

Maíra Afonso de André

**POTENCIAL DE INCREMENTO DO CONFORTO TÉRMICO DOS USUÁRIOS EM ESCRITÓRIOS COM O  
USO DE VENTILADORES DE MESA DURANTE O VERÃO**

Dissertação submetida ao Programa de  
Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa  
Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Lamberts.

Florianópolis  
2019

“Felicidade é um momento pontual, se for  
constante já não é felicidade.”

Mario Sérgio Cortella

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, em primeiro lugar preciso agradecer a influência positiva de me fazerem sempre questionar e ter curiosidade, e em segundo lugar por todo o apoio para realizar meus planos. Minha mãe será sempre minha orientadora da vida, ainda que muitos mais tenham contribuído neste processo.

Gostaria de agradecer ao meu orientador, professor Roberto Lamberts, pelos questionamentos, discussões e disposição, foi uma grande oportunidade poder conviver com uma referência nacional da área. Também aos membros da banca de qualificação e defesa por suas importantes contribuições.

Além disso, tenho muito a agradecer pelo nosso grupo de confortadeiras, sem essas mulheres experientes eu me sentiria mais perdida. Todo o apoio de vocês, discussões e ensinamentos foram muito ricos para mim, eu não conseguiria sem vocês. Mesmo que não estejam presentes, serão meus modelos e referências. Obrigada a Greice, Carol e Ana Ligia, e um obrigado especial para Renata De Vecchi que praticamente, coorientou esse trabalho.

Agradeço também aos demais colegas do Laboratório de eficiência energética que estiveram presentes durante o desenvolvimento do trabalho, muitos contribuíram direta ou indiretamente nas análises e conhecimentos adquiridos. Porém, agradeço especialmente aos que se tornaram e continuarão como amigos, o compartilhamento de risadas foi muito necessário para a conclusão deste processo.

A todos os usuários que se dispuseram a participar da pesquisa de campo, agradeço a disposição e paciência. Conforme sugestão de uma amiga, esse mesmo agradecimento se aplica aos que decidirem ler esta dissertação.

Por fim, agradeço também à agência de fomento, CNPq, por viabilizar esta pesquisa.

## RESUMO

Estudos recentes na área do conforto térmico indicam que os sistemas personalizados de condicionamento (PCS) permitem o aumento do conforto térmico dos usuários e, ao mesmo tempo, a redução do consumo energético. Isso decorre da possibilidade de ajuste das condições climáticas de forma localizada e individualizada, ampliando o controle dos usuários sobre seu microclima e satisfazendo suas preferências individuais. O conforto térmico gerado pelo ajuste do microclima da estação de trabalho permite que o ambiente seja mantido sob temperaturas mais amplas. Dessa forma, a energia gasta no condicionamento do ambiente pode ser reduzida sem que o conforto térmico dos usuários seja prejudicado. No Brasil, onde prevalece o clima quente e úmido, o aumento da velocidade do ar é uma estratégia efetiva para manter o conforto e reduzir o consumo energético dos sistemas de refrigeração. Nesse contexto, os ventiladores pessoais têm grande potencial, por produzirem esse efeito, associado ao controle local individualizado. Por conta disso, o objetivo deste trabalho é avaliar o potencial de uso de ventiladores de mesa para aumento do conforto térmico dos usuários em ambientes de escritório durante o verão. Para isso, realizou-se uma pesquisa de campo em ambientes de escritório em operação. O método consistiu na aplicação de questionários aos usuários e medição das condições térmicas do ambiente. O monitoramento foi realizado em duas etapas, uma semana com uso habitual dos sistemas existentes e outra semana com a disponibilização de miniventiladores de mesa aos usuários. Durante o experimento, os usuários utilizaram os sistemas de condicionamento, operaram as aberturas e acionaram os ventiladores da forma que consideravam mais apropriada. Apesar de ser esperado aumento do conforto térmico, aceitabilidade térmica e sensação de neutralidade com a disponibilidade dos equipamentos, não houve diferença significativa entre os resultados dos períodos com e sem ventiladores. A principal diferença de votos identificada entre os dois períodos foi na preferência sobre o movimento do ar. No período com ventiladores, os votos de preferência pela não alteração do movimento do ar aumentaram e a preferência pelo aumento do movimento do ar foi reduzida. Isso indica que a principal vantagem do ventilador é permitir o ajuste e incremento da velocidade do ar conforme preferência individual do usuário. Porém, apesar da grande variabilidade de escolha de velocidades e frequência de uso dos ventiladores entre usuários, as características pessoais e antropométricas apresentaram baixa ou insignificante correlação com as temperaturas médias de conforto e preferências térmica dos usuários. A escolha das temperaturas foi mais influenciada pelo acionamento dos sistemas e condições externas do ambiente. Houve maior tendência de uso dos equipamentos sob altas temperaturas internas, apesar da correlação entre a temperatura e a velocidade média do ar ser baixa. Também foi verificado que, no período com ventiladores, o uso do ar condicionado foi menor, porém, não é possível afirmar que a redução foi gerada pelos ventiladores. O ruído gerado e a não familiaridade dos usuários com o aparelho foram as principais barreiras ao uso, além da baixa demanda gerada pela alta aceitabilidade das condições do ambiente. A temperatura predominante de conforto térmico foi de 26 °C e o ventilador teve um potencial de refrigeração máximo e redução média da sensação térmica de 1,3 K. Além disso, o estudo mostrou que o modelo adaptativo tem maior capacidade de predição das preferências dos usuários do que o modelo SET. Infere-se que a baixa significância estatística e de correlação entre variáveis pode decorrer do pequeno tamanho da amostra, sugerindo a necessidade de estudos mais abrangentes.

**Palavras-chave:** Conforto térmico. Ventilador pessoal. Ventilador de mesa. Movimento do ar. Sistema personalizado de condicionamento. Estudo de campo. Escritório.

## ABSTRACT

Recent studies on thermal comfort have shown that personal conditioning systems (PCS) can increase users' thermal comfort and allow energy consumption reduction. This is due to the possibility of personal adjustment of local climatic conditions, increasing users' control over the microclimate of their workstation and satisfying their individual preferences. The thermal comfort generated by adjusting the workstation allows the environment temperature to be set at a wider temperature range. So, the air conditioning energy consumption decreases without negatively affecting the users' thermal comfort. In Brazil, where hot humid climate prevails, the increment of air speed is an effective strategy to produce thermal comfort with less energy consumption. In this context, personal fans have a great potential since they allow to increment air movement with personal control. Therefore, the main goal of this research is to evaluate the potential of personal fans on increasing office occupant's thermal comfort during summer. To reach that goal a field survey was performed in operating open offices by applying questionnaires and measuring thermal conditions of the environment. The field survey was carried out in two stages: one week with regular use of the systems in place; and the next week, after supplying mini desk fans for each user. During the whole field survey, users were allowed to freely control openings, air conditioning systems and fans. Despite the expected increase in thermal comfort, thermal acceptability and neutrality with the availability of fans, there was no significant difference between the results of both periods, with and without fans. The main difference identified between both periods was on the votes of air movement preferences. The availability of fans increased the votes for preference to not change air movement, and decreased the votes for preference to increase air movement. This indicates that the main effect of fans is the increment of local control of air movement, allowing people to increase it or adjust it depending on their personal preferences. On the other hand, despite of the great variability of choice of fan speed and frequency of use among users, the personal and anthropometric characteristics showed low or insignificant correlation with users' average preferred temperature. This temperature was more correlated to system activation, availability of fans and external thermal conditions. Also, it was found a tendency to use the equipment under higher internal temperatures, although the correlation between temperature and average air velocity was low. It was also verified that, in the period with fans, the use of air conditioning was lower. However, it is not possible to affirm that this reduction was generated by the availability of fans. The fan noise and unfamiliarity of users with the device were the main barriers to its use, besides the low demand generated by the high acceptability of environmental conditions. The predominant thermal comfort temperature was 26 °C and the fan reached a maximum cooling power and average thermal sensation reduction of 1,3 K. Besides, this study showed that the adaptive model has a greater prediction ability of users' thermal preferences than SET model. It is inferred that the low statistical significance and correlation among variables can result from small sample size, suggesting the need for more extensive studies.

**Keywords:** Thermal comfort. Personal fan. Desk fan. Air movement. Personal conditioning System. Field survey. Open office.

## Lista de Figuras

Figura 1. Probabilidade do uso de ventiladores para adaptação em diferentes países .....	15
Figura 2. Modelo SET da ASHRAE 55-2010 aplicado às condições de estudo de He et al. (2017a).....	19
Figura 3. Modelo SET da ASHRAE 55-2013 aplicado às condições de estudo de Shetty et al. (2016).....	19
Figura 4. Modelo SET da ASHRAE 55-2017 aplicado às condições de estudo de Zhai et al. (2017).....	20
Figura 5. Penetração do ar na zona de respiração com a intensificação da velocidade do ar .....	23
Figura 6. Padrão de uso dos ventiladores .....	27
Figura 7. Conforto térmico global dos usuários. Os asteriscos indicam diferença estatística significativa para o intervalo de confiança de 95%. .....	34
Figura 8. Esquema do protocolo de procedimento. Pontos vermelhos representam questionários principais, ponto laranja representa o questionário final.....	38
Figura 9. Confortímetro SENSU. ....	38
Figura 10. Termo anemômetro Airflow TA35.....	39
Figura 11. O ventilador utilizado no experimento .....	42
Figura 12. Isopletas de temperatura de Florianópolis.....	43
Figura 13. Variação Temperaturas mensais de Florianópolis .....	44
Figura 14. Diagrama de Givoni: Gráfico psicrométrico e Estratégias Bioclimáticas para Florianópolis... ..	44
Figura 15. Planta esquemática – escritório A.....	45
Figura 16. Planta esquemática – escritório B .....	46
Figura 17. Posições diferentes do ventilador em um mesmo posto de trabalho .....	80
Figura 18. Posições diferentes do ventilador em diferentes postos de trabalho.....	80
Figura 19. Direção do vento gerado pelos ventiladores.....	82
Figura 20. Medição do campo de velocidades do ar. ....	119
Figura 21. Fotos escritório S – usuários com ventiladores. ....	122
Figura 22. Foto escritório C – mesa com ventilador. ....	122
Figura 23. Foto escritório G – mesa com ventilador. ....	123
Figura 24. Foto escritório U – tipos de ventiladores.....	123
Figura 25. Foto escritório F – mesa com ventilador. ....	123

## Lista de Tabelas

Tabela 1. Número de publicações por autor sobre o tema.....	17
Tabela 2. Temperaturas máximas de aceitabilidade atingidas em cada estudo de referência .....	31
Tabela 3. Questões e escalas - Questionário principal .....	40
Tabela 4. Características do Ventilador do usuário B8.....	47
Tabela 5. Cálculo do Isolamento da vestimenta.....	48
Tabela 6. Classificação de estado nutricional a partir do IMC, segundo OMS (WHO, [s.d.].....	48
Tabela 7. Coeficiente A para cálculo da temperatura operativa .....	50
Tabela 8. Incremento do limite superior de temperatura operativa do modelo adaptativo .....	51
Tabela 9. Testes de hipótese .....	53
Tabela 10. Quantitativo de participação na pesquisa de campo.....	54
Tabela 11. Variação de vestimenta e taxa metabólica durante experimento.....	57
Tabela 12. Período do levantamento de campo no escritório A .....	58
Tabela 13. Período do levantamento de campo no escritório B .....	58
Tabela 14. Condições externas durante o levantamento de campo .....	59
Tabela 15. Valores de p no teste de diferença entre médias - condições externas.....	61

Tabela 16. Condições gerais internas durante levantamento de campo.....	62
Tabela 17. Valores de p no teste de diferença entre médias - condições internas em A e B.....	62
Tabela 18. Condições internas durante levantamento de campo, por escritório e período. Em cinza, diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) .....	63
Tabela 19. Síntese da percepção térmica dos usuários entre períodos com e sem ventiladores .....	72
Tabela 20. Percentual de acionamento do ventilador por usuário.....	78
Tabela 21. Síntese das condições de satisfação térmica.....	86
Tabela 22. Significância da correlação linear entre temperaturas de conforto e as variáveis pessoais ...	88
Tabela 23. Significância da correlação linear entre temperaturas de conforto térmico e o acionamento ou disponibilidade dos sistemas .....	90
Tabela 24. Síntese resultados dos modelos de predição e votos reais dos usuários.....	93
Tabela 25. Síntese resultados dos resultados dos coeficientes de performance. ....	94
Tabela 26. Síntese resultados dos resultados dos coeficientes de performance. ....	95
Tabela 27. Momento de acionamento do ar condicionado. ....	117
Tabela 28. Resultados das entrevistas estruturadas.....	121

## Lista de Gráficos

Gráfico 1. Número de publicações sobre o tema por ano .....	17
Gráfico 2. Quantidade de questionários respondidos por usuário de A e B.....	54
Gráfico 3. Comparação entre os usuários de A e B: gênero.....	54
Gráfico 4. Comparação entre os usuários de A e B: faixa etária .....	55
Gráfico 5. Comparação entre os usuários de A e B: IMC.....	55
Gráfico 6. Comparação entre os usuários de A e B: Tempo de ocupação .....	55
Gráfico 7. Comparação entre escritório A e B: pré-disposição ao modo de condicionamento .....	56
Gráfico 8. Histograma da Taxa metabólica geral .....	56
Gráfico 9. Histograma do isolamento da vestimenta por escritório.....	57
Gráfico 10. Histograma do isolamento da vestimenta por gênero no escritório A .....	58
Gráfico 11. Temperatura externa e radiação solar durante levantamento .....	59
Gráfico 12. Temperatura média do ar externo (Text) por período .....	60
Gráfico 13. Temperatura externa e temperatura média predominante do ar externo durante levantamento .....	60
Gráfico 14. Temperaturas médias internas e externa do ar durante levantamento .....	62
Gráfico 15. Velocidades médias diárias durante levantamento .....	63
Gráfico 16. Temperatura operativa por período .....	64
Gráfico 17. Aceitabilidade térmica por período.....	65
Gráfico 18. Conforto térmico nos escritórios A e B, com e sem ventiladores.....	65
Gráfico 19. Sensação térmica nos escritórios A e B, com e sem ventiladores .....	66
Gráfico 20. Sensação térmica x Conforto térmico .....	66
Gráfico 21. Sensação térmica x Desconforto térmico x sistemas.....	67
Gráfico 22. Preferência térmica nos escritórios A e B, com e sem ventiladores .....	67
Gráfico 23. Sensação e preferência térmica.....	68
Gráfico 24. Correlação entre Sensação x Preferência térmica .....	68
Gráfico 25. Correlação entre Preferência x Conforto térmico.....	69
Gráfico 26. Aceitabilidade do movimento do ar com e sem ventiladores.....	69
Gráfico 27. Preferência do movimento do ar com e sem ventiladores.....	70
Gráfico 28. Tipo de desconforto localizado por área do corpo.....	70
Gráfico 29. Tipo de desconforto localizado por área do corpo x acionamento do ventilador .....	71
Gráfico 30. Comparação de sensação térmica local e global durante conforto térmico .....	71
Gráfico 31. Momento de acionamento do ar condicionado no escritório A e B nas alas norte (BN) e sul (BS).....	73
Gráfico 32. Temperatura do ar máxima em cada dia de medição nas alas norte e sul do escritório B.....	74
Gráfico 33. Percentual de períodos dos dias de medição com acionamento de ar condicionado por momento de levantamento .....	75
<i>Gráfico 34. Percentual de períodos dos dias de medição com acionamento de ar condicionado por momento de levantamento nas alas do escritório B.....</i>	<i>75</i>
<i>Gráfico 35. Modo de operação, disponibilidade e acionamento do ventilador nos escritórios A e B.....</i>	<i>76</i>
Gráfico 36. Preferências prévia e posterior ao estudo sobre o modo de condicionamento do ambiente	76
Gráfico 37. Comparação entre escritório A e B: acionamento do ventilador durante período disponível .....	77
Gráfico 38. Acionamento do ventilador por usuário – escritório A.....	78
Gráfico 39. Acionamento do ventilador por usuário – escritório B.....	78
Gráfico 40. Comparação entre escritório A e B: Velocidade selecionada.....	79



