 anos). Todos os procedimentos do protocolo de medição preliminar foram seguidos, e os ocupantes participaram do experimento respondendo ao questionário inicial. Embora o tamanho da amostra tenha sido limitado, e o perfil dos participantes diferente do perfil dos funcionários das empresas onde os experimentos de campo foram realizados, o principal objetivo do estudo piloto se cumpriu com êxito: testar a calibração dos equipamentos, os procedimentos de medição e o *software* com o questionário.

#### **B.1 Calibração dos equipamentos**

Previamente à realização do estudo piloto e experimento de campo, todos os equipamentos foram calibrados pelo fornecedor (LMPT) e testados pela pesquisadora. As estações microclimáticas SENSU foram posicionadas próximas uma da outra para serem testadas, e todas as variáveis medidas e comparadas. O sensor de velocidade do ar também foi posicionado próximo aos sensores dos confortímetros, e seus resultados levantados e aferidos com base nos valores verificados pelos sensores de velocidade do ar dos confortímetros.

##### **B.1.1 Confortímetros SENSU e sensor de velocidade do ar portátil**

Após a primeira calibração dos equipamentos, os confortímetros SENSU foram posicionados próximos um do outro em um local com condições homogêneas de temperatura, velocidade e umidade relativa do ar. Os valores medidos por todos os sensores de ambas as estações foram comparados entre si. Na ocasião, observou-se que os resultados obtidos por meio de sensores apresentavam diferenças significativas entre os valores de uma estação e outra, variando de forma não linear. Provavelmente, tais resultados ocorreram ao calibrar cada estação de forma separada. Assim, os sensores foram novamente submetidos à

calibração pelo fabricante. Entretanto, na segunda calibração solicitou-se ao fabricante que todos os sensores dos 3 equipamentos (duas estações SENSU e o termoanemômetro portátil) fossem calibrados simultaneamente. Após a segunda calibração, os sensores foram posicionados utilizando-se o mesmo procedimento e ambiente da primeira calibração, e os valores medidos e comparados novamente entre si. Durante a segunda comparação, o sensor portátil de velocidade do ar também foi testado, sendo posicionado próximo aos demais sensores (Figura 114).

Figura 114. Estações microclimáticas SENSU durante a medição realizada para a primeira comparação (à esquerda), e a medição realizada para a segunda comparação (à direita) .



Os resultados provenientes das duas comparações foram divididos em dois grupos: (A) resultados verificados após a primeira calibração do fabricante; (B) resultados verificados após a segunda calibração do fabricante. A Figura 115 apresenta a comparação entre os valores medidos de temperatura do ar entre o confortímetro SENSU do LabCon e o confortímetro do LabEEE durante a primeira comparação, e a Figura 116 durante a segunda comparação. As linhas mais claras abaixo e acima das linhas dos valores medidos nos tons de cores correspondentes representam as faixas de precisão dos sensores, fornecidas pelo fabricante.

Figura 115. Primeira comparação dos valores de temperatura do ar.

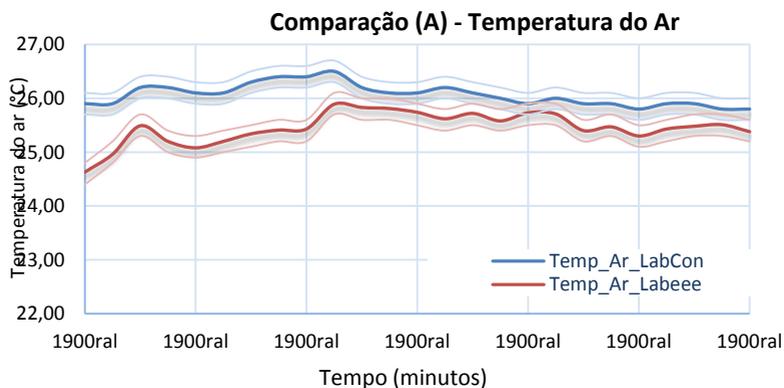
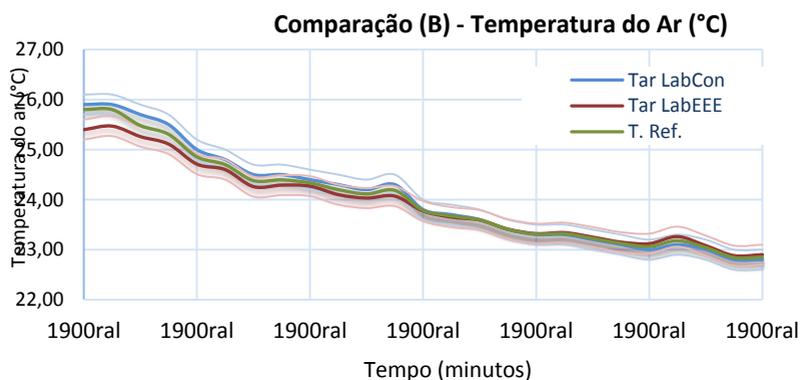


Figura 116. Segunda comparação dos valores de temperatura do ar.

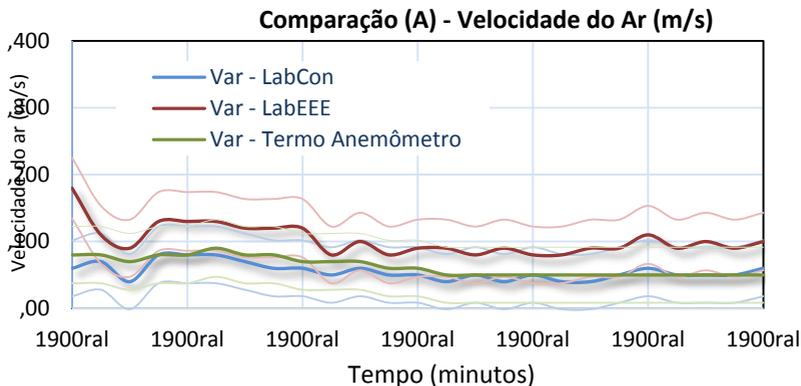


Na primeira comparação entre os equipamentos, o ambiente permaneceu com as mesmas condições de temperatura de *setpoint* do condicionador de ar, e a diferença entre os valores medidos variou entre  $0,2^{\circ}\text{C}$  e  $1,3^{\circ}\text{C}$ , com um valor médio de  $0,5^{\circ}\text{C}$  (Figura 115). Ainda nesta Figura, é possível observar que o tempo de resposta até os sensores se estabilizarem foi de aproximadamente 50 minutos, o que passará a ser utilizado no momento das medições. Na segunda comparação, os valores só começaram a ser registrados após 50 minutos de medição (após a estabilização dos sensores), e, a partir deste momento, o *setpoint* do condicionador de ar começou a ser alterado para verificar a resposta dos sensores. Na Figura 116 observa-se que após a segunda calibração dos equipamentos, o sensor de temperatura do ar de ambas as estações apresentaram valores muito próximos um do outro, e próximos também

do valor de referência, medido a partir de um termômetro de mercúrio de alta precisão. A diferença entre os valores medidos de uma estação e outra variou entre 0,0 e 0,5°C, com um valor médio de 0,1°C.