Gráfico 41. Velocidade de acionamento versus velocidade próxima ao usuário .....	79
Gráfico 42. Direção do ventilador ao corpo indicado pelos usuários .....	81
Gráfico 43. Velocidade do ar medida por parte do corpo com ventiladores acionados e sem ventiladores, em relação à variação da temperatura operativa .....	81
Gráfico 44. Velocidade do ar e de acionamento em função da temperatura operativa do ambiente .....	83
Gráfico 45. Motivos apontados para acionamento dos ventiladores .....	84
Gráfico 46. Avaliação do efeito e satisfação com o ventilador .....	84
Gráfico 47. Tendência de acionamento dos sistemas em relação à temperatura externa média do ar.....	85
Gráfico 48. Tendência de acionamento dos ventiladores em relação à temperatura interna operativa ..	85
Gráfico 49. Seleção dos dados conforme critérios de preferência e conforto térmico .....	86
Gráfico 50. Temperaturas operativas consideradas confortáveis para cada usuário.....	87
Gráfico 51. Temperaturas SET confortáveis para cada usuário.....	88
Gráfico 52. Coeficientes de correlação entre a temp. SET preferida e demais variáveis pessoais .....	89
Gráfico 53. Coeficientes de correlação entre temperaturas preferidas e sistemas.....	90
Gráfico 54. Aplicação do modelo de SET – condições de aceitabilidade e conforto térmico .....	91
Gráfico 55. Aplicação do modelo Adaptativo – condições de aceitabilidade térmica .....	92
Gráfico 56. Aplicação do modelo Adaptativo – condições de conforto e preferência térmica .....	92
Gráfico 57. Motivos apontados como barreiras ao uso dos ventiladores .....	95
Gráfico 58. Variação de temperatura do ar por tempo no dia 8 de fevereiro no escritório A. ....	117
Gráfico 59. Velocidades do ar – seleção 1.....	120
Gráfico 60. Velocidades do ar – seleção 2.....	120
Gráfico 61. Velocidades do ar – seleção 3.....	120

## Lista de abreviaturas e Siglas

- PV – Ventilação personalizada (*Personal Ventilation*)  
AC – Ar condicionado ou ambiente artificialmente condicionado  
ADD - Sistema avançado de distribuição de ar (*Advanced air distribution System*)  
CEF – Coeficiente de resfriamento do ventilador  
CEP – Coeficiente de eficiência e potência  
CFD – Fluidodinâmico computacional (*Computational fluid dynamics*)  
CLO – isolamento da vestimenta  
COP - Coeficiente de performance  
CP – Potencial de Correção da sensação térmica (*Corrective Power*)  
MET – taxa metabólica  
PCS - Sistema personalizado de condicionamento (*Personal conditioning System*)  
PMV – Voto médio predito (*Predicted Mean Vote*)  
PPD – Percentual de pessoas insatisfeitas (*Predicted percentage of Dissatisfied*)  
Radext - Radiação solar global média durante horário de trabalho  
SBS – Síndrome do Edifício Doente (*Sick building Syndrome*)  
SET - Temperatura efetiva padrão (*Standard Effective Temperature*)  
TAC - Sistema de condicionamento do posto de trabalho (*Task ambiente conditioning system*)  
Tar – Temperatura do ar  
Text – Temperatura média do ar externo durante horário de trabalho  
Tmpa – Temperatura média predominante do ar externo  
TO – Temperatura Operativa  
Tr – temperatura média radiante  
TVA – Sistema de condicionamento do volume total de ar (*Total Volume Air System*)  
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina  
UR – Umidade relativa do ar interno  
URext – Umidade relativa média do ar externo durante horário de trabalho  
va – Velocidade média do ar  
Vaext – Velocidade média do ar externo durante horário de trabalho  
Var – Velocidade do ar ambiente – medida com confortímetro  
Varloc – Velocidade do ar local – medida com termo anemômetro  
VN – Ventilação natural ou ambiente naturalmente ventilado

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1. Objetivos .....	16
1.1.1. Objetivo Geral .....	16
1.1.2. Objetivos específicos.....	16
1.2. Estrutura do trabalho .....	16
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
2.1. Dados da Revisão.....	17
2.1.1. Termos e Métodos.....	18
2.2. Modelos e normas .....	19
2.3. Qualidade do ar e produtividade .....	22
2.4. Variações interpessoais .....	24
2.5. Controlabilidade .....	26
2.6. Conforto térmico com ventiladores.....	28
2.7. Comparação entre sistemas personalizados.....	33
2.8. Considerações finais da revisão de literatura .....	35
<b>3. MÉTODO E INSTRUMENTOS .....</b>	<b>37</b>
3.1. Procedimento do estudo de campo .....	37
3.2. Instrumentos de Medição das variáveis ambientais.....	38
3.2.1. Questionários .....	40
3.2.2. O ventilador .....	42
3.3. Contexto Climático.....	43
3.4. Caracterização dos Ambientes.....	44
3.4.1. Escritório A .....	45
3.4.2. Escritório B .....	45
3.5. Tratamento dos dados.....	47
3.5.1. Cálculo das variáveis pessoais .....	47
3.5.2. Cálculo das variáveis ambientais .....	49
3.5.3. Cálculo dos índices ambientais e limites de conforto térmico.....	50
3.5.4. Análise estatística.....	52
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>54</b>
4.1. Perfil dos usuários e variáveis pessoais.....	54
4.2. Condições ambientais externas.....	58
4.3. Condições ambientais internas.....	61
4.4. Influência da disponibilidade dos ventiladores sobre o Conforto térmico .....	64
4.5. Uso dos sistemas.....	73
4.5.1. Ar condicionado .....	73
4.5.2. Ventiladores.....	77
4.6. Condições de conforto e satisfação térmica .....	86
4.6.1. Influência das variáveis pessoais sob as condições de conforto e satisfação térmica .....	87
4.6.2. Influência dos sistemas sobre as temperaturas de conforto e satisfação térmica .....	89
4.6.3. Condições de conforto térmico e modelos preditivos.....	90

4.7. Barreiras ao uso dos ventiladores.....	90
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>97</b>
5.1. Limitações do estudo .....	99
5.2. Sugestões para trabalhos futuros .....	100
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>101</b>
<b>APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO PRINCIPAL ONLINE: .....</b>	<b>110</b>
<b>APÊNDICE B - QUESTIONÁRIO FINAL ONLINE: .....</b>	<b>114</b>
<b>APÊNDICE C - ACIONAMENTO DO AR CONDICIONADO .....</b>	<b>117</b>
<b>APÊNDICE D - CAMPO DE VELOCIDADES DO VENTILADOR. ....</b>	<b>119</b>
<b>APÊNDICE E - ENTREVISTA ESTRUTURADA.....</b>	<b>121</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os edifícios são responsáveis por 30% do consumo de energia mundial, 55% da demanda, além de produzirem em torno de 40% das emissões mundiais de gás carbônico (IEA, 2017). Grande parte desse consumo é destinado à climatização dos ambientes. A Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento indica que 30 a 40% do consumo dos edifícios comerciais seja destinado à climatização no Brasil (ABRAVA, 2017). Se considerados os cenários de aquecimento global (IPCC, 2014), a tendência é que a demanda de refrigeração aumente, gerando, conseqüentemente, crescimento ainda maior de demanda energética em um futuro próximo (YANG; YAN; LAM, 2014).

Grande parte desse consumo provém da tentativa de manter a temperatura ambiente constante. Porém, essa estratégia pode não ser eficiente, pois verifica-se que poucos edifícios conseguem garantir o conforto térmico da maioria dos usuários (DE DEAR et al., 2013; HOOF, 2010). As normas internacionais ASHRAE 55 (2013) e ISO 7730 (2005) apresentam intervalos de temperatura de condicionamento mais amplos do que os utilizados nos escritórios atualmente. As temperaturas de operação costumam concentrar-se em faixas abaixo das médias indicadas, o que resulta na geração de desconforto pelo frio, inclusive durante o verão (DE DEAR; BRAGER, 1998a; ZHANG; ARENS; ZHAI, 2015). Assim, há a necessidade de modificar a forma como os ambientes têm sido condicionados, para reduzir o consumo energético e aumentar o conforto dos usuários de forma concomitante.

Melikov (2016) coloca que é necessária uma mudança drástica nos projetos de climatização para que seja possível atender às metas mundiais de redução de consumo energético. Segundo o autor, os sistemas amplamente utilizados, que condicionam e circulam o volume de ar total do ambiente (TVA) são muito ineficientes e devem ser substituídos por sistemas avançados de distribuição de ar (ADD). Os ADD são definidos pelo autor como sistemas que permitem:

- Remover ou reduzir poluentes e calor indesejado gerado localmente;
- Ativação apenas quando e onde necessário;
- Controle ativo do sistema pelos usuários;
- Criação de um microclima no posto de trabalho adaptado às necessidades e preferências do usuário.

Para isso, são utilizados sistemas de condicionamento personalizados (PCS), que podem ser os únicos sistemas de condicionamento do ambiente ou podem complementar o sistema principal. A principal vantagem dos PCS, do ponto de vista do consumo energético, é permitir que os usuários se mantenham confortáveis em um ambiente com faixas mais amplas de temperatura. Dessa forma, é possível a expansão da temperatura de ativação dos sistemas de climatização (*setpoint*), ampliação do período sem ativação de sistemas consumidores de energia (*dead band*) e ampliação do uso da ventilação natural (BRAGER; ZHANG; ARENS, 2015; MELIKOV, 2016; VESELÝ; ZEILER, 2014). Dependendo do clima local, a expansão do *setpoint* pode gerar de 30 a 70% de redução no consumo de energia (HOYT; ARENS; ZHANG, 2015). Além disso, Schiavon, Melikov e Sekhar (2010) demonstram que o condicionamento da zona de ocupação com um sistema auxiliar, conforme demanda do usuário, pode representar grande redução de consumo energético. Isso ocorre porque o volume de ar da zona de ocupação é muito menor do que o volume total de ar do ambiente. Assim, o condicionamento do ambiente pode ser realizado com um *setpoint* mais elevado, enquanto o sistema local condiciona apenas o ar próximo ao usuário com uma temperatura inferior, conforme sua necessidade. Comparando um ambiente TVA com *setpoint* de 23 °C a um ADD onde o ambiente é mantido a 26 °C com insuflação localizada a 23 °C, foi encontrada a diferença de 30% de consumo energético (SCHIAVON; MELIKOV; SEKHAR, 2010). Ao mesmo tempo, um estudo em câmara climática comparando esses sistemas mostrou aumento significativo da aceitabilidade térmica e qualidade do ar percebida dos usuários com o sistema ADD. Foi constatado também, que a variação da

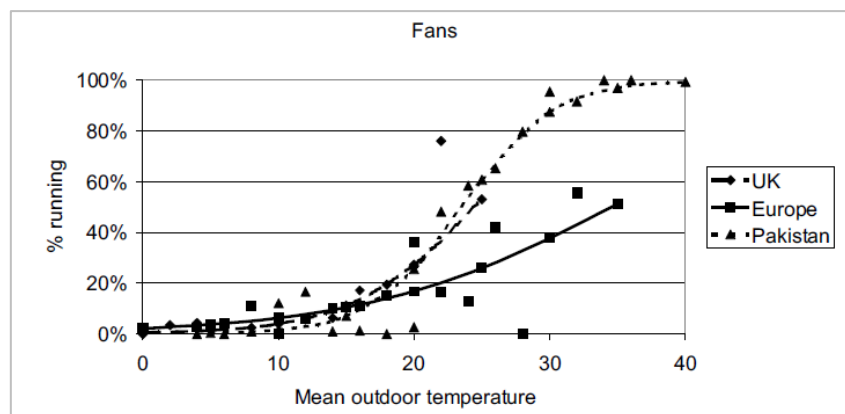
temperatura de insuflação local tem maior efeito sobre o conforto dos usuários do que a do ambiente. Indicando que o microclima local predomina sobre a condição térmica do usuário em relação à condição geral do ambiente (SEKHAR et al., 2005). A ampliação do uso da ventilação natural também é benéfica por possibilitar o condicionamento passivo, sem consumo energético. Além disso, diversos estudos indicam que os usuários aceitam temperaturas mais elevadas em ambientes naturalmente ventilados (VN), o que permite a expansão ainda maior do *setpoint* de refrigeração em ambientes com condicionamento misto (DE DEAR et al., 2013; INDRAGANTI; OOKA; RIJAL, 2015). Conforme o modo de operação do ambiente, é verificada mudança na expectativa térmica dos usuários, ocorrendo menor tolerância a variações nos ambientes condicionados (AC) do que nos ambientes VN (DE VECCHI et al., 2017). Porém, a possibilidade de adaptação dos usuários e o acesso aos controles também têm papel importante. A modificação da vestimenta e o aumento de acesso aos controles das aberturas e sistemas de refrigeração permite o aumento do conforto térmico em temperaturas mais elevadas (DE DEAR; BRAGER, 1998a; DE DEAR et al., 2013; GOTO et al., 2007; HOOFF, 2010; INDRAGANTI; OOKA; RIJAL, 2015; RUPP; VÁSQUEZ; LAMBERTS, 2015). Hoof (2010) aponta, inclusive, que a diferença verificada entre as faixas de conforto térmico dos modelos adaptativo e PMV-PPD não decorre do modo de operação do ambiente, mas, sim, da disponibilidade de controles e a capacidade de adaptação dos usuários. No caso do PMV-PPD, os dados que deram origem ao modelo foram levantados em um ambiente climatizado e controlado, enquanto no caso do adaptativo da ASHRAE 55 (2013), o levantamento foi feito em campo, em edifícios reais onde as pessoas podiam adaptar a vestimenta e modificar os controles dos sistemas e as aberturas livremente. Esse ponto de vista ressalta a importância de expandir o acesso aos controles e adaptação dos usuários, para que seja possível atingir o conforto térmico sob condições de temperatura mais variáveis.

Ainda que os dois modelos citados sejam os de predição de conforto térmico mais difundidos mundialmente, eles se aplicam apenas a ambientes uniformes e constantes. Critérios específicos são apresentados, de forma complementar, para limitar a assimetria radiante, assimetria térmica e o desconforto localizado por corrente de ar (BRAGER; ZHANG; ARENS, 2015; DE DEAR et al., 2013; HOOFF, 2010; PASUT et al., 2014; RUPP; VÁSQUEZ; LAMBERTS, 2015). Porém, manter o ambiente em condição uniforme e constante gera alta demanda energética e pode não ser a melhor estratégia para garantir o conforto e prazer térmico aos usuários. Segundo De Dear (2011), Brager, Zhang e Arens (2015), para agradar os usuários, o importante é fugir do tédio térmico. Os autores indicam que as condições transientes, criadas por estímulos pontuais, permitem gerar alestesia positiva, uma espécie de alívio que ocorre quando o corpo retorna a seu ponto de equilíbrio após uma sensação extrema, esse alívio gera prazer térmico. Ademais, quanto mais distante do ponto de equilíbrio o corpo estiver, maior será o prazer gerado quando houver o retorno ao equilíbrio, isso é, quanto maior o desconforto, maior o prazer sentido quando ele é aliviado. Isso indica que a não uniformidade e variação térmica podem ter mais efeitos positivos do que negativos. Assim, com base a esse conceito, podem ser criados novos sistemas que utilizem estímulos pontuais e variáveis, produzindo prazer térmico com baixa demanda energética (BRAGER; ZHANG; ARENS, 2015; DE DEAR et al., 2013).