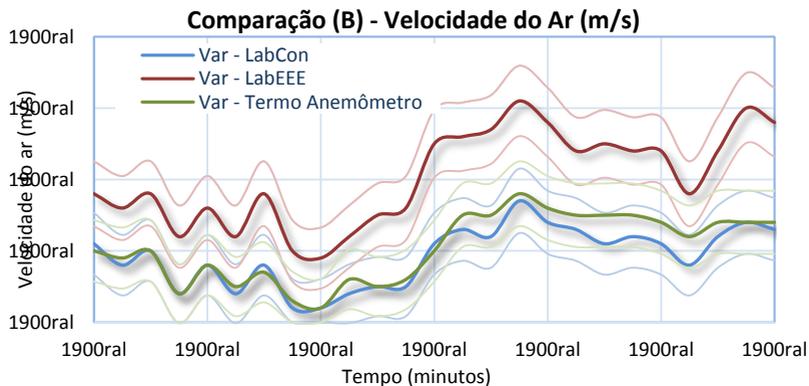
O sensor de velocidade do ar apresentou comportamento similar ao de temperatura do ar, considerando as duas comparações (Figura 117 e Figura 118). Dentre as estações SENSU, observaram-se na primeira comparação os mesmos 50 minutos iniciais até a estabilização do sensor (Figura 117). No entanto, é importante considerar que na comparação entre os valores de velocidade do ar, não houve nenhum equipamento específico de alta precisão para verificação dos valores medidos. Previamente à segunda comparação, os sensores foram calibrados no túnel de vento com um anemômetro de alta precisão, sendo o sensor da estação SENSU do LabCon aquele com a melhor resposta, e assim utilizado como referência durante as comparações. As linhas mais claras em ambas as figuras representam os intervalos de precisão dos sensores de velocidade do ar das estações microclimáticas SENSU.

Figura 117. Primeira comparação dos valores de velocidade do ar.



Após a segunda calibração, o sensor de velocidade do ar portátil continuou apresentando valores dentro da faixa de precisão do confortímetro do LabCon, enquanto o sensor de velocidade da estação do LabEEE apresentou uma diferença média 0,11 m/s durante toda a medição, que permaneceu quase que constante durante os 120 minutos de medição (Figura 118). Assim, para a próxima etapa do trabalho, os valores medidos pelo sensor de velocidade do ar do confortímetro do LabEEE serão ajustados de acordo com o valor médio de diferença encontrado.

Figura 118. Segunda comparação dos valores de velocidade do ar.



A estação microclimática do LabCon também foi estabelecida como referência para os valores de temperatura de globo e umidade relativa do ar. Nas comparações após a segunda calibração, observou-se que os valores da temperatura de globo (Figura 119 e Figura 120) e umidade relativa do ar (Figura 121 e Figura 122) foram ajustados, passando a registrar valores dentro do intervalo de precisão. Já a temperatura de globo continuou a apresentar uma flutuação levemente diferente entre uma linha e outra. No entanto, é necessário considerar que os dois termômetros de globo apresentam diferenças com relação à localização dentro do espaço de medição (Figura 120).

Figura 119. Primeira comparação dos valores de temperatura de globo.

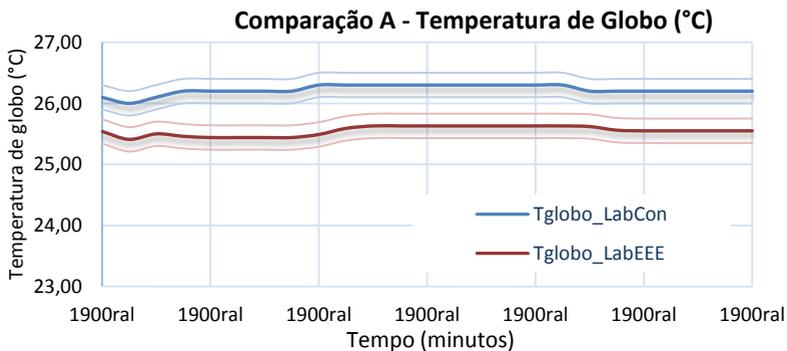
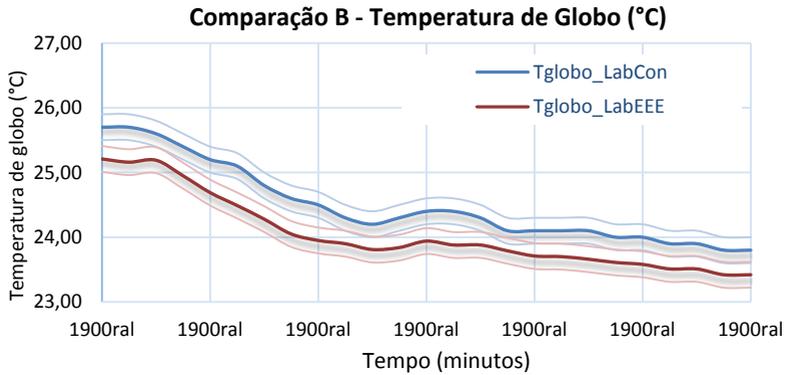


Figura 120. Segunda comparação dos valores de temperatura de globo.



Com relação à umidade relativa do ar, observou-se que após a segunda calibração, os valores passaram a apresentar uma diferença média de aproximadamente 2% (Figura 122).

Figura 121. Primeira comparação dos valores de umidade relativa do ar.

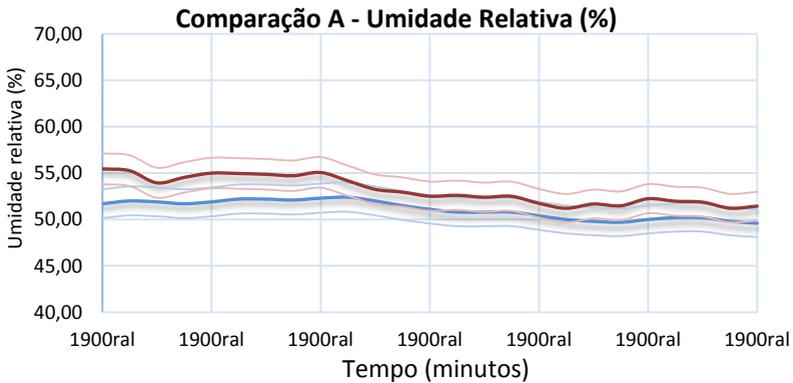
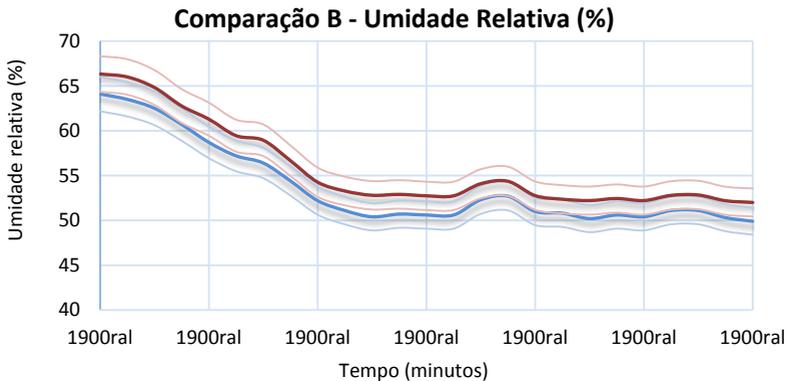