Além disso, é também verificado que a maioria dos usuários aceitam e preferem maior movimento do ar do que o proposto nas normativas (BRAGER; ZHANG; ARENS, 2015; YANG; ZHANG, 2009; ZHAI et al., 2013). É verificada preferência por mais movimento do ar, inclusive em ambiente com temperaturas consideradas confortáveis (ZHAI et al., 2017) ou mesmo quando o movimento do ar é considerado aceitável (SEKHAR et al., 2005). A variação de taxa metabólica, que comumente ocorre no ambientes de trabalho pela movimentação das pessoas pelo espaço, também gera maior aceitabilidade a altas velocidades do ar, mesmo em ambientes a baixas temperaturas (TOFTUM et al., 2003). Assim, em ambientes quentes, os ventiladores são uma opção interessante para aumento do conforto térmico, por

gerarem alestesia positiva pela convecção localizada e aumentarem a satisfação com relação ao movimento do ar, já que permitem o incremento e ajuste da velocidade conforme preferência de cada usuário (KALMÁR, 2017; SCHIAVON et al., 2017; ZHAI et al., 2017). Nota-se grande variação entre as preferências térmicas dos usuários, devido principalmente a suas características antropométricas (peso, altura, massa corpórea, idade, gênero, etc.) e socioculturais (ANTONIADOU; PAPADOPOULOS, 2017). Assim, o controle individual é também importante para aumentar o número de pessoas satisfeitas em um mesmo ambiente, gerando microclimas ajustados às variações interpessoais de preferência térmica (DE DEAR et al., 2013). Nicol (2001) analisa os dados de campo de diferentes países e mostra que a probabilidade de uso de ventiladores aumenta quando a temperatura externa média é maior. Porém, essa tendência é também influenciada pela cultura e clima do local, como mostra a figura a seguir:

Figura 1. Probabilidade do uso de ventiladores para adaptação em diferentes países



Fonte: Nicol (2001).

No Brasil, onde prevalece o clima quente e úmido, o aumento da velocidade do ar é uma estratégia efetiva para manter o conforto e reduzir o consumo energético do condicionamento artificial em grande parte do ano. Verifica-se grande aceitabilidade e preferência por maior movimento do ar em edifícios brasileiros VN e com modo misto de condicionamento (CANDIDO et al., 2010a; DE VECCHI et al., 2017; LAMBERTS et al., 2013). Os estudos de Cândido et al. (2010) e De Vecchi et al. (2017) indicam grande potencial de uso de ventiladores de teto para incremento da satisfação dos usuários nos períodos ou climas quentes brasileiros, em escritórios e salas de aula. Porém, os ventiladores de teto, no geral, aumentam a velocidade do ar ambiente como um todo, não permitindo o controle individual e, com isso, geram maior consumo energético do que os ventiladores de mesa. Apesar de ser verificada sua difusão no mercado, a maioria dos estudos com ventiladores de mesa são realizados em câmaras climáticas, que podem indicar aceitabilidade e percepção térmica distinta das verificadas em escritórios reais (ZHANG et al., 2010a). Além disso, os estudos de campo existentes com ventiladores de mesa em ambientes de escritório não se aprofundam no perfil de uso e potencial de aumento do conforto térmico dos usuários (GOTO et al., 2007; INDRAGANTI; OOKA; RIJAL, 2015), ou enfocam apenas no consumo energético (SHETTY et al., 2016). Isso aponta a necessidade de ampliação desse tipo de estudos para aumentar a compressão sobre o tema. A ampliação das pesquisas pode inclusive incentivar a expansão do uso desses equipamentos no território nacional, provendo maior conforto e redução do consumo de energia.

## 1.1. Objetivos

### 1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo principal desta pesquisa é verificar qual o potencial de uso de ventiladores pessoais para aumento do conforto térmico dos usuários nos espaços de escritório com múltiplos usuários e sistema misto de condicionamento durante o período mais quente do ano.

### 1.1.2. Objetivos específicos

Para isso, deverão ser atingidos alguns objetivos específicos:

- Analisar se o ventilador aumenta a possibilidade de ajuste à preferência individual, aumentando o número de usuários satisfeitos em um mesmo ambiente.
- Verificar se há correlação entre as características antropométricas e as preferências térmicas e de movimento do ar dos usuários.
- Avaliar se o aumento da velocidade do ar local aumenta o conforto e satisfação térmica dos usuários nas condições estudadas.
- Analisar se a disponibilidade dos ventiladores pode reduzir o tempo de acionamento do ar condicionado nos ambientes com modo misto de condicionamento.
- Detectar quais fatores influenciam ou impedem o uso dos ventiladores.
- Verificar se os modelos de predição de conforto térmico contidos nas normativas nacionais são adequados para prever as condições de conforto indicadas pelos usuários.

## 1.2. Estrutura do trabalho

Este trabalho se organiza em cinco capítulos: introdução, referencial teórico, método e instrumentos, resultados e conclusão. O primeiro introduz o assunto a ser tratado, ressaltando sua relevância no cenário discutido e os objetivos propostos. O segundo apresenta o estado da arte, a partir da revisão sistêmica do referencial teórico. São incluídos dados gerais sobre as publicações, além de abordados os temas principais envolvidos no assunto: modelos e normas de conforto atuais, qualidade do ar com ventiladores, variações interpessoais, controlabilidade, conforto térmico com ventiladores e a comparação entre sistemas personalizados. Ao final do referencial teórico, nas considerações finais, são apresentados os pontos principais discutidos e resultados encontrados. O terceiro capítulo apresenta os métodos propostos para alcançar os objetivos elencados no primeiro capítulo, os procedimentos do estudo de campo, os instrumentos de medição, os questionários elaborados e o ventilador de mesa que será utilizado no experimento. Além disso, são apresentados os locais de aplicação dos experimentos e os métodos de análise dos dados coletados. O levantamento de dados ocorre em duas etapas de monitoramento para posterior comparação, uma delas sob condição padrão de uso e operação dos sistemas e a segunda após disponibilização de ventiladores pessoais aos usuários. O quarto capítulo apresenta os resultados encontrados nos levantamentos e discute o que eles representam frente aos objetivos propostos. O último capítulo apresenta as principais conclusões encontradas, as limitações do estudo e indica possíveis continuidades à pesquisa.



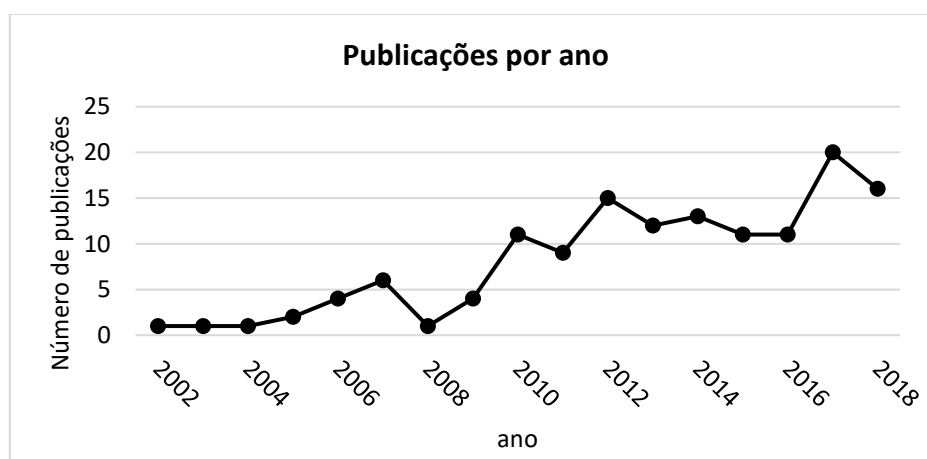
## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Dados da Revisão

Para compreender o estado da arte sobre o uso dos ventiladores de mesa em escritórios foi realizada uma revisão sistemática. Assim como verificado em artigos de revisão da área (DE DEAR et al., 2013; RUPP; VÁSQUEZ; LAMBERTS, 2015), foi utilizada a plataforma *Scopus*, para seleção das publicações, pois ela centraliza diversas fontes e bases internacionais. Além disso, ela possui ferramentas de pesquisa avançada com filtros que facilitam a seleção das publicações. Para realizar essa seleção foram utilizados os termos “conforto térmico” e “personalizado” ou “ventilador”, com a variações de palavras para descrever esse equipamento (*nozzel, jet, fan, vent, air movement e desk fan*). Os resultados foram revisados, de forma a garantir que as principais publicações citadas nos artigos de revisão fossem inclusas na seleção. Foram excluídos artigos focados em climas frios, sistemas de aquecimento, outros tipos de usos e atividades que não coincidem com as realizadas em escritórios. Dessa forma, a seleção final se restringe a publicações sobre sistemas e situações térmicas de ambientes de escritório, principalmente, em climas ou estações quentes, publicadas de 2000 ao fim de 2018.

O gráfico a seguir indica que houve um recente crescimento do número de publicações sobre este tópico. Verifica-se um crescimento significativo de publicações de 2008 a 2010 e a estabilização do número de novas publicações até 2016, quando ocorre um novo crescimento abrupto. Esses dados mostram que este tema tem recebido muita atenção atualmente.

Gráfico 1. Número de publicações sobre o tema por ano



A partir dessa seleção puderam ser elencados os autores e universidades com maior número de publicações sobre o assunto, conforme Tabela 1. O Professor Arsen K. Melikov, além de ser o autor com maior número de publicações no assunto, é também o autor dos artigos com maior número de citações. Os demais artigos com alto número de citações envolvem os pesquisadores da Universidade de Berkeley e o professor Richard De Dear, da Universidade de Sydney. Contatou-se também que parte dos artigos com alto índice de citações se tratam de revisões.

Tabela 1. Número de publicações por autor sobre o tema

Núm. de publicações	Autor(s)	País	Universidade (Univ.)
29	Melikov, A. K.	Dinamarca	Univ. Técnica da Dinamarca
20	Zhang, H.; Arens, E., Schiavon, S.	EUA	Univ. de Berkeley na Califórnia
17	Ghaddar, N.; Ghali, K.	Líbano	Univ. Americana de Beirute
13	Sekhar, S. C.; Yang, B.	Singapura	Univ. Nacional de Singapura

### 2.1.1. Termos e Métodos

Dentre as publicações analisadas, são utilizados, principalmente, os seguintes termos para definir os sistemas personalizados:

- Ventilação Personalizada (PV) ou Sistema personalizado de refrigeração por evaporação (PEC);
- Sistema personalizado de condicionamento (PCS);
- Sistema de condicionamento do posto de trabalho (TAC).

Apesar do termo ventilação personalizada (PV) ser ao próximo do foco de estudo deste trabalho, ele, em geral, é utilizado para designar sistemas de condicionamento personalizados, isso é, um sistema que permite, além da intensificação da velocidade do ar, o controle da temperatura local de insuflação. Além disso, a maior parte desses sistemas permite a insuflação de ar externo próximo ao usuário, para melhoria da qualidade do ar inalado. Dessa forma, produzem efeitos muito distintos dos ventiladores. Apesar disso, parte desses PV são indicados como “não dutados”, isso significa que eles não estão conectados ao sistema de condicionamento, o que faz com que eles tenham um efeito similar ao dos ventiladores, porém com filtragem do ar. Eles têm a função de conduzir o ar refrigerado, insuflado no piso, diretamente para a zona de respiração, passando por uma caixa de filtragem e saindo em uma grelha regulável, próxima ao usuário (DALEWSKI; MELIKOV; VESELY, 2014; HALVONOVÁ; MELIKOV, 2010a; KALMÁR, 2017; TAHERI et al., 2016). Um PV pode ser também considerado um PCS ou TAC, pois são sistemas de refrigeração fixos no posto de trabalho. Porém, em geral, o termo PCS é utilizado para um conjunto de equipamentos que podem ser móveis, e que permitem o controle de diferentes variáveis ambientais pelo usuário. Já o TAC, é utilizado para designar o conjunto de equipamentos conectados ao posto de trabalho, com a mesma finalidade que os PCS. Esse conjunto de equipamentos pode incluir: painéis radiantes, cadeiras com ventiladores e resistências elétricas, aquecedores de teclado, de mouse, dos pés, sistemas de refrigeração (PV) acoplados a divisórias de escritório, à mesa, à cadeira e a fones de ouvido e sistemas acoplados a roupas.

Por conta da proximidade dos termos, apenas 23% dos artigos selecionados incluem de fato estudos com ventiladores, a maioria, 47%, trata de PV. Dentre os artigos que tratam de ventiladores, a maioria, 55%, se embasa em experimentos em câmara climática com pessoas, 9% câmara climática com manequins térmicos, e 26% envolvem simulação computacional. No conjunto das publicações, apenas 8 utilizam dados de levantamento de campo e, dentre esses estudos, apenas 2 foram realizados em ambientes com ventiladores individuais (GOTO et al., 2007; SHETTY et al., 2016) e em outro, os usuários possuem PV não dutado (TAHERI et al., 2014). O levantamento de campo é importante para entender a percepção térmica dos usuários ao ambiente em condições normais de trabalho, pois é verificada significativa variação entre as respostas dos usuários em câmara térmica e as coletadas em escritórios reais em operação, mesmo que os dois se encontrem sob as mesmas condições ambientais (ZHANG et al., 2010a; ZHANG; ARENS; ZHAI, 2015). Dessa forma, a primeira lacuna identificada nesse tema são levantamentos de campo em escritórios com ventiladores dado a pequena parcela de publicações encontradas.

À seleção de publicações apresentada foram adicionadas outras referências que, apesar de não terem sido inclusas nos filtros de pesquisa, têm relevância no assunto abordado. Os principais pontos discutidos e resultados são apresentados nos itens a seguir.

## 2.2. Modelos e normas

De Dear et al. (2013) indicam que para a evolução da análise dos ambientes e proposição de melhores sistemas, foi importante a ampliação do uso de índices de conforto térmico que incorporem outras variáveis além da temperatura do ar, como a temperatura operativa (TO) e a temperatura efetiva padrão (SET). O índice SET permite a comparação de ambientes sob diferentes condições de temperatura, velocidade do ar e umidade relativa, com pessoas realizando diferentes atividades e com vestimentas variadas. Isso é proposto pela padronização das condições do ambiente utilizando como referência a perda de calor de uma pessoa em atividade sedentária, com vestimenta de 0,6 clo, em um ambiente sob condições pré-definidas (ASHRAE, 2017). Além de permitir a comparação entre ambientes diversos, esse índice foi incluído na norma americana ASHRAE 55, a partir de 2004 com uma importante modificação, a inclusão de um método de análise para ambientes com velocidades do ar elevada. Essa inclusão indica o reconhecimento da intensificação da velocidade do ar como uma estratégia positiva para conferir conforto térmico em ambientes mais quentes.