Figura 122. Segunda comparação dos valores de umidade relativa do ar.



## B.2 Aplicação do protocolo de medição

Durante o experimento piloto, seguiu-se um protocolo de medição preliminar. Assim, foram observados aos seguintes problemas que foram posteriormente corrigidos para a versão final:

- Ao testar os equipamentos e calibrá-los anteriormente às medições piloto, observou-se que as estações microclimáticas demandavam um intervalo maior de tempo para estabilização dos sensores, o que foi ajustado nas etapas seguintes.
- Ambientes de trabalho são espaços de difícil controle; os ocupantes muitas vezes levantam e deixam a sua estação de trabalho por um período curto, ou às vezes por um período de tempo maior. A simples marcação e observação do comportamento dos usuários (que não se identificam nos questionários) torna o controle inviável, o que demandou mudanças diretas no questionário.
- Ao sair da sua estação de trabalho, algumas pessoas acabam levando um intervalo superior a 20 minutos para responder cada rodada de perguntas (a cada 20 minutos, uma tela se abre, e só é fechada após a pessoa respondê-la). Assim, antes do início de cada medição, todo o protocolo era rigorosamente explicado aos participantes de forma a evitar confusão e abandono da pesquisa antes do final do questionário. De uma forma geral, observou-se que ao enfatizar a importância do experimento e dos resultados encontrados, a taxa de retorno dos questionários era sempre maior.

- Durante a aplicação do piloto observou-se que em alguns espaços a localização do equipamento apresenta melhores resultados quando posicionada próxima à concentração de usuários, e não em um ponto central. A ocupação em ambientes de trabalho normalmente acontece de forma não uniforme, o que pode resultar em áreas mais isoladas e outras mais ocupadas.
- Em todas as medições, o confortímetro foi posicionado a uma altura de 0,60m do chão, equivalente à altura do tronco de pessoas sentadas.

### B.3 Aplicação do Questionário

Após a aplicação do software com o questionário durante o experimento piloto, alguns problemas foram identificados pelos participantes, e outros identificados pela pesquisadora, que foram corrigidos antes da versão final. Todas as alterações feitas estão descritas a seguir:

#### **B.3.1 Ajustes na tela inicial: dados gerais e características pessoais**

- O primeiro problema observado durante a aplicação do questionário relacionou-se à identificação dos dados subjetivos levantados em cada uma das edificações. Os dados das duas salas avaliadas no experimento piloto se misturaram quando formatados no banco de dados, e a única forma de identificação até então eram as informações de data e hora das respostas. Como as edificações foram medidas simultaneamente, foi necessário acrescentar uma questão inicial para os usuários identificarem em qual empresa estão localizados; Assim, a primeira questão adicionada foi: “Por favor, identifique abaixo o nome da empresa em que você trabalha (esta informação será utilizada apenas para a identificação dos dados levantados)”;
- Durante o experimento piloto, alguns participantes demonstraram dificuldades no momento de procurar e assinalar todas as peças de roupa que estavam vestindo. Assim, utilizou-se uma nova identidade visual para facilitar a busca pelas peças de roupa, e as vestimentas foram separadas pela parte do corpo a ser coberta (por exemplo: peças de roupas abaixo do tronco, acima do tronco; sapatos e peças inteiras, como vestidos, macacões, etc.);

- Durante o preenchimento do questionário, muitas vezes o participante tentava avançar nas telas, sem, no entanto, preencher todas as questões. Desta forma, uma janela surgia informando-o que todas as questões deveriam ser preenchidas antes de avançar para as próximas etapas. Durante o piloto, observou-se que muitos usuários tinham problemas ao tentar identificar qual era a questão pendente, e muitas vezes demoravam até encontrá-la. Assim, elaborou-se um código no software que destaca por meio de uma alteração nas cores do texto (vermelho) a questão pendente a ser respondida;
- As questões relacionadas ao uso do condicionamento artificial estavam gerando dúvidas nos participantes, que muitas vezes afirmavam utilizar o condicionamento artificial apenas em dias mais quentes. Foi sugerido então que a questão fosse alterada, especificando em qual período do ano os usuários costumavam utilizar o condicionamento artificial com maior frequência. Adicionou-se ainda uma nova condicionante na questão “Fora do trabalho, você utiliza ar condicionado?” no formato: “Se sim, quando?”; foram dadas as opções: “apenas em dias muito quentes” e “quase sempre, independentemente da condição externa”.
- Mesmo enfatizando que o software funcionaria 100% de forma automática, sem que fosse necessário clicar novamente no ícone executável, durante o intervalo entre uma resposta e outra, alguns participantes acabavam executando o software repetidamente. Assim, acrescentou-se uma mensagem automática que aparece sempre que o usuário terminar de responder uma rodada e iniciar o processo de espera até a próxima, lembrando-o que após 20 minutos uma nova tela se abriria automaticamente.

### **B.3.2 Ajustes na tela de avaliação em tempo real**

- A primeira questão da avaliação em tempo real (Qual a sua sensação térmica neste momento?) oferecia ao usuário uma escala móvel que poderia ser arrastada com o mouse para a esquerda (em direção ao voto de frio) ou para a direita (em direção ao voto de calor). No entanto, durante o experimento piloto observou-se que muitos usuários não deslocavam a escala que já vinha posicionada em “neutro” por esquecimento, e às vezes até por falta de disposição. Assim, para evitar que os usuários passassem pela questão sem adequar sua sensação térmica corretamente, a escala

com deslocamento foi substituída por uma escala com opções que deveriam ser selecionadas com o mouse, no mesmo formato de todas as outras questões de múltiplas escolhas anteriores.

- Ao avaliar cuidadosamente o questionário, observou-se que a questão de aceitabilidade do ambiente térmico não havia sido considerada até então (havia apenas a questão com relação à aceitabilidade da velocidade do ar). Assim, adicionou-se a questão “Para você, este ambiente térmico é:”, com as alternativas “inaceitável” ou “aceitável”.
- Na questão relacionada ao conforto térmico (Neste momento, você considera este ambiente confortável?), foi adicionada uma questão complementar para o usuário que disser estar desconfortável. Neste caso, o usuário será direcionado para uma nova questão: “desconfortável, pois:” onde serão fornecidas as seguintes alternativas: “minhas mãos estão geladas”, “meus pés estão gelados” ou, o usuário pode selecionar “outra parte do corpo”, e um campo em branco para descrevê-la será fornecido.
- Frente à dificuldade de controle dos usuários dentro de um ambiente de trabalho, as seguintes questões foram adicionadas na tela de avaliação em tempo real do ambiente: “desde a última vez que você respondeu o questionário até agora, houve alguma mudança na sua vestimenta? Se sim, qual?” e também a questão “desde a sua resposta anterior até agora, você se levantou e deixou a sua estação de trabalho por um período superior a 5 minutos?”;
- A questão a respeito da ingestão de bebidas quentes ou frias durante uma resposta e outra, que antes aparecia somente na tela final do questionário, também foi deslocada para a tela de avaliação em tempo real, solicitando aos usuários respondê-la a cada 20 minutos.
- Alguns participantes reclamaram da questão relacionada à produtividade no trabalho, argumentando que dentro de um intervalo de 20 minutos, pouca coisa poderia se alterar. Segundo os participantes, a produtividade seria medida de forma mais coerente se respondida apenas no final do período da manhã, ou no final do período da tarde. Assim, a questão da produtividade no trabalho foi deslocada para a tela final do software, devendo ser respondida apenas uma vez. Adicionalmente, foi anexado à questão um atalho em forma de um ponto de interrogação com explicações adicionais relacionadas à questão e a forma como respondê-la.

### **B.3.3 Ajustes na tela final do questionário**

A questão relacionada à produtividade no trabalho foi deslocada para a janela final. Com ela, um dos participantes do piloto sugeriu que fosse acrescentada uma questão com relação ao volume de trabalho durante o período de medição, já que a produtividade é algo que depende diretamente da quantidade de atividades pendentes; Assim, adicionou-se a seguinte questão anteriormente à questão da produtividade: “qual o seu volume de trabalho no dia de hoje?”; e as alternativas oferecidas: “alto”, “razoável” e “baixo”.

### **B.4 Avaliação do questionário pós-participação no experimento**

Após a participação no experimento, os ocupantes foram convidados via e-mail para avaliar os procedimentos de pesquisa e o questionário respondido por meio do SurveyMonkey<sup>4</sup>. Os ocupantes responderam a sete perguntas de múltiplas escolhas, e uma questão discursiva. Dentre os 12 participantes do experimento piloto, 12 responderam ao questionário de avaliação do piloto, apresentado no Anexo B. As perguntas visaram principalmente a especulação do tempo de resposta do questionário, nível de dificuldade no manuseio do software e entendimento das questões, e nível de interferência do questionário nas atividades de trabalho. Os resultados desta pesquisa também serão utilizados para o aprimoramento do protocolo de medições e do questionário final.

#### **B.4.1 Avaliação do questionário**

Dois dias após responderem ao questionário, os participantes foram convidados via e-mail para participarem de uma pesquisa de avaliação do documento. Todos os participantes avaliaram o questionário, respondendo a sete questões de múltipla escolha e uma questão aberta. Os resultados da avaliação do questionário foram utilizados pela pesquisadora como uma forma de *feedback* relacionado à interface, compreensão e usabilidade do software desenvolvido. Também, os resultados da avaliação do questionário foram apresentados às diretorias das empresas envolvidas no experimento como uma forma

---

<sup>4</sup> O SurveyMonkey é uma página online que cria questionários e análises de dados gratuitamente. No sistema, os dados são coletados via e-mail, facebook ou site pessoal. Disponível em: <https://pt.surveymonkey.com>.

de apresentação dos procedimentos de trabalho e informações gerais a respeito do questionário e tempo demandado para respondê-lo.

Assim, a primeira questão enviada aos participantes foi: “Quão fácil foi a utilização do programa? (considere desde a execução do aplicativo até o final do questionário). As alternativas oferecidas foram: “muito fácil”, “fácil”, “neutro”, “complicada” e “muito complicada”. Dentre os doze usuários que participaram da pesquisa, todos responderam que a utilização do software foi considerada “muito fácil” (Figura 123). Em seguida, os participantes foram questionados a respeito da interpretação das perguntas: “Quão fácil foi a interpretação das perguntas?”, e as seguintes alternativas foram fornecidas: “muito fácil”, “fácil”, “neutro”, “complicada” e “muito complicada”. Dentre os participantes que responderam à pergunta, quatro assinalaram “muito fácil”, e oito assinalaram “fácil” (Figura 124).

Figura 123. Dados da avaliação do software do questionário relacionados à facilidade de uso.

1) Quão fácil foi a utilização do programa? (considere desde a execução do aplicativo até o final do questionário).

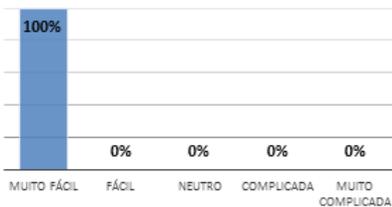
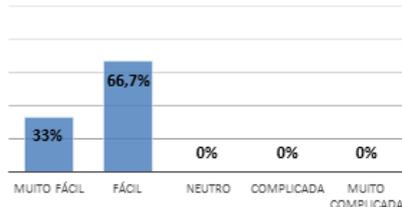


Figura 124. Dados da avaliação do software do questionário relacionados à interpretação das perguntas.

2) Quão fácil foi a interpretação das perguntas do questionário?



Em seguida, os participantes foram questionados a respeito do tempo demandado para responder cada uma das etapas do questionário (informações gerais, avaliação em tempo real e informações adicionais). Para as três perguntas relacionadas ao tema, foram fornecidas as mesmas alternativas de respostas: “muito rápido”, “rápido”, “neutro”, “demorado” e “muito demorado”. Na primeira questão (“Quão rápido foi o preenchimento da primeira etapa do questionário? - características e preferências pessoais”), dentre os doze usuários participantes, quatro consideraram o tempo de resposta muito rápido, sete consideraram rápido e uma pessoa ignorou a questão, não a respondendo (Figura 125). Na questão seguinte (“Quão rápido foi o preenchimento da segunda etapa do questionário? - questões de conforto térmico que se repetiam a

cada 20 minutos”), cinco responderam “muito rápido” e sete responderam “rápido” (Figura 126). Na última questão relacionada ao tempo de preenchimento (“Quão rápido foi o preenchimento da última etapa do questionário? - informações adicionais”), duas pessoas responderam “muito rápido” e dez responderam “rápido” (Figura 127).