Apesar do modelo SET se aplicar a ambientes com velocidade do ar intensificada, estudos indicam que ele não é apropriado para descrever as condições de conforto e preferência térmica dos usuários com ventiladores pessoais e outros sistemas personalizados (HE et al., 2017a; SHETTY et al., 2016; ZHAI et al., 2017; ZHANG; ARENS; ZHAI, 2015). As figuras a seguir mostram a aplicação do método aos resultados de dois estudos com ventiladores de mesa:

Figura 2. Modelo SET da ASHRAE 55-2010 aplicado às condições de estudo de He et al. (2017a)

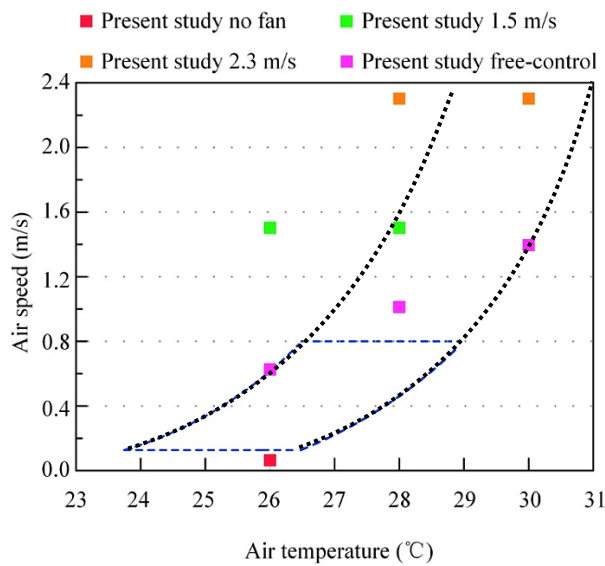
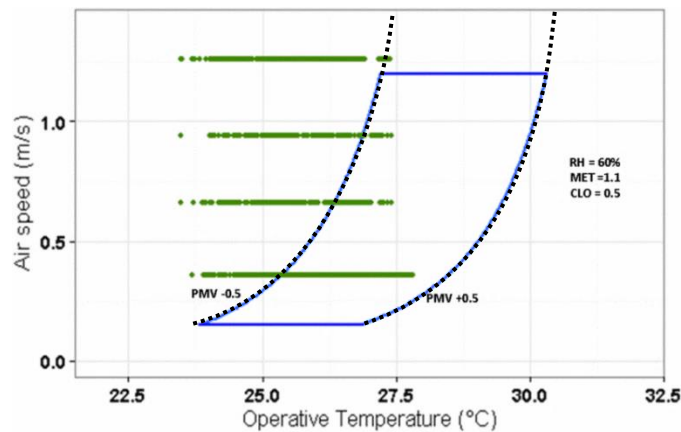
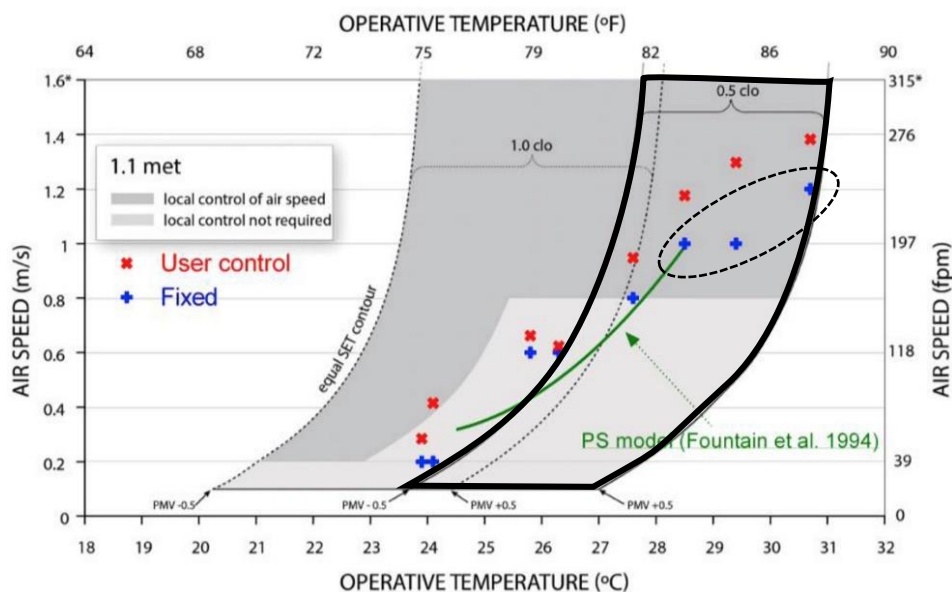


Figura 3. Modelo SET da ASHRAE 55-2013 aplicado às condições de estudo de Shetty et al. (2016)



Como vemos, muitos dos pontos não coincidem com as zonas de aceitabilidade definidas pelo modelo SET para as condições de estudo. Esses estudos aplicam versões anteriores da ASHRAE 55, que indicavam um limite máximo de 0,8 m/s para a velocidade do ar quando os usuários não possuem controle e 1,2 m/s quando há controle da velocidade ambiente e a temperatura operativa é superior a 25,5 °C. Na versão atual esse limite máximo foi removido para o caso onde os usuários têm controle sob a velocidade do ar. Assim, nos dois gráficos, atualizando as curvas do método, sem limite superior, seriam abrangidos mais pontos, principalmente na Figura 2. Porém, conforme a legenda do gráfico, em apenas alguns casos do estudo os usuários tinham controle dos ventiladores, representados pelos pontos roxos, de forma que os pontos que indicam maior velocidade do ar não estariam incluídos na zona de aceitabilidade predita pelo modelo. Na Figura 3, a extensão das curvas teria menor impacto sobre o resultado, pois há maior incompatibilidade entre a previsão do modelo e os dados do levantamento de campo. As condições representadas na Figura 3 se referem às velocidades selecionadas pelos usuários em função da variação da temperatura ambiente. Considerando que o ajuste da velocidade do ar definido pelo usuário garante seu conforto, nos dois gráficos às condições consideradas confortáveis pelos usuários envolvem velocidades do ar muito mais altas do que as previstas pelo modelo. O mesmo ocorre na Figura 4 a seguir, retirada do estudo de Zhai et al. (2017), onde apenas a área do gráfico ressaltada em preto corresponde às condições dos usuários. Assim, todos os pontos à esquerda da área ressaltada mostram condições de conforto que não coincidem com o previsto. Além disso, nas condições circulares com uma linha pontilhada, os usuários não tinham controle da velocidade do ar, e assim como os pontos foram da zona em preto, envolvem velocidades do ar mais altas do que as previstas no modelo.

Figura 4. Modelo SET da ASHRAE 55-2017 aplicado às condições de estudo de Zhai et al. (2017)



Essa incongruência pode provir do fato de que esse modelo foi definido para ambientes uniformes, onde é considerado o incremento da velocidade do ar ambiente e não o efeito do vento sobre um ponto do corpo, por isso o modelo considera apenas a velocidade média do ar do ambiente. Por outro lado, muitos modelos internacionais tentam definir as condições de neutralidade térmica, em que os usuários não sentem nem frio nem calor, porém, em ambientes não uniformes, a neutralidade térmica não coincide com o conforto térmico (ZHANG; ZHAO, 2008). O conceito de alestesia, citado anteriormente, é mais apropriado para explicar as sensações geradas pelos sistemas personalizados, que geram condições não uniformes e transientes. Porém, ainda não há um modelo que permita aplicar esse conceito para prever o conforto térmico dos usuários em um determinado ambiente (DE DEAR et al., 2013; ZHANG; ARENS; ZHAI, 2015). Atualmente, os modelos mais adequados às situações transientes e

não uniformes geradas pelos sistemas personalizados são os modelos fisiológicos de múltiplos nós (DE DEAR et al., 2013; MISHRA; LOOMANS; HENSEN, 2016; RUPP; VÁSQUEZ; LAMBERTS, 2015; VESELÝ; ZEILER, 2014). Esses modelos tornam mais precisos os cálculos de troca térmica entre a pele, corrente sanguínea e o núcleo do corpo e o ambiente, pois consideram as variações das condições superficiais em até 24 pontos diferentes do corpo (FIALA; LOMAS; STOHRER, 2001; HUIZENGA; HUI; ARENS, 2001; TANABE et al., 2002). Apesar desse aumento da precisão do fenômeno físico, a inclusão da percepção térmica dos usuários nesses modelos se mantém como um desafio. O modelo de múltiplos nós desenvolvido pelo grupo da Universidade de Berkeley é o que mais aprofundou a relação entre sensação e conforto local e global. Isso foi feito com uma série de experimentos em câmara climática, aplicando estímulos pontuais em pessoas enquanto elas indicavam sua percepção térmica em questionários (DE DEAR et al., 2013; RUPP; VÁSQUEZ; LAMBERTS, 2015; ZHANG et al., 2010b, 2010c, 2010a; ZHANG; ARENS; ZHAI, 2015; ZHAO et al., 2014). Entretanto, a aplicação dos modelos de múltiplos nós depende do conhecimento das temperaturas superficiais de diversos pontos do corpo, assim como a temperatura interna e suas variações, o que pode ser predito apenas pela aplicação de métodos mais complexos, como a simulação fluidodinâmica computacional (CFD). Assim, a associação entre simulação CFD e modelos de múltiplos nós, é testada e proposta em muitos dos estudos revisados para a previsão dos efeitos dos sistemas personalizados sob o conforto térmico dos usuários (EL-FIL; GHADDAR; GHALI, 2016; GAO; NIU; ZHANG, 2006; HABCHI et al., 2016; MAKHOUL; GHALI; GHADDAR, 2013).

Porém, no caso da adequação ou modificação do condicionamento de edifícios existentes, esse método não apresenta bom ajuste, pois desconsidera as preferências dos usuários presentes no local. Assim como os demais modelos de predição contidos nas normas internacionais, as condições de conforto são propostas a partir da generalização de dados pontuais, de forma que a variação de preferência entre usuários é desconsiderada (ANTONIADOU; PAPADOPOULOS, 2017; BRAGER; ZHANG; ARENS, 2015; DE DEAR et al., 2013; VESELÝ; ZEILER, 2014). Em contraponto, é verificada a proposição, em estudos recentes, de modelos personalizados, apropriados para prever o conforto térmico de pequenos grupos, ou até mesmo, de um indivíduo isolado. O intuito desses modelos é, principalmente, gerar uma base confiável para a automação dos sistemas de condicionamento, de forma que eles atendam às preferências dos usuários. Para isso, esses modelos são produzidos com redes neurais e meta modelos alimentados com respostas dos usuários ao ambiente, permitindo a previsão de flutuações horo sazonais e a retroalimentação com novos dados (KIM; SCHIAVON; BRAGER, 2018; XU et al., 2017). Assim, eles poderiam ser aplicados na automação de sistemas localizados, para que cada equipamento atenda às preferências de um indivíduo específico (JIANG; YAO, 2016). Entretanto, para possibilitar a alimentação e definição desses modelos é necessária a coleta contínua de dados, que se torna um problema em ambientes de trabalho onde as tarefas dos funcionários não podem ser perturbadas para não prejudicar a produtividade. Como alternativa, Cheng et al. (2017) propõem um sistema de coleta de dados não invasivo, onde o controle dos sistemas é realizado a partir da imagem das mãos, coletadas pela câmera frontal dos computadores dos usuários. Os autores demonstram que há correlação entre a saturação de cor e a temperatura superficial, o que tornaria possível o controle do sistema de condicionamento pela temperatura das mãos de cada indivíduo com a captação de imagens das mãos coletada em tempo real. Ainda que tenham grande potencial, esses modelos personalizados e sistemas de automação ainda estão em desenvolvimento, e precisam ser aplicados e testados em ambientes reais para comprovação de sua eficácia. Demandando a expansão dos estudos para que um método padrão que possa ser definido e incorporado às normas.

Além da necessária inclusão de novos modelos, será necessário incorporar às normas parâmetros que regulamentem o funcionamento e desempenho dos sistemas personalizados. Alguns dos parâmetros que se aplicariam aos ventiladores são: o tempo de resposta, o nível de ruído, a potência máxima,

eficiência energética e a eficiência da ventilação (BOERSTRA, 2010; DE DEAR et al., 2013; MELIKOV, 2004; VESELÝ; ZEILER, 2014). Para avaliação da eficiência dos ventiladores e demais sistemas personalizados dois índices principais são propostos nas referências: a eficiência de resfriamento do ventilador ou CFE (SCHIAVON; MELIKOV, 2009) e o Potencial de Correção, ou CP (ZHANG; ARENS; ZHAI, 2015). O CFE define a eficiência a partir do conceito de que ela é igual à razão entre energia consumida e energia produzida, o que seria equivalente a dividir a taxa de perda de calor gerada pelo equipamento por sua potência energética, que determina o consumo. Dessa forma, o índice determinado com base apenas em fenômenos físicos, sem a participação de pessoas, já que a perda de calor é medida em laboratório com manequins térmicos (SCHIAVON; MELIKOV, 2009). Por outro lado, o CP é calculado pela diferença de temperatura em que o usuário se sente em neutralidade térmica, com e sem o sistema personalizado, o que resulta em um delta de temperatura medido em Kelvins. Para definição da temperatura de neutralidade térmica são utilizados os votos de sensação ou conforto térmico dos usuários. Dessa forma, ao contrário do CFE, o CP é calculado com base na percepção e opinião dos usuários. Recentemente, Luo et al. (2018a) propuseram a atualização e associação desses índices pela adição de uma ponderação definida pelos efeitos e a área superficial local. Os autores propõem três índices, o primeiro é o delta de temperatura e perda de calor de cada ponto do corpo ponderado por sua área superficial ( $CP_{EHT}$ ). O segundo é a taxa de perda de calor global ponderada pelas locais e suas áreas ( $CP_Q$ ) e o terceiro, é o coeficiente de performance calculado pela razão entre  $CP_Q$  e a potência elétrica do equipamento ( $COP_Q$ ). Apesar dessa proposta representar um avanço, o cálculo da perda de calor seria realizado apenas sobre manequins térmicos o que seria menos preciso do que considerar os votos dos usuários, pois é desconsiderado o resfriamento evaporativo produzido pelo suor e o fato de que o efeito pontual varia de forma não uniforme conforme o local de aplicação, e a condição do ambiente (SCHIAVON; MELIKOV, 2009; ZHANG; ARENS; ZHAI, 2015). Por conta disso, seria mais preciso considerar uma ponderação diferente para cada parte do corpo dependendo do efeito local, e não apenas da área da superfície afetada. Porém, a definição desses coeficientes de ponderação é complexa, como pode ser verificado nos estudos de Zhang et al. (2010c) e Fang et al. (2018). Uma alternativa seria o uso de um coeficiente de performance similar ao índice de Correção de Energia e Potência (CEP) proposto por He et al. (2017b), que seria calculado pela razão entre CP e a potência elétrica do equipamento. A eficiência do motor também poderia ser considerada para permitir a comparação entre diferentes sistemas, como o proposto pelos autores para comparar sistemas radiantes e convectivos.