Figura 125. Dados da avaliação do software do questionário relacionados à rapidez de uso na primeira parte de perguntas.

1) Quão rápido foi o preenchimento da primeira etapa do questionário (características e preferências pessoais)?

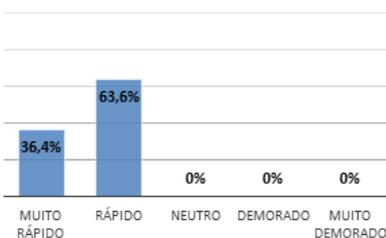


Figura 126. Dados da avaliação do software do questionário relacionados à rapidez de uso na segunda parte de perguntas.

2) Quão rápido foi o preenchimento da segunda etapa do questionário (questões de conforto térmico que se repetiam a cada 20 minutos)?

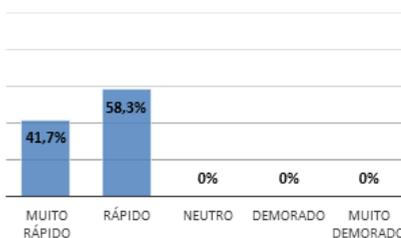
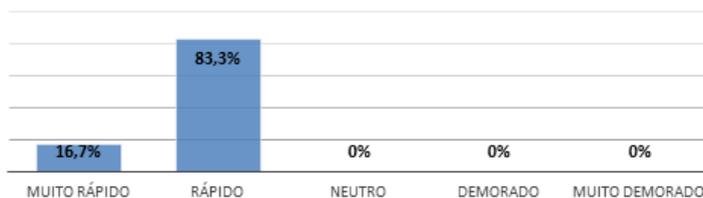


Figura 127. Dados da avaliação do software do questionário relacionados à rapidez de uso na terceira parte de perguntas.

3) Quão rápido foi o preenchimento da última etapa do questionário (informações adicionais)?



As duas últimas questões de múltipla escolha que os usuários responderam foram: “você achou a interface do programa amigável?”, com as alternativas “é amigável” e “não é amigável”; e, “O preenchimento do questionário interferiu na sua produtividade no trabalho?”, com as alternativas “não interferiu”, “interferiu pouco”, “interferiu muito”. Na primeira questão, onze consideraram a interface

amigável e um participante não considerou a interface amigável (Figura 128). Na segunda questão, oito participantes disseram que o questionário não interferiu na sua produtividade no trabalho, e quatro disseram que interferiu pouco (Figura 129).

Figura 128. Dados da avaliação do software do questionário relacionados à interface.

1) Você achou a interface do programa amigável?

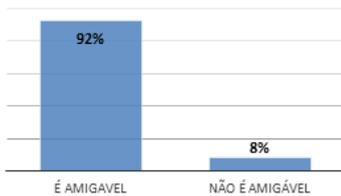
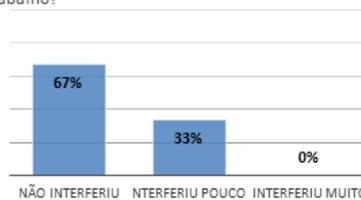


Figura 129. Dados da avaliação do software do questionário relacionados à interferência no trabalho.

2) O preenchimento do questionário interferiu na sua produtividade no trabalho?



Finalmente, os participantes opinaram em uma questão aberta, oferecendo sugestões e recomendações para futuras versões do software. Dentre os doze participantes que avaliaram o questionário, apenas dois responderam a questão “Quais são as suas recomendações para melhorarmos o questionário e método de aplicação?”. Dentre as respostas obtidas, observaram-se as seguintes recomendações: 1) “*Se possível, dar instruções dos critérios antes de iniciar.*”; e, 2) “*Acho que a pergunta sobre se a pessoa ingeriu algo deveria vir a cada 20 minutos, pois, no meu caso, fez bastante diferença em uma das minhas respostas. Depois a sensação de desconforto voltou. Minha sugestão é não deixar a sala tão gelada, pois o experimento é relativamente longo para se deixar os usuários em desconforto térmico*”. Ambas as respostas foram consideradas nas seguintes versões do questionário.

## APÊNDICE C

### Avaliação do questionário

#### Avaliação do questionário de conforto térmico

1. Quanto fácil foi a utilização do programa? Desde a execução do aplicativo até o final do questionário.

Muito fácil       Fácil       Complicada       Muito complicada

Comentários Adicionais:

2. Quanto fácil foi a interpretação das perguntas?

Muito fácil       Fácil       Complicada       Muito complicada

Comentários gerais:

3. Quanto rápido foi o preenchimento da primeira etapa do questionário (características e preferências pessoais)?

Muito rápido       Rápido       Demorado       Muito demorado

Comentários gerais:

4. Quanto rápido foi o preenchimento da segunda etapa do questionário (questões de conforto térmico que se repetiam a cada 20 minutos)?

Muito rápido       Rápido       Demorado       Muito demorado

Comentários gerais:

5. Quanto rápido foi o preenchimento da última etapa do questionário (informações adicionais)?

Muito rápido       Rápido       Demorado       Muito demorado

Comentários gerais:

6. Você achou a interface do programa amigável?

É amigável       Não é amigável

Sugestões:

7. O preenchimento do questionário interferiu na sua produtividade no trabalho?

Não interferiu

Interferiu pouco

Interferiu muito



Sugestões:

8. Quais são as suas recomendações para melhorarmos o questionário e método de aplicação?

## APÊNDICE D

### Questionário

TELA 1. Dados gerais e características físicas.

1ª Parte - Dados Pessoais e Características Gerais

**LabEEE** Avaliação das Condições de Conforto Térmico e Qualidade do Ar no Ambiente de Trabalho

Por favor, identifique abaixo o nome da empresa em que você trabalha, e seu respectivo setor. (Esta informação será utilizada apenas para a caracterização dos dados levantados)

Por favor, coloque aqui a identificação com o número que o pesquisador te entregou:

1. Registre seus dados pessoais

**Idade:**  (Anos)      **Altura:**  (Metros)

**Peso:**  (Kg)      **Sexo:**  Feminino  Masculino

2. Desconsiderando sua roupa íntima, por favor selecione todas as peças de roupa que você estiver usando neste momento:

<input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/> 
<input type="checkbox"/> Camiseta/Camiseta Polo	<input type="checkbox"/> Calça Jeans	<input type="checkbox"/> Meia-calça
<input type="checkbox"/> Camisa manga longa	<input type="checkbox"/> Calça Social	<input type="checkbox"/> Meias de nylon
<input type="checkbox"/> Camisa manga curta	<input type="checkbox"/> Calça moleton	<input type="checkbox"/> Meias esportivas
<input type="checkbox"/> Suéter manga longa	<input type="checkbox"/> Saia curta (joelho)	<input type="checkbox"/> Botas
<input type="checkbox"/> Suéter manga curta	<input type="checkbox"/> Saia longa (canela)	<input type="checkbox"/> Tênis/sapato
<input type="checkbox"/> Jaqueta/paletó fino	<input type="checkbox"/> Shorts/Bermuda	<input type="checkbox"/> Sandálias
<input type="checkbox"/> Jaqueta/paletó grosso		<input type="checkbox"/> Outra: (Especifique)
<input type="checkbox"/> Blusa moleton	<input type="checkbox"/> 	
<input type="checkbox"/> Colete	<input type="checkbox"/> Vestido social	
	<input type="checkbox"/> Macacão	

3. Há quanto tempo você trabalha nesta empresa?  (Anos)

4. Há quanto tempo você trabalha neste mesmo espaço (mesa/sala)?  (Anos)

5. Em um dia típico, quantas horas você costuma passar no seu local de trabalho?  (Horas)

6. Como você descreveria a atividade que você realiza?

Sentado/Quieto       Sentado/Digitando       Em pé/Caminhando

Outra:

13%

Próximo

Desenvolvido por:  
Laboratório de Eficiência Energética em Edificações | Universidade Federal de Santa Catarina.  
Renata De Vecchi, Karan Besen e Ricardo Rupp.

TELA 2. Hábitos e Preferências pessoais, com um exemplo de preenchimento.

2ª parte - Hábitos e Preferências Pessoais

**LabEEE** Avaliação das Condições de Conforto Térmico e Qualidade do Ar no Ambiente de Trabalho

1. Como você descreveria suas características de humor, condição física e saúde no dia de hoje

**Humor**  
 Bem humorado     Mal humorado

**Condição física**  
 Cansado     Bem disposto

**Saúde**  
 Estou saudável     Tenho problemas respiratórios (bronquite, asma)  
 Estou resfriado/gripado     Tenho sinusite/rinite     Outro

2. Você utiliza lentes de contato?     Sim     Não

3. Você fuma durante o expediente?     Sim     Não

4. Você pratica atividades físicas?     Todos os dias  
 2 a 3 vezes por semana  
 Não pratico nenhuma atividade física

5. Se você pudesse escolher, qual destas estratégias você utilizaria para climatizar um ambiente nos períodos mais quentes do ano:  
 Ventilação natural     Ventilação natural e ventiladores     Ar condicionado

6. Fora do trabalho, você utiliza ar condicionado?  
 Sim     Não

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

Se sim, onde?  
 Em casa, para dormir     Em casa, na sala     No carro

E por quanto tempo?  
 Menos de 4 horas     Entre 4 e 8 horas     Mais do que 8 horas

Desenvolvido por: 26% Próximo

Laboratório de Eficiência Energética em Edificações | Universidade Federal de Santa Catarina.  
 Renata De Vecchi, Karran Besen e Ricardo Rupp.

### TELA 3. Avaliação em tempo real, com um exemplo de preenchimento.

Lab

EEE

## Avaliação das Condições de Conforto Térmico no Ambiente de Trabalho

---

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



Com muito  
frio

Com frio

Levemente  
frio

Neutro

Levemente  
calor

Com calor

Com muito  
calor

---

2. Você preferiria estar:

Mais aquecido
  Assim mesmo
  Mais resfriado

---

3. Para você este ambiente térmico é:

Aceitável
  Inaceitável

---

4. Neste momento, você considera este ambiente:

Confortável
  Desconfortável

Desconfortável pois:

Minhas mãos estão geladas
  Meus pés estão gelados

Outro:

---

5. Com relação à velocidade do ar neste momento, está:

Aceitável
  Inaceitável

Inaceitável pois:

Velocidade do ar muito alta
  Velocidade do ar muito baixa

---

6. Considerando sua resposta anterior, qual sua preferência com relação ao movimento do ar neste momento?

Mais movimento de ar
  Não mudar
  Menos movimento do ar

---

7. Desde a última vez que você respondeu o questionário até agora, houve alguma mudança na sua vestimenta?

Não, permaneci com as mesmas peças de roupa do início da pesquisa.
  Sim, acrescentei ou retirei alguma peça de roupa. Qual?

---

8. Entre uma resposta e outra, você levantou e deixou a sua estação de trabalho por um período superior à 5 minutos?

Sim
  Não

---

9. Desde a última vez que você respondeu o questionário até agora, você ingeriu alguma bebida quente ou fria? Qual?

39%

Próximo

Desenvolvido por:  
Laboratório de Eficiência Energética em Edificações | Universidade Federal de Santa Catarina.  
Renata De Vecchi e Karran Besen.

**TELA 4.** Informações adicionais antes de encerrar a participação.



## Avaliação das Condições de Conforto Térmico no Ambiente de Trabalho

1. Qual o seu volume de trabalho no dia de hoje:

Alto     Razoável     Baixo

---

2. Comparando ao normal, por favor estime como você se sente com relação à sua produtividade no trabalho no dia de hoje - se aumentou ou diminuiu - através da escala de valores abaixo:

?



-40%

-30%

-20%

-10%

+0%

+10%

+20%

+30%

+40%



3. Se você pudesse implantar algum outro sistema, ou tomar atitudes para melhorar o ambiente térmico do seu espaço de trabalho, quais seriam elas?

100%

Próximo

# APÊNDICE E

## Carta de apresentação para as empresas

**LabEEE** UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES



Campus Universitário, Trindade, Caixa Postal 476, CEP 88040-900, Florianópolis-SC, Brasil

Florianópolis, 10 de Fevereiro de 2014.

### PROJETO DE PESQUISA: LEVANTAMENTO DE DADOS DE CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTE EMPRESARIAL

<b>Título da Tese:</b>	Sistemas mistos de condicionamento ambiental: indicadores para o melhor desempenho e elaboração de um método para avaliação de edificações comerciais em climas quentes e úmidos.
<b>Pesquisadora:</b>	Renata De Vecchi
<b>Orientadores:</b>	Roberto Lamberts e Christhina M. Cândido
<b>Contato:</b>	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) / Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). E-mail: <a href="mailto:renata_vecchi@labeee.ufsc.br">renata_vecchi@labeee.ufsc.br</a> . Tel.: (48) 3721-5184 / (48) 9964-0647

#### 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o setor de edificações é responsável por 40% do consumo energético mundial. Em edificações comerciais, 70% da energia consumida se destinam aos mecanismos de condicionamento e iluminação artificial. Devido ao grande potencial de economia energética e redução nas emissões de gases do efeito estufa no setor comercial, a Agenda 21 Global tem discutido frequentemente a racionalização da demanda energética proveniente da operação de sistemas de aquecimento e resfriamento artificiais. Ainda de acordo com o Ministério do Meio Ambiente, os países em desenvolvimento devem estar conscientes do alto impacto que o consumo energético desnecessário voltado à climatização artificial exerce sob suas edificações, e conseqüentemente, sob todo o mundo. Uma simples mudança operacional pode gerar melhorias instantâneas, reduzindo a demanda energética e as emissões de carbono de forma significativa.