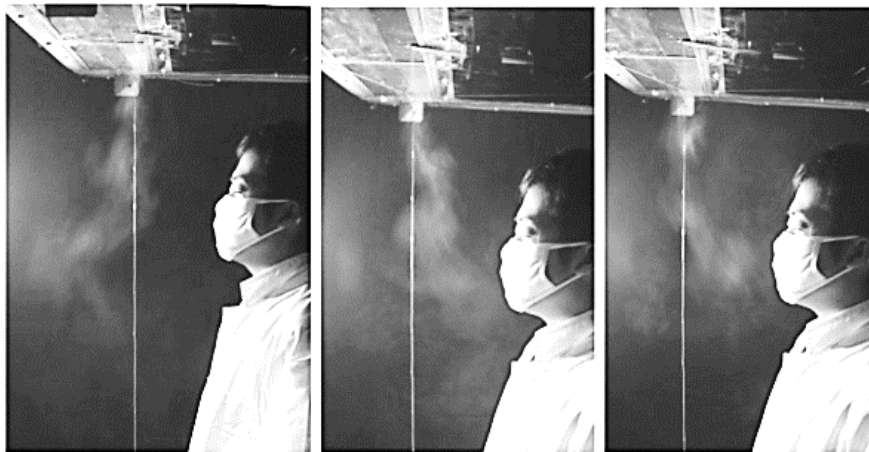
### 2.3. Qualidade do ar e produtividade

Além do conforto térmico dos usuários, os PCS podem afetar positivamente a qualidade do ar ambiente. Para avaliar esse fator são utilizados diferentes métodos: a simulação fluidodinâmica computacional (CFD); experimentos com manequins térmicos que simulam a respiração humana (AKIMOTO et al., 2006; HABCHI et al., 2016; MELIKOV; CERMAK; MAJER, 2002); e experimentos com pessoas em câmara climática, onde é medida a variação do nível de gás carbônico ( $CO_2$ ) do ambiente e outros poluentes, ou é utilizado um gás que permite a visualização do caminho do ar inalado no ambiente (HALVONOVÁ; MELIKOV, 2010b). Outra forma de avaliação é por questionário, solicitando aos usuários que indiquem sua percepção sobre a qualidade do ar. Esse método é o mais simples de ser aplicação dentre os citados, principalmente, em estudos de campo, pois não necessita de equipamentos de alto custo e é pouco invasivo. Além disso, é um método validado por normativas internacionais, o que o torna o método mais frequentemente utilizado para a avaliação da qualidade do ar (OLESEN, 2012). Entretanto, a percepção dos usuários é subjetiva tornando o resultado também subjetivo e influenciado por fatores que não se relacionam à qualidade do ar. O aumento da temperatura do ar, por exemplo, implica na redução da qualidade do ar percebida (SCHIAVON et al., 2017). Porém, os estudos mostram que o conforto térmico

e sensação térmica são os fatores que mais influencia a percepção dos usuários sobre a qualidade do ar, e apresentam inclusive, maior correlação do que a concentração de CO<sub>2</sub> na zona de ocupação (KALMÁR, 2017). Por conta disso, ao melhorar o conforto térmico nos ambientes quentes, a intensificação da ventilação do ar permite o aumento significativo da aceitabilidade ou qualidade do ar percebida, mesmo que tenha pouco efeito sobre a redução da concentração de poluentes (ARENS et al., 2011; KALMÁR, 2017; PASUT et al., 2014; SCHIAVON et al., 2017; ZHAI et al., 2017).

O ventilador também produz efeito positivo quando associado a sistemas de insuflação de ar externo filtrado, pois permite que o ar limpo penetre mais facilmente na zona de respiração. O ar quente exalado pela respiração cria uma barreira à renovação do ar próxima do nariz e da boca. Porém, com o incremento da velocidade e da turbulência do ar, essa barreira é transpassada, gerando maior circulação do ar nessa zona, o que melhora a qualidade do ar inalado (MAKHOUL; GHALI; GHADDAR, 2013; WANG et al., 2016). A Figura 5 do experimento realizado por Wang et al. (2016a), ilustra esse efeito, mostrando que o incremento da velocidade permite que o ar externo insuflado no teto atinja a boca e nariz do usuário. No estudo, a velocidade do ar de 0,4 m/s é insuficiente para penetrar a zona de respiração, porém, com o aumento para 0,5 m/s essa barreira é rompida, e no último quadro da figura é mostrado que a velocidade de 1,1 m/s é ainda mais eficiente para produzir esse efeito.

*Figura 5. Penetração do ar na zona de respiração com a intensificação da velocidade do ar*



Fonte: Wang et al. (2016a) - registro 1 vel. do ar: 0,4 m/s, imagem 2: 0,5 m/s e imagem 3: 1,1 m/s.

Vischer (2006) ressalta que a melhora da qualidade do ambiente pode reduzir as faltas dos funcionários, pois reduz os problemas de saúde no ambiente de trabalho. Os estudos mostram que os sintomas da Síndrome do Edifício Doente (SBS), responsáveis por diversos problemas de saúde, ocorrem principalmente em edifícios climatizados, onde há maior proliferação de fungos e bactérias gerada pela baixa renovação do ar e limpeza dos filtros dos equipamentos. Assim, os limites normativos à qualidade do ar visam também reduzir esses sintomas e garantir a saúde dos funcionários, estabelecendo principalmente taxas mínimas de renovação do ar e de filtragem (BRAGER; ZHANG; ARENS, 2015; HOOFF, 2010). O controle dos sintomas da SBS também é importante para a produtividade, pois funcionários doentes tendem a produzir menos e faltar mais ao trabalho, o que pode ter grande impacto financeiro para as empresas (DE DEAR et al., 2013; MELIKOV et al., 2013). Porém, para avaliar o efeito dos sistemas personalizados sobre os sintomas da SBS, enfermidades e a produtividade é complexo, pois muitas variáveis, além das características térmicas do ambiente, estão envolvidas. Por conta dessa dificuldade, verifica-se que a auto avaliação é o principal método de análise da produtividade e sintomas da SBS utilizado nas publicações revisadas (BOGDAN et al., 2012, 2017; KACZMARCZYK; MELIKOV; FANGER, 2004). Além de aplicável a estudos de campo, onde as atividades dos usuários variam, esse método é

também aplicado a estudo em câmara climática. Nesses casos, para avaliação da produtividade são propostos testes lógicos e de atenção que devem ser executados repetidamente pelos usuários durante o experimento enquanto as condições térmicas e qualidade do ar ambiente são alteradas (BOERSTRA et al., 2015a; ZHANG et al., 2010d). Porém, os resultados desses estudos mostram que a satisfação dos usuários tem maior efeito sobre a produtividade auto avaliada do que a variação das condições físicas do ambiente, como a temperatura. Além disso, indicam que fatores estéticos do edifício ou psicológicos do usuário têm maior influência do que as variáveis ambientais, o que torna muito difícil a comparação e avaliação dos resultados (BRAGER; ZHANG; ARENS, 2015; HOOFF, 2010; MAULA et al., 2016; ZHANG; ARENS; PASUT, 2011).

## 2.4. Variações interpessoais

Quando conferido controle aos usuários de ventiladores, é verificada, grande variabilidade na escolha da velocidade do ar entre indivíduos (BOERSTRA et al., 2015a; SHETTY et al., 2016). O estudo de Parkinson e Dear (2016) mostra que a diferença de sensação entre usuários pode gerar respostas distintas a um mesmo sistema, fazendo com que um parâmetro afete apenas aos usuários mais sensíveis, ou pré-dispostos ao desconforto. Apesar dos questionários aplicados nos estudos de conforto térmico incluírem, no geral, a indicação das características pessoais, poucas análises focam nas diferenças entre os usuários (ANTONIADOU; PAPADOPOULOS, 2017). A principal característica antropométrica analisada nos estudos é o gênero, e são indicadas diferenças entre as condições consideradas confortáveis para homens e mulheres. No geral, as mulheres apontam maior insatisfação com o ambiente térmico, apesar das temperaturas de neutralidade serem similares entre os dois gêneros (KARJALAINEN, 2012; VESELÝ; ZEILER, 2014). Pode ser verificada diferença significativa de sensação e conforto térmico entre os gêneros ao entrar em um ambiente refrigerado, isso é, quando ocorre uma mudança abrupta de temperatura. Sob essas circunstâncias, verifica-se que a estabilização da sensação térmica das mulheres é mais lenta, o que indica maior sensibilidade, ao mesmo tempo, que permite que o efeito de refrescamento seja prolongado (YU et al., 2016).

Nos estudos com ventiladores, as mulheres apresentaram preferência por velocidades do ar significativamente menores que os homens. Além disso, diferença entre a velocidade do ar preferida entre os gêneros é maior em um ambiente mais quente, pois os homens aumentam a velocidade do ar mais abruptamente que as mulheres. Porém, sob a temperatura muito altas a potência máxima do ventilador tende a ser utilizada por ambos os gêneros (SUN; CHEONG; MELIKOV, 2012; ZHAI et al., 2017). Apesar das mulheres indicarem maior desconforto por corrente de ar (KALMÁR, 2017), quando conferidos controles, as diferenças entre os gêneros se tornam insignificantes, pois há redução do desconforto para ambos (TOFTUM et al., 2003). Karjalainen (2012) comenta que, por serem mais sensíveis, as mulheres deveriam possuir mais controle do ambiente para se manterem em conforto térmico. Pode ser exatamente por esse motivo que elas utilizam mais os controles do que os homens (INDRAGANTI; OOKA; RIJAL, 2015; SUN; CHEONG; MELIKOV, 2012) e modificam mais a vestimenta para adaptarem-se, apesar de indicarem maior aceitabilidade ao ambiente térmico. Destro desse panorama, de que as mulheres são mais sensíveis e sofrem maior desconforto, o a indicação de que aceitam mais a condição ambiente parece contraditória. Porém, essa maior aceitabilidade pode ser explicada por um fator sócio cultural, pois em ambientes predominantemente masculinos as mulheres têm menos possibilidade de expressão sua insatisfação (INDRAGANTI; OOKA; RIJAL, 2015). A opressão sócio cultural é também um dos motivos apontados para o desenvolvimento de hipersensibilidade ao frio, que afeta 30% das mulheres japonesas (KARJALAINEN, 2012), já que não foi encontrada diferença significativa na



temperatura interna e superficial entre mulheres que sofrem ou não com essa síndrome (NAGASHIMA et al., 2002).

A constituição corporal também é um dos motivos para as diferenças de sensação térmica entre os dois gêneros. As mulheres, possuem em média 20% menos massa corpórea e 14% mais gordura do que os homens, além de uma superfície corporal 18% menor. A temperatura superficial das mulheres também costuma ser inferior, e a temperatura interna média 0,2 °C superior à dos homens (KARJALAINEN, 2012). Além disso, a taxa metabólica das mulheres é de 10 a 30% mais baixa do que a dos homens (LUO et al., 2018b). Porém, essas diferenças são verificadas também entre pessoas do mesmo gênero, a taxa de gordura corporal é um dos pontos mais importantes para as diferenças termo fisiológicas entre as pessoas. A gordura funciona como um isolamento térmico, e por isso, em pessoas obesas, a perda de calor é reduzida e a sensação térmica é elevada. Assim, a temperatura superficial do abdômen costuma ser mais baixa e a perda de calor das mãos ser maior, já que o corpo precisa equilibrar a temperatura interna. Por outro lado, a temperatura interna é em geral mais elevada, tanto por conta das barreiras físicas à perda de calor, quanto por conta da taxa metabólica que também é superior em pessoas obesas. Por esses motivos, as pessoas com IMC (índice de massa corporal) elevado, costumam preferir temperaturas mais baixas (VESELY; ZEILER, 2014). Por conta das relações apresentadas, Wang et al. (2018) indicam que se as características individuais de taxa metabólica, temperatura interna e temperatura superficial da pele, as diferenças entre gêneros e usuários com diferentes constituições corporais já estarão consideradas.

A taxa metabólica é citada como uma das variáveis que maior imprecisão gera na predição da sensação térmica segundo modelo PMV-PPD (HOOF, 2010). No geral, os valores utilizados nos estudos são valores médios apresentados nas normativas, definidos a partir da atividade principal desenvolvida no ambiente. Os equipamentos de medição da taxa metabólica, no geral, restringem os movimentos dos usuários, não são portáteis e possuem alta custo de aquisição, o que dificulta e, em alguns casos, inviabiliza a medição dessa variável. Por outro lado, o uso dos valores médios tabelados, apesar de facilitar as análises, desconsidera as diferenças entre as pessoas (LUO et al., 2018b). Alguns dos estudos com ventiladores, incluem a movimentação dos usuários pelo ambiente para simular as variações de taxa metabólica que ocorrem em escritórios reais (TOFTUM et al., 2003; ZHAI et al., 2017). Porém, Luo et al. (2018b) apontam que de 45 a 70% da energia diária gasta corresponde à taxa metabólica basal (em repouso), que varia com a idade, sexo, dimensões e a constituição corporal. Assim, os estudos que visam analisar o impacto da variação de taxa metabólica sobre o conforto térmico dos usuários deveriam considerar as características antropométricas dos usuários e realizar medições da taxa metabólica, ao invés de considerar apenas valores médios de um grupo heterogêneo.

O que pôde ser verificado nesta revisão, e que coincide com o comentado por Karjalainen (2012), é que a maioria dos experimentos em câmara climática são realizados com estudantes universitários, principalmente, homens. Dessa forma, há concentração dos estudos sobre homens na faixa etária de 20 a 30 anos, o que pode não corresponder ao perfil dos usuários em escritórios reais. Há um único estudo dentre os analisados, que avalia a aceitabilidade térmica de grupos de pessoas com faixas etárias e gêneros distintos. O estudo de Kalmár (2017) avalia o uso de um circulador de ar (PV dutado) por homens e mulheres nas faixas de 25 anos e 60 anos. Os resultados indicam que a sensação térmica das mulheres jovens ( $\pm 25$  anos) é significativamente mais alta do que a das mais velhas ( $\pm 60$  anos) e do que a dos homens das duas faixas etárias. Apesar disso, o equipamento testado teve maior efeito exatamente sobre as mulheres de 25 anos, gerando maior neutralidade térmica a esse grupo do que no ambiente sem PV dutado. A diferença de sensação térmica entre os homens jovens e mais velhos não foi significativa, mas, entre as mulheres sim. As mulheres mais velhas parecem ser mais sensíveis, porém o estudo comenta que entre elas há uma diferença importante: o comprimento do cabelo. As mulheres mais velhas, no geral

tinham cabelos mais curtos, isso é, menos isolamento térmico na cabeça, o que pode ter afetado sua sensação térmica, tornando-as mais sensíveis ao aumento da velocidade do ar. (KALMÁR, 2017).

## 2.5. Controlabilidade

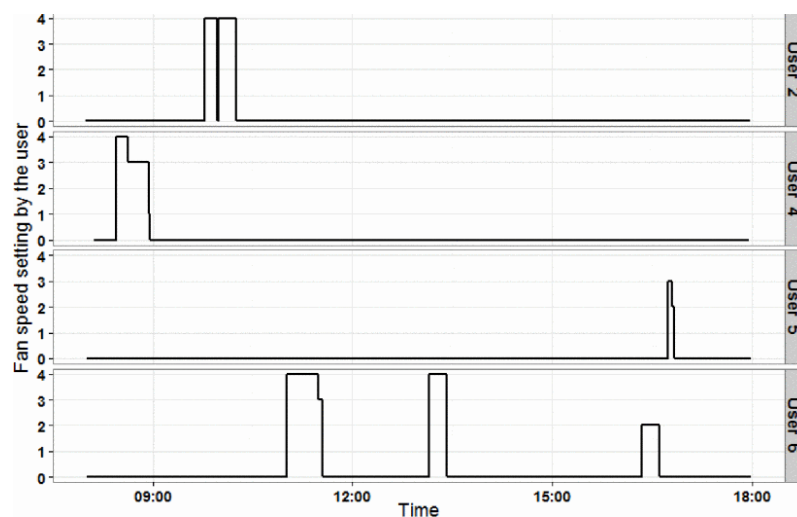
Grande parte dos estudos indicam que a disponibilização de controles aumenta a satisfação dos usuários e o conforto térmico. Isso decorre da possibilidade de ajuste do ambiente segundo as preferências de cada usuário, o que reduz as diferenças interpessoais e aumenta o número de usuários satisfeitos em um mesmo ambiente (CANDIDO et al., 2010a; HE et al., 2017a; VERHAART; LI; ZEILER, 2018; ZHAI et al., 2017). Porém, a disponibilidade dos controles pode também afetar a expectativa térmica dos usuários. Kostianen et al. (2008) constataram que, apesar do aumento da satisfação, os usuários com controle fizeram duas vezes mais reclamações ligadas aos sintomas da síndrome do edifício doente (SBS), ainda que estivessem sob as mesmas condições térmicas que os usuários sem controle. Isso é, sua expectativa era mais alta, o que os tornou mais críticos, tolerando menor desconforto. Os principais sintomas da SBS indicados foram: secura dos olhos e sensação de ar abafado.