Além destes fatores relacionados à questão energética, entender o comportamento dos ocupantes e suas preferências com relação ao ambiente térmico é também algo imperativo. A qualidade interna do ar e o conforto térmico são aspectos importantes a serem considerados quando se busca garantir qualidade ambiental, satisfação e produtividade dos funcionários. Se por um lado observamos uma grande preocupação dos projetistas em conceber espaços com condições estáticas de temperatura, por outro lado se faz necessário entender que nem os ambientes, e nem os ocupantes trabalham de forma estática. As novas abordagens para a idealização de ambientes com sistemas de condicionamento artificiais eficientes requerem um entendimento avançado sobre como os ocupantes respondem aos estímulos e às variações do ambiente ao longo do ano, e sobre como as suas expectativas podem influenciar na percepção e satisfação de uma maneira geral. Ao compreender as necessidades dos usuários, conhecendo as condições e os parâmetros relativos à qualidade interna do ar e conforto térmico, é também possível obter uma redução significativa dos desperdícios causados pelo aquecimento e refrigeração excessiva em ambientes condicionados artificialmente.

Neste contexto, o principal objetivo desta pesquisa é levantar, de forma precisa e conclusiva, dados de conforto térmico e qualidade ambiental em edificações que operam com diferentes sistemas



de climatização ambiental (ar condicionado e ventilação natural). A partir dos resultados finais, o projeto irá destacar alguns indicadores para o melhor desempenho energético (padrão de operação dos edifícios) em conjunto com a satisfação e preferência térmica dos ocupantes de todas as edificações estudadas. Para este fim, serão selecionadas edificações comerciais localizadas em Florianópolis que operam com um sistema central de condicionamento de ar durante o ano todo e edificações que operam de forma mista - controladas pelos usuários, alternando entre o condicionamento artificial e a ventilação natural.

Ao objetivo principal, somam-se os objetivos específicos:

1. Comparar a percepção, preferência e aceitabilidade térmica dos ocupantes considerando os diferentes modos de operação dos edifícios selecionados para as mesmas faixas de temperatura operativas (medições simultâneas em edificações com modo de operação diferentes);
2. Investigar o impacto da memória térmica na satisfação dos ocupantes com relação ao ambiente de trabalho, considerando a exposição prévia e prolongada aos diferentes modos de operação dos edifícios estudados;
3. Explorar a influência de características fisiológicas como a idade, o gênero e a condição física na percepção, preferência e aceitabilidade térmica dos ocupantes;
4. Reunir dados de conforto térmico para contribuir em uma das principais lacunas existentes na área de estudo e nas normas vigentes: a inexistência de um modelo adequado para a avaliação em edificações que operam com sistemas mistos de condicionamento, alternando entre o condicionamento artificial e a ventilação natural.

Através desta carta, gostaríamos de convidá-los a participar deste estudo, cujo método e o cronograma de trabalho são apresentados nos itens seguintes.

## 2. MÉTODO E CRONOGRAMA DE TRABALHO

A principal característica do método a ser empregado neste projeto é a proximidade, no tempo e espaço, entre as variáveis ambientais medidas (temperatura do ar, umidade relativa, temperatura de globo e velocidade do ar) e as respostas subjetivas dos ocupantes. Os dados serão coletados por meio de medições físicas realizadas a partir de uma estação microclimática, ao mesmo tempo em que funcionários selecionados responderão a um questionário. Cada medição tem duração média de uma hora e quarenta minutos (1h40min) no período da manhã, e uma hora e quarenta minutos (1h40min) no período da tarde. Os espaços serão avaliados de forma setORIZADA, e as medições repetidas até que todo o espaço físico seja considerado.

Durante as medições, alguns sensores serão posicionados nos ambientes para a gravação dos dados climáticos, buscando interferir o mínimo possível na atividade diária dos funcionários. Os questionários foram formulados para registrar a percepção de conforto térmico do usuário dentro do seu espaço de trabalho a cada 20 minutos, com 5 repetições por turno (totalizado 1h40min). O preenchimento não deve demorar mais que dois minutos para a conclusão da primeira parte de perguntas, e menos de um



minuto para as perguntas e respostas que serão coletadas repetidamente (a cada 20min). Cada funcionário receberá um e-mail prévio informando-o sobre a pesquisa e os detalhes necessários, e participará respondendo ao questionário 1 vez nas medições que serão realizadas nos meses mais quentes, e 1 vez durante as medições realizadas nos meses frios. Toda e qualquer informação recolhida no âmbito deste estudo será tratada como confidencial, e nenhum indivíduo será identificado em qualquer publicação dos resultados. A todos os envolvidos neste estudo, será enviado um relatório com não mais que 5 páginas apresentando os resultados desta pesquisa e algumas diretrizes finais para a melhoria do ambiente térmico.

A presente pesquisa foi planejada para ser executada de acordo com o seguinte cronograma:

**Tabela 1.** Cronograma de trabalho.

2014												2015	
Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro		
Medições de Verão													
Medições de Inverno													
								Tratamento e avaliação dos dados levantados					
										Entrega do Relatório			

Este estudo está sendo conduzido pela pesquisadora abaixo descrita, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do grau de Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Renata De Vecchi – Arquiteta, mestre em Engenharia Civil.  
 Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, UFSC.  
 Fone: (48) 9964-0647 / E-mail: [redvecchi@gmail.com](mailto:redvecchi@gmail.com)

Sob a supervisão do professor:  
 Roberto Lamberts, PhD.  
 Departamento de Engenharia Civil, UFSC.  
 Fone: (48) 3721-2390 / E-mail: [roberto.lamberts@ufsc.br](mailto:roberto.lamberts@ufsc.br)

Dúvidas, por favor, contatar a pesquisadora através das informações acima fornecidas.

Obrigada desde já,

*Renata De Vecchi*

## APÊNDICE F

### Carta explicativa enviada aos funcionários da empresa

**LabEEE** UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES



Campus Universitário, Trindade, Caixa Postal 476, CEP 88040-900, Florianópolis-SC, Brasil

Florianópolis, 10 de Fevereiro de 2014.