Ainda que sejam utilizados como sistema auxiliar, os ventiladores aumentam a possibilidade de controle local, nos ambientes climatizados. Verificou-se que a percepção térmica dos usuários com controle das aberturas e do ar condicionado foi equiparada à dos usuários sem tais controles por conta da presença de ventiladores pessoais (GOTO et al., 2007). Além do efeito físico, o acesso aos controles tem efeitos psicológicos, pois é constatado que usuários sob uma mesma condição térmica se sentem mais confortáveis quando têm acesso aos controles em comparação aos que não tem (ZHANG et al., 2010c). Brager, Paliaga e De Dear (2004) constataram, em um estudo de campo em um ambiente naturalmente ventilado, que o acesso aos controles modifica a expectativa térmica, as pessoas que possuem acesso às aberturas aceitaram maior variação da temperatura do que as demais. He et al. (2017a) verificaram melhoria da qualidade do ar percebida comparado uma situação com controle da velocidade dos ventiladores a outra com velocidade fixa, mesmo que a velocidade selecionada e condições do ambiente fossem as mesmas nos dois casos. Para compreender o efeito psicológico do acesso aos controles, Luo et al. (2015) um estudo em câmara climática com uma campainha, que deveria ser acionada pelo usuário caso ele se sentisse em desconforto térmico. Na primeira etapa do experimento, era avaliado o conforto do usuário no ambiente, sem campainha. Na segunda, a campainha era disponibilizada, porém, sem que os usuários soubessem, ao acioná-la, nenhuma alteração era realizada. Na terceira e última etapa, com o ambiente mantido sob as mesmas condições anteriores, após o acionamento da campainha, a temperatura do ambiente era reduzida, em 2 ou 3 °C. A comparação entre os votos de sensação térmica dos usuários em cada etapa indicou aumento da sensação de neutralidade da primeira para a segunda etapa, apesar de não haver mudança física do ambiente. Esse resultado comprova que o aumento da percepção de controle do usuário foi suficiente para melhorar a sensação térmica, mesmo que o efeito fosse apenas psicológico. Apesar desse resultado, houve maior diferença entre a primeira e a terceira etapa do que entre a primeira e a segunda, indicando que o efeito físico é mais acentuado que o psicológico (LUO et al., 2015).

Dentre os estudos revisados, há alguns nos quais a diferença de conforto ou sensação térmica entre usuários com e sem controle não é significativa. Porém, nesses estudos houve limitação do equipamento, o usuário com controles não sente maior satisfação porque o ventilador já está no máximo, ou porque, no caso comparativo, a velocidade do teste sem controles é igual à selecionada pelo usuário (ARENS et al., 2011; ZHANG et al., 2010d). Schiavon et al. (2017) constataram que o acesso aos controle aumenta, inclusive, a aceitabilidade do ruído do ventilador, quando comparados os votos dos usuários com e sem controles.

Zhai et al. (2017) constataram que o ventilador pode também compensar a variação da taxa metabólica. Quando os usuários retornam ao posto de trabalho, após se movimentarem pelo ambiente, o ventilador permite manter o conforto térmico. Acionar um ventilador é considerado um comportamento adaptativo (DE DEAR; BRAGER, 1998b; INDRAGANTI; OOKA; RIJAL, 2015), com a intenção principal de evitar o desconforto térmico em ambientes naturalmente ventilados (BRAGER; PALIAGA; DE DEAR, 2004; YANG; ZHANG, 2009). Porém, Verhaart, Li e Zeiler (2018) não encontraram correlação significativa entre o momento de acionamento de um sistema de refrigeração personalizado (PV) com o momento de desconforto. No estudo em câmara climática, os autores constataram, que as modificações foram realizadas, predominantemente, na primeira meia hora de experimento, mesmo se as condições térmicas fossem modificadas. Além disso, o número de interações e ajustes não variou com os votos de conforto, variação da temperatura de insuflação, ou em função da composição corporal do usuário (VERHAART; LI; ZEILER, 2018). Dalewski, Melikov e Vesely (2014) encontram um período de ajuste ainda mais curto, no estudo de um sistema de recirculação do ar, a maioria dos usuários ajustou a velocidade do ar apenas nos primeiros 10 minutos, após esse período, houve interação em 10% do tempo restante do experimento. Shetty et al. (2016) apontam que o uso dos ventilador é intermitente e ocorre, principalmente, após o retorno ao posto de trabalho, ou poucos minutos antes da saída, como mostra a Figura 6. Essa figura mostra o diagrama do padrão de uso típicos de 4 usuários distintos em um ambiente de escritório a 25 °C. O baixo percentual de tempo de ativação dos ventiladores é muito visível nos quatro diagramas, além de sua relação com os momentos de saída e chegada do ambiente. Os dois primeiros usuários ligam o ventilador logo após chegarem e o terceiro, logo antes do fim do expediente. Já a última pessoa, usa o ventilador mais frequentemente, ligando um pouco antes e depois da saída para o almoço e no meio da tarde, talvez devido a uma pausa ou retorno de um intervalo. Por conta disso, Shetty et al. (2016) indicam que acompanhar os períodos de intervalo é importante para compreender o uso dos equipamentos.

Figura 6. Padrão de uso dos ventiladores



Fonte: Shetty et al. (2016).

Outros levantamentos de campo também indicam que o tempo em que o ventilador permanece ligado corresponde a um baixo percentual do período de ocupação dos escritórios. Sua ativação correspondeu a menos de 10% do tempo de ocupação no levantamento de campo de Goto et al. (2007) e de 20 a 40% no levantamento de campo de Indraganti et al. (2015), quando os usuários possuíam controle sobre os demais sistemas.

Para testar o efeito dos controles sobre o conforto térmico, saúde e produtividade dos usuários, Boerstra et al. (2015) realizam um teste em câmara climática com três etapas. Na primeira etapa os

usuários podiam controlar o ventilador de mesa conforme sua preferência, na segunda, eles não tinham controle, mas, era mantida a velocidade escolhida na etapa anterior e, na última etapa, era mantida uma velocidade fixa padrão. Os resultados indicaram não haver diferença estatística na sensação e conforto térmico entre a primeira e a segunda etapa. Porém, a percepção de controle e a satisfação com o movimento do ar foi maior na primeira etapa, quando os usuários possuíam controle. O ponto mais surpreendente é que a produtividade percebida foi maior na segunda etapa porque, segundo os usuários, não ter a preocupação de controlar o ventilador permitiu que eles se concentrassem mais no trabalho. Apesar do resultado, os autores comentam que a falta de diferença na percepção térmica dos usuários entre as etapas com e sem controles, provavelmente decorre do fato de que nas duas etapas as condições térmicas eram as mesmas. Assim, não pode ser concluído pelos resultados encontrados, que o acesso aos controles não afeta o conforto, apenas que as condições físicas tiveram maior impacto do que o acesso aos controles sobre a percepção térmica. Os autores ressaltam que o ajuste às preferências de cada indivíduo é possível apenas de forma manual, com a interação do usuário com o ventilador, e que, por conta disso, o resultado do estudo não pode ser entendido como um reforço ao uso da automação. Por um motivo semelhante, ao propor um sistema de automação de ventiladores, Liu et al. (2017) mantiveram a opção de controle manual. Os autores comentam que essa opção é importante, pois podem haver diferenças de preferência entre usuários ou ao longo do dia, gerada pela variação da taxa metabólica, que não poderão ser previstas pelo algoritmo utilizado para a automação.

Além disso, estudos mostram que a possibilidade de controle permitem a redução do consumo energético, pois os sistemas são ativados nos postos de trabalho conforme a necessidade de cada pessoa, evitando desperdício energético (ISHIGURO et al., 2011; SCHIAVON; MELIKOV; SEKHAR, 2010). No caso dos ventiladores, por conta da grande variação de escolha de velocidades do ar entre usuários, a definição de uma única velocidade que agrada a todas as pessoas tende a gerar maior consumo energético. Isso ocorre, porque a velocidade selecionada deverá atender aos usuários com maior desconforto térmico, que demandam uma velocidade superior à média para se manterem confortáveis (HE et al., 2017a). Apesar disso, é verificado que a disponibilização de controles aos usuários nem sempre resulta em redução de consumo, pois se não houver conscientização sobre o uso eficiente dos sistemas, pode ocorrer desperdício energético. Shahzad et al. (2017) verificaram a ocorrência de acionamento simultâneo da refrigeração e aquecimento, e abertura das janelas enquanto o ar condicionado estava ligado, em um edifício onde os usuários tinham total controle dos sistemas. Por conta disso, o consumo desse edifício foi superior ao de um edifício similar, com climatização central automatizada. Para reduzir esse efeito negativo dos controles, pode ser realizada uma automação parcial dos sistemas, como defendem He et al. (2018) que mostram que manter os ventiladores sempre ligados, mas reguláveis, balanceia a demanda de ar condicionado e reduz o consumo. Outra opção citada é a instalação de sensores que impeçam o acionamento concomitante de sistemas com efeitos contrários e indiquem aos usuários quais as melhores estratégias em cada momento do dia (SHAHZAD et al., 2017). Um ponto importante ressaltado nesses estudos é o papel dos usuários no consumo energético, apontando que a conscientização dos usuários sobre o uso eficiente dos sistemas pode ser uma estratégia de baixo custo e grande impacto (SHAHZAD et al., 2017; YANG; YAN; LAM, 2014).

## 2.6. Conforto térmico com ventiladores pessoais

Os ventiladores pessoais produzem resfriamento por aumentar a convecção próxima ao corpo humano, aumentando assim, a troca térmica superficial, o que também gera alestesia positiva em ambientes quentes, isso é, prazer térmico (PARKINSON; DE DEAR, 2016; SIMONE et al., 2014). A perda de calor gerada pela convecção depende, principalmente, da velocidade do ar e da intensidade da

turbulência próxima do corpo. O ventilador aumenta a velocidade do ar e a turbulência, o que permite romper a resistência superficial da camada de ar sobre a pele, aumentando a troca térmica (MELIKOV et al., 2013). Entretanto, a distância do usuário ao ventilador afeta a velocidade do ar que atinge o corpo, a velocidade reduz conforme a distância aumenta. Nas referências analisadas é recomendado que a distância máxima entre o usuário e o ventilador de mesa seja de 20 a 25cm, pois, valores superiores resultam na perda considerável da eficiência da ventilação (HABCHI et al., 2016; SKWARCZYNSKI; DUDZINSKA; SIMCZAK, 2007; WANG et al., 2016). Entretanto, esse limite depende da geometria e potência do ventilador, que alteram a velocidade de saída do ar e dispersão de seu. No caso, por exemplo, dos ventiladores de haste, que são maiores do que os de mesa, no geral, verifica-se efeito significativo da ventilação sobre o usuário, mesmo que o equipamentos esteja a 1m de distância (SCHIAVON et al., 2017).

O perfil de uso dos ventiladores comentado no item anterior é condizente com o previsto pela teoria da alestesia, comentada anteriormente. O tempo de resposta dos ventiladores é bastante rápido, em um ambiente a 28 °C, após 15 minutos de acionamento, os usuários começam a sentir-se confortáveis (ARENS et al., 2011), e podem desligar o equipamento. Sob exposição prolongada, o efeito de resfriamento se estabiliza e a sensação se torna constante (GONG et al., 2006), o que mantém o conforto, mas não gera prazer térmico. Para prolongar a produção de prazer térmico, ou alestesia positiva, alguns autores teorizam que o aumento da frequência de ventilação poderia produzir intervalos que permitissem subsequentes produções de alestesia (PARKINSON; DE DEAR, 2016; ZHANG; ARENS; ZHAI, 2015). Essa possibilidade foi comprovada como eficaz no caso de sistemas de refrigeração individualizada, onde o aumento da frequência de insuflação prolongou a redução da sensação térmica (CHLUDZIŃSKA; BOGDAN, 2015; KALMÁR, 2017; KALMÁR; KALMÁR, 2013; XIE et al., 2018). Com o intuito de explorar essa possibilidade com ventiladores, Parkinson e Dear (2016) realizaram um experimento com 3 padrões ventilação e um constante aplicado à nuca usuários sentados em postos de trabalho em um ambiente controlado. Nesse experimento, o ambiente foi mantido a 27,5 °C, enquanto era aplicada ventilação constante, ou com oscilação de 120s, 60s ou 30s, sempre com mesma velocidade média: 0,65 m/s na nuca dos usuários. Cada padrão foi aplicado durante 5 minutos e a ordem dos padrões foi variada aleatoriamente entre usuários. Os resultados indicaram não haver diferença estatística de efeito entre os padrões. Houve diferença significativa de sensação térmica apenas entre o primeiro e o último padrões de ventilação, não importando quais fossem eles. Além disso, a diferença de prazer térmico foi significativa somente quando comparada a situação inicial, sem ventilação, ao primeiro padrão aplicado. Esse resultado, apesar de não ser o esperado pelos autores, reitera o conceito de alestesia, que indica que a mudança instantânea localizada tem mais efeito sobre o prazer térmico do que a exposição prolongada. Isso é, como não havia intervalo entre os padrões de ventilação aplicados, a variação entre padrões teve menor efeito do que o prolongamento do tempo de aplicação. Dessa forma, a mudança inicial, com aplicação do primeiro padrão, teve maior impacto do que o verificado na aplicação dos seguintes, pois o tempo de exposição cresceu para 10, 15 e 20 minutos. Arens et al. (2011) demonstram que o efeito do ventilador se mantém, mesmo que o usuário se distancie do equipamento por 10 minutos. Assim, para comparação dos padrões de ventilação no estudo de Parkinson e Dear (2016) seria recomendada a previsão de um intervalo mínimo de 30 minutos para aclimação (MAULA et al., 2016; MELIKOV, 2016), e estabilização da sensação térmica (YU et al., 2016) entre a aplicação de cada padrão. Por outro lado, em um experimento com um circulador de ar (PV não dutado) foi comprovado que a redução da frequência de insuflação de 30s para 10s aumenta o efeito de resfriamento gerado, pois o tempo de exposição do usuário ao jato de ar é prolongado (KALMÁR, 2017). O mesmo foi verificado em um experimento com ventilador de teto (PASUT et al., 2014), manter a velocidade alta sobre a pessoa, causou maior efeito de resfriamento do que a oscilação do ventilador. Isso pode decorrer do fato de que esses experimentos foram realizados sob alta temperatura ambiente: 30 e 28 °C, respectivamente, onde há maior demanda de uso do ventilador (SHETTY et al., 2016). Além disso, Xie et al. (2018) verificaram

em um experimento com sistema de refrigeração pessoal (PV), que o aumento da velocidade do ar tem maior efeito sobre o conforto e sensação térmica do que o aumento da frequência.

No estudo de Parkinson e Dear (2016) o efeito do ventilador foi mais significativo quando os usuários foram separados em dois grupos, aqueles que consideravam a condição inicial mais desagradável sentiram mais prazer térmico com a ventilação pontual dos que consideraram a condição inicial menos desconfortável. Esse resultado comprova que os usuários têm sensibilidade distinta entre si e, além disso, confirma a proporcionalidade da alestesia, pois aqueles que possuíam sensação mais extrema, sentiram maior prazer quando seu corpo retornou ao equilíbrio. Apesar disso, o estudo apresentou um resultado inesperado quando à temperatura superficial da nuca dos dois grupos. A variação entre a temperatura inicial e final da pele da nuca dos usuários que sentiram maior prazer térmico foi menor do que a variação dos usuários que sentiram menor efeito da ventilação. Isso indica que a mudança de sensação térmica, teve maior efeito sobre o aumento do prazer térmico do que as mudanças físicas do corpo, como a alteração da temperatura superficial da nuca, e a perda de calor, que também foi menor nesse ponto (PARKINSON; DE DEAR, 2016).

Quando comparadas as variações de sensações térmicas, velocidades do ar e a perda de calor em ambientes com temperatura elevada são também verificados resultados inusitados. He et al. (2017a) e Zhai et al. (2017) verificaram que quanto maior a temperatura ambiente, maior a redução de sensação térmica gerada pelo ventilador. Além disso, quanto maior o movimento do ar, maior a aceitabilidade de altas temperaturas e quanto mais alta a temperatura, maior é a velocidade do ar preferida ou selecionada pelos usuários. Por conta disso, nos ambientes mais quentes, o alto movimento do ar não causa desconforto localizado, gerando apenas efeito positivo (HE et al., 2017a; SCHIAVON et al., 2017; ZHAI et al., 2017). Por outro lado, foi constatado que a perda de calor gerada por convecção decai conforme a temperatura do ambiente aumenta. Em um teste realizado com manequins térmicos, concluiu-se que a perda de calor gerada pelo ventilador em um ambiente a 26°C é maior do que em um ambiente a 28 °C, e a taxa é ainda menor em um ambiente a 30 °C. Isso é, ainda que a velocidade do ar seja incrementada em ambientes a 28 e 30 °C, a perda de calor gerada pelo ventilador de mesa será muito menor do que a gerada em um ambiente a 26 °C (SIMONE et al., 2014). Isso indica que a sensação de resfriamento não é proporcional à perda de calor, o que pode decorrer da subjetividade do voto de sensação térmica, ou não linearidade na correlação entre esse voto e as variáveis físicas, como a temperatura do ar, a temperatura superficial da pele e a perda de calor.

O ponto de aplicação do estímulo também tem importância significativa sobre o efeito de resfriamento. A sensação térmica local é proporcional à sensação térmica global, além disso, os estímulos localizados opostos à temperatura ambiente têm maior efeito. Isso é, em um ambiente quente, os estímulos localizados frios são sentidos com maior intensidade do que os estímulos quentes, e afetam mais a sensação global do corpo, já em um ambiente frio, ocorrerá o oposto. Além disso, os termo receptores responsáveis pelas sensações térmicas não se distribuem uniformemente pelo corpo. As extremidades do corpo: mãos, braços, pernas e pés, concentram maior quantidade de termo receptores do frio, enquanto os termo receptores do calor se concentram na região central, no tronco e na cabeça. Por conta disso, em ambientes quentes, os estímulos frios serão mais eficazes se aplicados às regiões centrais do corpo, amenizando a recepção do calor. Porém, também há diferenças entre ambientes uniformes e não uniformes. Em ambientes quentes não uniformes, o tórax, as costas e a pélvis são mais sensíveis aos estímulos, enquanto que nos ambientes uniformes, estímulos sobre a face têm maior efeito de resfriamento. Além disso, nos ambientes uniformes, o nível de conforto global é definido pelos dois pontos do corpo sob maior desconforto, mas, nos não uniformes, o conforto global é definido pela média entre o ponto de maior conforto e os dois pontos de maior desconforto (MISHRA; LOOMANS; HENSEN, 2016; ZHANG et al., 2010c). Isso é, no ambiente não uniforme, com sistemas personalizados, o

desconforto térmico em pontos não afetado pelo sistema terá menor efeito sobre o conforto térmico global do usuário.

Melikov et al. (2013) e Simone et al. (2014) verificaram maior efeito do ventilador de mesa sobre a face, na redução da sensação térmica local e perda de calor. Há menor efeito sobre os braços e o tórax e, efeito praticamente nulo, sobre as pernas. Em um dos estudo houve desconforto por calor nas pernas, porém verificou-se que esse não era decorrente do uso dos ventiladores, pois o desconforto permanecia quando os ventiladores não eram disponibilizados (MELIKOV et al., 2013). Esse resultado também é condizente com o colocado no parágrafo anterior, na condição não uniforme gerada pelo ventilador, o desconforto nas pernas tem menor impacto sobre o conforto térmico global, já que aumenta o conforto em outros pontos do corpo. Os estudos de Melikov et al. (2013) e Simone et al. (2014) indicam que o mais recomendável é o direcionamento do ventilador de mesa para a face, apesar desse não ser o ponto de maior sensibilidade identificado por Zhang et al. (2010c) para condições não uniformes, como comentado anteriormente. Nos estudos com sistemas personalizados de refrigeração (PV), que também geram uma condição ambiente não uniforme, os usuários costumam direcionar a saída de ar frio para sua face ou tórax, e sentem desconforto quando a direcionam para o abdômen (CHLUDZIŃSKA; BOGDAN, 2015; KACZMARCZYK et al., 2006; KACZMARCZYK; MELIKOV; FANGER, 2004). Entretanto, o tempo de exposição pode afetar a definição do ponto ao qual os ventiladores devem ser direcionados para aumentar o efeito em ambientes quentes. Nos ambientes uniformes, o acionamento do ventilador direcionado à face tem maior efeito, porém, com o prolongamento da exposição, a condição se consolida como não uniforme e, nesse caso, o ponto focal talvez deva ser modificado. Os estudos com ventiladores não avaliam o uso além de uma hora, e no geral, são definidas posições fixas para os ventiladores, o que impossibilita a avaliação da questão apresentada.

Uma conclusão reiterada por diversos estudos com ventiladores é que o aumento da velocidade do ar permite estender a temperatura de aceitabilidade térmica dos usuários. Abaixo é apresentada uma tabela indicando as temperaturas máximas de cada estudo que permitiram manter: alta a aceitabilidade térmica (no mínimo, 80% dos votos), preferência pela não modificação da temperatura do ar, sensação térmica igual ou menor do que “+1” na escala sétima e aceitabilidade da qualidade do ar:

*Tabela 2. Temperaturas máximas de aceitabilidade atingidas em cada estudo de referência*

Referência	País	Temp. máx. aceita (°C)	Tipo de ventilador	Velocidade do ventilador (m/s)
ZHANG; ARENS; PASUT (2011)	EUA	25,5	Sem ventilador	
	Canadá			
	Reino Unido	28,0	Ventilador de teto ambiente	Não indica
	Grécia			
	Austrália	30,0	Ventilador pessoal	Entre 0,6 – 1,0
HE et al. (2017b)	China	30,0	Ventilador de mesa – vel. fixa	1,6
HE et al. (2017a)	China	30,0	Ventilador de mesa	2,3
KALMÁR (2017)	Hungria	30,0	3 vent. fixos ao redor da face	Média: 0,5
SCHIAVON et al. (2017)	Singapura	29,0	Ventilador pessoal	≈1,5
ZHAI et al. (2017)	EUA	28,0	Ventilador pessoal de teto	Entre 1-1,2
PASUT et al. (2014)	EUA	28,0	Vent. Teto – vel. e posição fixa	Entre 0,9-0,8
SIMONE et al. (2014)	Dinamarca	28,0	Ventilador de mesa	1,5

Em alguns dos estudos elencados, a temperatura máxima aceitável coincidiu com a temperatura máxima testada (KALMÁR, 2017; PASUT et al., 2014; SCHIAVON et al., 2017; SIMONE et al., 2014), o que impossibilita definir se temperaturas superiores seriam aceitas. Por outro lado, a velocidade do ar indicada nos estudos é, no geral, medida próxima ao ventilador, não sendo possível avaliar a velocidade que incide sobre o usuário e comparar os valores aceitos. Na revisão realizada por Zhang, Arens e Zhai (2015), os autores identificaram que os ventiladores podem reduzir a temperatura de neutralidade térmica em, no máximo, 3 K. Porém, em outros estudos, a aceitabilidade do movimento do ar foi comprometida por limitações dos equipamentos. Nos ambientes a 30 °C, apesar da alta aceitabilidade térmica, as pessoas queriam mais movimento do ar, mesmo com a velocidade máxima selecionada, o que indica que a potência máxima do ventilador era insuficiente para atender à demanda dos usuários (HE et al., 2017a; ZHAI et al., 2017). Em outro caso, a velocidade selecionada era uma posição inferior à velocidade máxima do equipamento, apesar do usuário indicar que preferia mais movimento do ar, o que indica que o intervalo de variação entre velocidades era inadequado, pois o usuário preferia uma velocidade intermediária (ZHAI et al., 2013). Zhang, Arens e Pasut (2011) indicam que, no geral, a aceitabilidade da qualidade do ar é alta, mesmo quando a velocidades do ar é baixa. Por outro lado, a sensação de secura dos olhos pode aumentar com o uso do ventilador, se tornando uma barreira ao incremento da velocidade do ar (HE et al., 2017b; SHETTY et al., 2016). No estudo realizado por Melikov et al. (2013) os usuários não aumentaram a velocidade do ventilador, apesar quererem mais movimento do ar, provavelmente, por conta do incremento do desconforto nos olhos. Entretanto, em outros estudos, verificou-se que o aumento da temperatura ambiente resultar no aumento da secura dos olhos, e os ventiladores tem menor efeito sobre essa sensação do que a temperatura ambiente (SCHIAVON et al., 2017; ZHAI et al., 2013). Assim, não há um consenso sobre esse possível efeito negativo dos ventiladores, indicando a necessidade de expansão das pesquisas sobre esse tema. Outro elemento a ser considerado para análise da eficiência dos ventiladores é a umidade do ar, pois seu aumento reduz o conforto térmico dos usuários e a qualidade do ar percebida. Em ambientes com temperatura do ar de 30 °C e 80% de umidade relativa, foi constatado pouco efeito dos ventiladores sobre a sensação e conforto térmico dos usuários, pois o incremento da velocidade do ar foi insuficiente para compensar o desconforto térmico (ZHAI et al., 2013).

Assim, é possível identificar que apesar do incremento da velocidade do ar permitir o conforto em ambientes com temperatura alta, há limites máximos de temperatura aceitos pelos usuários e podem haver outras barreiras, como as características do ventilador, a secura dos olhos e a umidade do ambiente. Além disso, é possível identificar em diversos estudos com ventiladores que é atingido maior percentual de votos neutralidade ou preferência térmica por ambientes a 26 °C de temperatura (SCHIAVON et al., 2017; SHETTY et al., 2016; ZHAI et al., 2013, 2017). Goto et al. (2007b) também identificaram preferência predominante pela temperatura SET de 26 °C entre usuários de edifícios naturalmente ventilados e condicionados. Simone et al. (2014) indicam que é possível atingir satisfação térmica sob temperatura máxima de 28 °C com ventiladores, porém, nos resultados apresentados em seu estudo, não há diferença aparente entre a satisfação térmica nessa temperatura e no ambiente a 26 °C. Além disso, Schiavon et al. (2017) verificaram também, aumento da produtividade a 26 °C, independente da disponibilidade dos ventilador, se comparada à produtividade em um ambiente a 23 °C. Isso é, há muitas vantagens na elevação da temperatura de ambientes de trabalho, que em muitos casos são mantidos a 23 °C, porém, o limite de 26 °C temperatura será mais confortável para a maioria dos usuários, inda que limites superiores sejam aceitos com o uso de ventiladores.



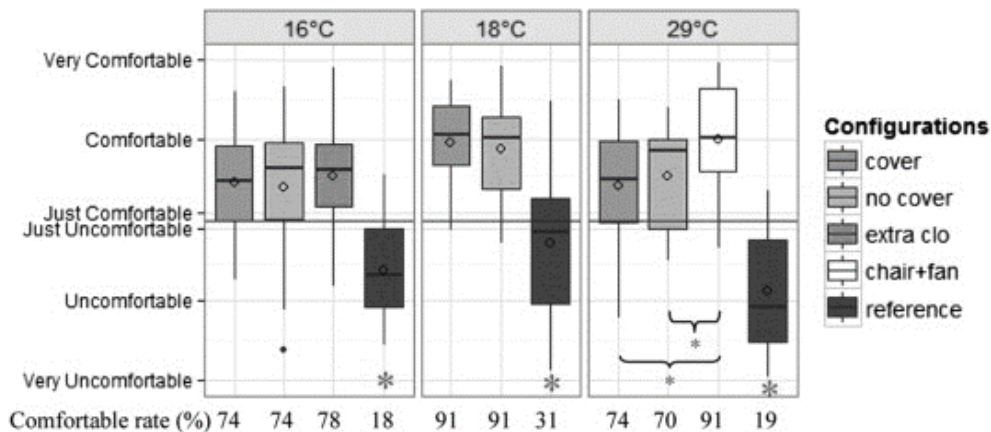
## 2.7. Comparação entre sistemas personalizados

Apesar da grande variedade de sistemas personalizados (PCS) citados nos artigos analisados, poucos estão disponíveis no mercado ou difundidos nos espaços de trabalho, pois a maioria é desenvolvida por pesquisadores em laboratórios (ZHANG; ARENS; ZHAI, 2015). O principal limitante à disseminação dos PCS é o custo de aquisição e implantação, pois alguns deles precisam ser conectados a um sistema central existente, ou a um sistema secundário de refrigeração que demanda espaço e afeta as instalações do edifício. Por outro lado, os ventiladores de mesa são portáteis e têm baixo custo de aquisição, de forma que, os usuários que sentem maior desconforto por calor em seu espaço de trabalho, podem adquirir seus próprios ventiladores, pois, além das vantagens mencionadas, eles têm baixo impacto sobre as instalações do edifício (HE et al., 2017b; VERHAART; LI; ZEILER, 2018; ZHANG; ARENS; ZHAI, 2015). Por conta disso, no estudo realizado por Goto et al. (2007b), 16% dos ocupantes de edifícios condicionados, possuíam ventiladores pessoais. Além de utilizados para reduzir o calor de usuários que sentem mais desconforto que a maioria, os ventiladores podem também compensar o mal funcionamento dos sistemas de climatização central (BOERSTRA, 2010). No geral, os sistemas personalizados são desenvolvidos com intuito de alcançar a melhor relação entre custo, consumo energético e eficiência de resfriamento ou aquecimento, para gerar o máximo conforto aos usuários. O sistema RoCo (*Roving Comforter*), por exemplo, tenta prover refrigeração em um suporte portátil com baixo custo, utilizando materiais de mudança de fase associados à intensificação da velocidade do ar (DHUMANE et al., 2017, 2018). Esse sistema ainda está em desenvolvimento, mas, é provável que nos próximos anos sejam publicados resultados de teste com usuários.

Os sistemas pessoais de refrigeração (PV) permitem a insuflação de ar frio próximo à zona de ocupação, enquanto os ventiladores apenas circulam o ar saturado. Por conta disso, seria esperado que os PV produção maior aumento do conforto térmico dos usuários em ambientes quentes do que os ventiladores (SCHIAVON; MELIKOV, 2009). Porém, os estudos indicam que o aumento da velocidade gera maior redução na sensação térmica do que a redução da temperatura localizada, nesses ambientes (CHLUDZIŃSKA; BOGDAN, 2015; XIE et al., 2018). Por conta disso, quando comparados PV e ventiladores, encontram-se resultados similares de redução da sensação térmica e aumento da aceitabilidade térmica, não havendo diferenças significativas entre os dois equipamentos (MELIKOV et al., 2013). Da mesma forma, também seria esperado que o PV, que permite insuflação de ar externo limpo na zona de respiração, tivesse melhor desempenho do que os ventiladores, sobre a qualidade do ar percebida. Porém, os votos de qualidade do ar percebida dos usuários, utilizando os dois equipamentos, são muito similares. Como comentado anteriormente, a qualidade do ar percebida tem grande correlação com o conforto e sensação térmica, assim, ao aumentarem o conforto de forma similar, a qualidade do ar percebida com os dois equipamentos também aumenta. A diferença identificada entre os votos dos usuários, é que o ventilador tem maior efeito sobre o aumento da aceitabilidade do ar, enquanto o PV tem maior efeito sobre o aumento da limpeza do ar percebida (MELIKOV et al., 2013).