#### **PROJETO DE PESQUISA: LEVANTAMENTO DE DADOS DE CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTE EMPRESARIAL COM DIFERENTES MODOS DE CLIMATIZAÇÃO AMBIENTAL**

Caro ocupante,

Você está sendo convidado para participar de um estudo de conforto térmico no seu ambiente de trabalho. Este estudo faz parte de uma pesquisa científica que visa reunir dados provenientes de experimentos de campo em edificações comerciais de Florianópolis para a efetivação de uma tese de doutorado. Os experimentos serão conduzidos em edificações que operam com sistemas de condicionamento artificial e passivo (ventilação natural) em um período que abrange meses quentes (fevereiro, março e abril) e também meses mais frios (maio, junho e julho). Estudos desta natureza têm sido realizados em todo o mundo, incluindo algumas cidades no Brasil, e seus resultados amplamente aproveitados para novos estudos de referência e normas técnicas da área.

O principal objetivo desta pesquisa é demonstrar como os ocupantes de uma edificação se sentem em relação às condições térmicas no seu espaço de trabalho, o que será feito por meio de questionários eletrônicos executados em seu computador. As respostas coletadas serão utilizadas como base para uma comparação, considerando as respostas coletadas em outros edifícios que se diferenciam pelo modo de climatização interna, sua forma estética e padrão de construção. A empresa que você trabalha foi selecionada por se tratar de um local que opera predominantemente com o ar condicionado durante todo o ano.

É importante lembrar que a participação neste estudo é estritamente voluntária; no entanto, quanto maior o número de participantes, melhor serão os resultados. O experimento será conduzido pela pesquisadora abaixo descrita, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do grau de Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina.

**Renata De Vecchi – Arquiteta, mestre em Engenharia Civil.**

Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, UFSC.

Fone: (48) 9964-0647 / E-mail: [redavecchi@gmail.com](mailto:redavecchi@gmail.com)

Sob a supervisão do professor:

**Roberto Lamberts, PhD.**

Departamento de Engenharia Civil, UFSC.

## APÊNDICE G

### Análises probit do capítulo 4, item 4.4

As análises *probit* efetuadas para todos os grupos investigados no capítulo 4.4 foram deslocadas para este apêndice com o intuito de facilitar e tornar a leitura mais objetiva. Desta forma, a Figura 130 apresenta os resultados das análises *probit* entre os grupos masculino e feminino, a Figura 131 entre os grupos etários 1, 2 e 3, a Figura 132 entre os grupos que apresentam diferentes índices de massa corporal, e, finalmente, a Figura 133 entre os grupos que praticam exercícios físicos de duas a três vezes por semana e aqueles que nunca praticam atividade física.

Figura 130. Análise probit entre os votos de preferência térmica de ocupantes do grupo masculino comparados aos votos de ocupantes do grupo feminino.

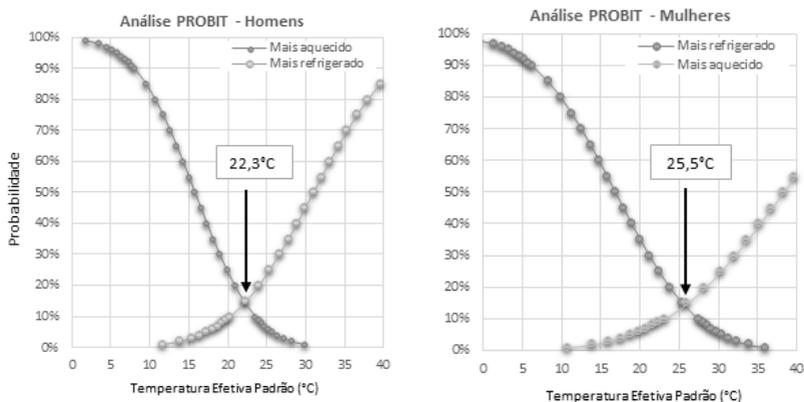
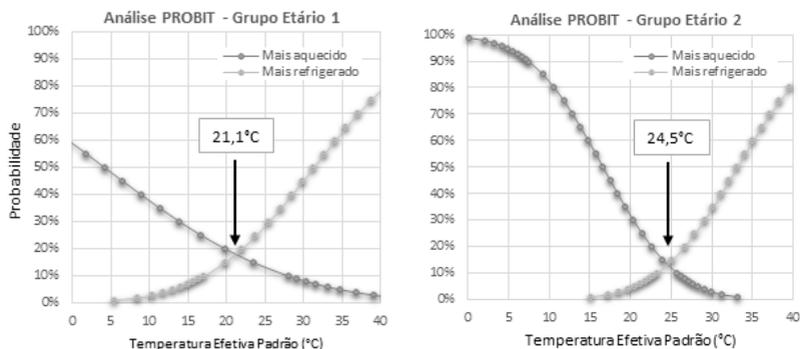


Figura 131. Análise do modelo de regressão probit entre os diferentes grupos etários.



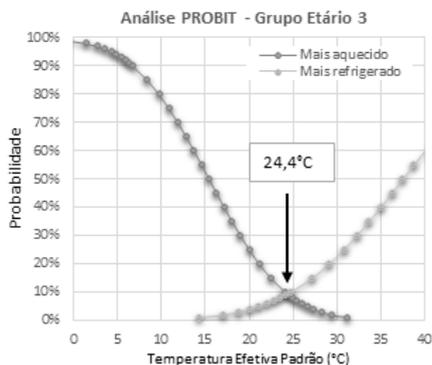


Figura 132. Análise de regressão probit entre os grupos com diferentes classificações de índice de massa corporal.

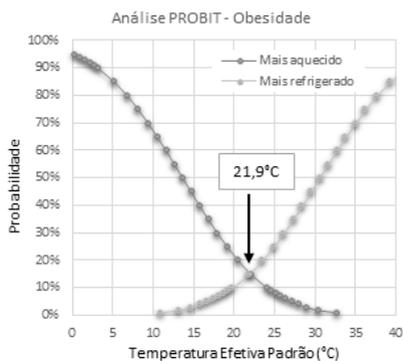
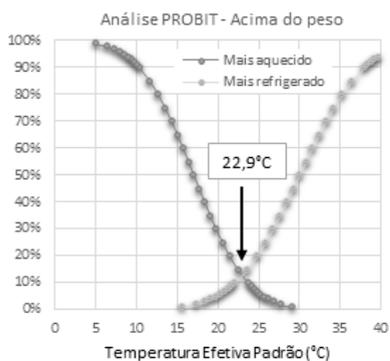
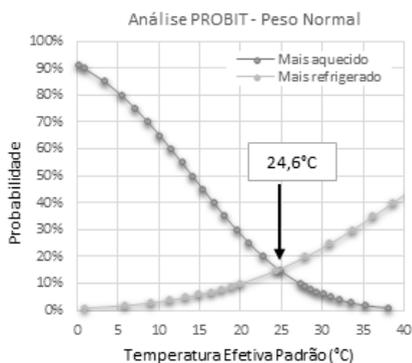


Figura 133. Análise probit entre os grupos que exercitam fisicamente de duas a três vezes por semana (esquerda), e ocupantes que não praticam atividade física alguma (direita).