De forma geral, os sistemas mais eficientes são os que associam mais de um equipamento, como ventiladores de mesa e cadeira com ventiladores acoplados e refrigeração do pulso (LUO et al., 2018a) ou ventilador de mesa com sistemas radiantes de refrigeração (HE et al., 2017c, 2017b; MELIKOV et al., 2013). Apesar de constatado que a convecção gera maior resfriamento do que a radiação (MELIKOV et al., 2013) os usuários avaliam o resfriamento com o painel radiante como mais agradável, por ser mais suave, ao mesmo tempo que o ventilador é tido como mais eficaz na redução da sensação de abafamento (MELIKOV et al., 2013). A associação do sistema de cadeira com um ventilador de mesa também tem efeito consideravelmente maior sobre o conforto térmico em ambientes quentes, a 29 °C, do que o uso apenas do sistema da cadeira, como pode ser verificado na Figura 7, a seguir:

Figura 7. Conforto térmico global dos usuários. Os asteriscos indicam diferença estatística significativa para o intervalo de confiança de 95%.



Fonte: PASUT et al. (2015).

O percentual de usuários confortáveis aumentou em 21% associando o ventilador de mesa ao sistema da cadeira, conforme a figura. Além disso, há um aumento de 62% na aceitabilidade do movimento do ar com o uso do ventilador (PASUT et al., 2015). Esse e outros estudos com sistema de ventiladores acoplados a cadeiras, indicam que o uso associado do ventilador de mesa é importante para reduzir o desconforto na face sentido pelos usuários, pois esse ponto do corpo não é afetado pela cadeira (PASUT et al., 2015; SUN; CHEONG; MELIKOV, 2012; WATANABE; SHIMOMURA; MIYAZAKI, 2009). Assim, ainda que nesses sistemas o ar seja aplicado diretamente nas costas e pélvis, indicados como pontos de maior sensibilidade em condições não uniformes, o desconforto da face tem importância significativa no conforto global dos usuários. Fang et al. (2018) apontam que apesar do torço e das costas sofrerem variações de temperaturas superficiais mais próximas às variações da temperatura interna, a cabeça é o ponto onde há maior densidade de termo receptores de calor. Por conta disso, o desconforto da cabeça no ambiente quente pode ser mais intenso do que o desconforto sentido nas demais regiões centrais do corpo, ainda que recebam os mesmos estímulos térmicos.

Além disso, aplicando os índices CFE, COP<sub>Q</sub> ou CEP, descritos no item 2.2 deste trabalho, é constatado que o coeficiente de performance dos os ventiladores de mesa é superior ao de outros tipos de ventiladores, como os de teto, axiais e de piso (HE et al., 2017a; SCHIAVON; MELIKOV, 2009), além de ser superior ao do sistema acoplado à cadeira (HE et al., 2017a, 2017b; LUO et al., 2018a). Apesar dos ventiladores de teto e o sistema acoplado à cadeira atingirem uma superfície maior do corpo e gerarem maior taxa de perda de calor (SCHIAVON; MELIKOV, 2009; ZHANG; ARENS; ZHAI, 2015), a potência dos ventiladores de mesa pode atingir valores significativamente menores, o que os tornam mais eficientes energeticamente (HE et al., 2017a, 2017b; LUO et al., 2018a; SCHIAVON; MELIKOV, 2009). O ventilador mais eficiente dentre os estudos revisados foi o utilizado por He et al. (2017b) em seu estudo, que com a potência máxima de apenas 3 W produz 2,3 m/s de velocidade do ar. Essa potência é muito inferior ao limite de 30 W estabelecido em estudos anteriores que pretendia determinar a potência máxima dos ventiladores para que o consumo não ultrapasse o percentual de redução produzido pela ampliação do *setpoint* do ar condicionado (SCHIAVON; MELIKOV, 2008; YANG; SEKHAR; MELIKOV, 2010). O ventilador permite que os usuários aceitem temperaturas ambientes mais altas, porém, se tiver potência muito alta, o tempo de ativação necessário para manter essa aceitabilidade pode fazer com que o consumo ultrapasse a redução atingida pelo aumento do *setpoint*. Entretanto, as estimativas apresentadas nesses estudos desconsideram o uso intermitente do ventilador verificada em campo (SHETTY et al., 2016) e também não considera a redução da velocidade do ar condicionado central que seria possível atingir pelo

incremento da velocidade local. Se a velocidade do ar do sistema de condicionamento central pudesse ser automaticamente reduzida em função da velocidade intensificada por ventiladores locais, seria possível economia de de 4 a 40% do consumo energético (XU et al., 2017; YAN et al., 2018). A automação dos sistemas, permite grande redução de consumo de energia (PANTELIC; RAPHAEL; THAM, 2012), porém, o ajuste do ambiente às preferências individuais será sempre mais preciso quando realizado pelos próprios usuários (BOERSTRA et al., 2015b; FANG et al., 2018b; KOSTIAINEN et al., 2008). Assim, o ideal seria a definição de um sistema em que a velocidade do ar do ambiente fosse automaticamente regulada conforme seleção manual da velocidade do ventilador local, pelo usuário. Pois, se o usuário tiver controle sobre os dois sistemas, é possível que o potencial de redução gerado pelo ventilador seja suprimido, como ocorreu no estudo de He et al. (2018). Nesse experimento foram avaliadas as escolhas e a percepção térmica de dois usuários com acesso a ventiladores de mesa e controle da temperatura do ar condicionado, em uma câmara climática. Constatou-se que a definição do *setpoint* do ar condicionado de forma consensual tende ao aumento do consumo energético, dado que a preferência do usuário com maior desconforto prevalece. A temperatura atingida para que esse usuário se sentisse plenamente confortável, foi muito inferior à temperatura que seria necessária para manter o conforto do usuário menos sensível. Porém, como o usuário menos sensível aceitou as mudanças propostas pelo usuário mais desconfortável, a temperatura final satisfaz os dois, apesar de ser inferior à prevista para um ambiente com ventiladores de mesa, de forma que a redução de consumo energético também não foi atingida (HE et al., 2018).

Os sistemas de condicionamento vinculados à vestimenta poderiam ser uma forma de associar conforto e mobilidade para os usuários, no geral, necessitam da conexão com um sistema de refrigeração que circule ar ou água fria na vestimenta. Por esse motivo, esses sistemas são utilizados, principalmente sob condições térmicas extremas, como ocorre em aeronaves e astronaves ou são utilizadas em hospitais para proteger pacientes em situação de risco (MOKHTARI YAZDI; SHEIKHZADEH, 2014). Alguns sistemas são propostos especificamente para o uso em escritórios, utilizando materiais de mudança de fase (PCM) para refrigeração do corpo. Porém, ainda assim, a maioria dos estudos objetiva a redução do calor sob altas temperaturas do ar que ocorrem esporadicamente (GAO et al., 2012; SONG; WANG; WEI, 2016). Por conta disso, não são práticas para o uso cotidianos, por serem muito volumosas, além de esteticamente desagradáveis. Como contrapartida, Sakoi et al. (2014) propõem um sistema de fibras capilares que podem ser aplicada em uma camiseta comum. O sistema circula água, e permite o controle individual da vazão, além do controle da convecção gerada por um ventilador de mesa com 3 velocidades. Apesar do sistema aumentar o conforto térmico dos usuários, ele gera condensação sobre a roupa quando há maior temperatura ambiente resultando em grande desconforto. Assim, nenhum dos sistemas indicados nas publicações revisadas apresentou usabilidade similar ao dos demais sistemas personalizados de refrigeração.

## 2.8. Considerações finais da revisão de literatura

Conforme demonstrado na revisão do referencial teórico apresentado, o ventilador de mesa é um equipamento com grande potencial de incrementar o conforto dos usuários no ambiente de escritório sob alta temperatura. Esse equipamento poderia ser utilizado para aumentar o tempo de aproveitamento da ventilação natural ou aumentar a temperatura de *setpoint* de refrigeração, para, ao menos, 26 °C. O ventilador, aumenta, por convecção, a perda de calor do corpo, além de atender à demanda de aumento do movimento e a qualidade do ar percebida, aumentando sua satisfação térmica dos usuários. O controle individual, além de aumentar a satisfação por permitir o ajuste do microclima no posto de trabalho segundo preferências individuais, gera também aumento da satisfação por aumentar a sensação de

controle, tendo um efeito psicológico. Assim, o equipamento permite que haja maior satisfação dos usuários que compartilham um mesmo ambiente térmico, como ocorre em espaços compartilhados de trabalho.

Porém, verifica-se que há poucos estudos que se aprofundam no impacto do ventilador pessoal sobre o conforto do usuário em ambientes de escritório em operação. He et al. (2017b) indicam que os usuários que tem ar condicionado vão sempre preferir acionar o ar condicionado ao invés de outro sistemas. Apesar dos estudos em câmara térmica indicarem possibilidades de expansão da temperatura de aceitabilidade a até 30 °C, é difícil precisar se, durante a rotina de trabalho, os usuários aceitariam esse limite e utilizariam os ventiladores como previsto. Um ponto importante indicado é que o uso dos ventiladores em ambientes reais costuma ser intermitente, os ventiladores ficam ligados durante um pequeno percentual de horas de ocupação, principalmente no momento de chegada ao posto de trabalho no começo do dia ou após intervalo. O acionamento não depende necessariamente do desconforto térmico do usuário, de forma que o efeito do ventilador dependerá do comportamento dos usuários e sua consciência ambiental.

Além disso, as normativas e modelos de previsão de conforto ainda não contemplam os efeitos e potenciais gerado pelo uso de sistemas personalizados, além de carecerem de diretrizes de desempenho que garantam o bom funcionamento dos sistemas. Esses parâmetros só poderão ser definidos com a ampliação dos estudos, pois ainda não há um consenso dentre os estudos sobre alguns pontos, além disso, algumas questões permanecem sem respostas. Algumas dessas questões são: seria o efeito dos ventiladores sobre os olhos um empecilho ao seu uso? Para qual ponto do corpo o ventilador deve ser direcionado para otimizar o resfriamento: para a face, ou o tórax e as costas? Qual limite máximo de velocidade deveria ser requerido para o funcionamento dos ventiladores? Como manter o controle pessoal e garantir baixo consumo energético?

Este trabalho não poderá abordar todas essas questões, porém, elas ressaltam a importância da expansão de estudos envolvendo a aplicação de ventiladores individuais em escritórios em operação.

### 3. MÉTODO E INSTRUMENTOS

Nesta seção são apresentados os métodos e instrumentos utilizados neste trabalho. Neste trabalho foi realizado um levantamento de campo aplicado a dois escritórios na cidade de Florianópolis. O estudo de campo se propõe a avaliar a percepção térmica dos usuários frente à variação das condições térmicas do ambiente e uso dos sistemas de condicionamento. Esse procedimento foi realizado em dois momentos: no primeiro acompanhando o uso padrão e percepção dos usuários e outro momento com a introdução de ventiladores de mesa para comparação dos resultados. A avaliação da percepção dos usuários foi feita com a aplicação de questionários e simultânea medição das variáveis ambientais térmicas. Ao final do levantamento, foi aplicado outro questionário para registrar e sintetizar as opiniões dos usuários em relação aos ventiladores. Após a aplicação do estudo de campo, os dados foram organizados e tratados, para que os resultados dos períodos pudessem ser comparados. Nos apêndices A e B são apresentados os questionários e nos C, D e E, são apresentados análises e levantamentos complementares ao estudo de campo.

#### 3.1. Estudo de campo

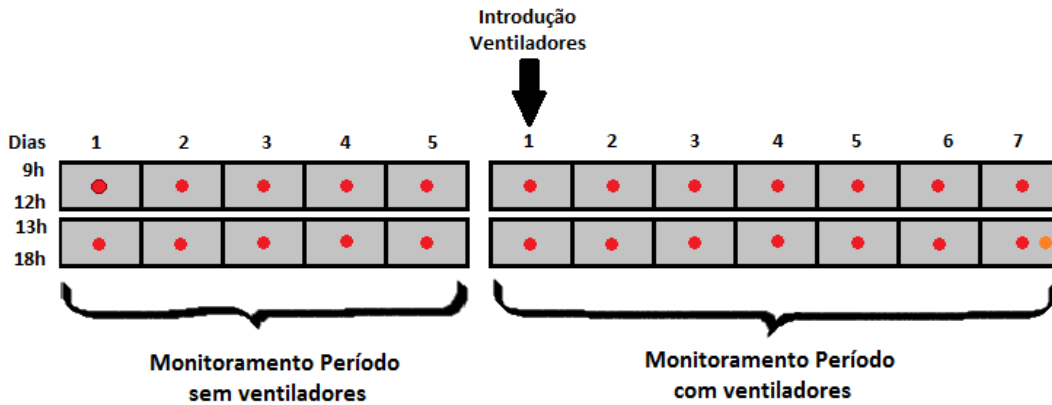
A primeira etapa consistiu na identificação de espaços de trabalho de uso coletivo onde pudesse ser realizado o estudo. Após autorização e consentimento dos usuários, foi realizada uma visita de reconhecimento ao local para identificação dos sistemas de condicionamento, mecanismos e acesso aos controles, o número de pessoas e horário de ocupação. As características do ambiente foram registradas em plantas esquemáticas, onde foi indicada a localização dos equipamentos, sistemas e pessoas. Em seguida, foi planejado o início das medições junto ao responsável pelo local.

No primeiro dia de levantamento, a pesquisa foi apresentada aos usuários, assim como o questionário principal. As variáveis ambientais foram registradas ao longo do dia por meio de confortímetros posicionados no centro dos ambientes, enquanto o preenchimento do questionário online foi solicitado aos usuários para registro de sua percepção e avaliação das condições térmicas do ambiente. A frequência de aplicação dos questionários foi restringida de forma que interferissem o menos possível o desenvolvimento do trabalho dos funcionários. Para equilibrar a quantidade de informação necessária para o estudo e a quantidade de informação que os usuários estão dispostos a fornecer, a aplicação dos questionários foi realizada duas vezes ao dia, uma no período da manhã e outra no período da tarde. O momento exato de aplicação não foi pré-determinado, para permitir seu ajuste em função da agenda e movimentação dos ocupantes, aumentando o número de questionários coletados. Além disso, para garantir que os usuários estivessem aclimatados e houvesse menor variação de taxa metabólica entre eles, foi solicitado o preenchimento dos questionários após 20 minutos da chegada do usuário a seu posto de trabalho. Por conta disso, e para permitir relacionar as respostas dos usuários com as condições ambientes no momento de resposta, as variáveis climáticas foram registradas continuamente ao longo do dia. De forma complementar, no momento de solicitação do preenchimento, foi medida a velocidade e temperatura do ar próximas ao usuário com um termo anemômetro.

Para avaliação do efeito do ventilador, o estudo de campo foi dividido em dois momentos, no primeiro momento com a operação normal dos sistemas, conforme costume dos usuários e, em um segundo momento, miniventiladores de mesa foram disponibilizados aos usuários. Durante os dois períodos, os usuários acionaram livremente os sistemas de condicionamento, operaram as aberturas e modificaram sua vestimenta. O acionamento dos equipamentos de ar condicionado e as condições das aberturas foram registrados por observação. A Figura 8 indica o esquema geral de procedimento, o número de dias previstos para o levantamento em cada período, os momentos de aplicação do questionário principal (indicados por pontos vermelhos) e o momento de aplicação do questionário final

(indicado por um ponto laranja). O questionário final foi preenchido no último dia do experimento para avaliar o equipamento e seus efeitos.

Figura 8. Esquema do protocolo de procedimento. Pontos vermelhos representam questionários principais, ponto laranja representa o questionário final



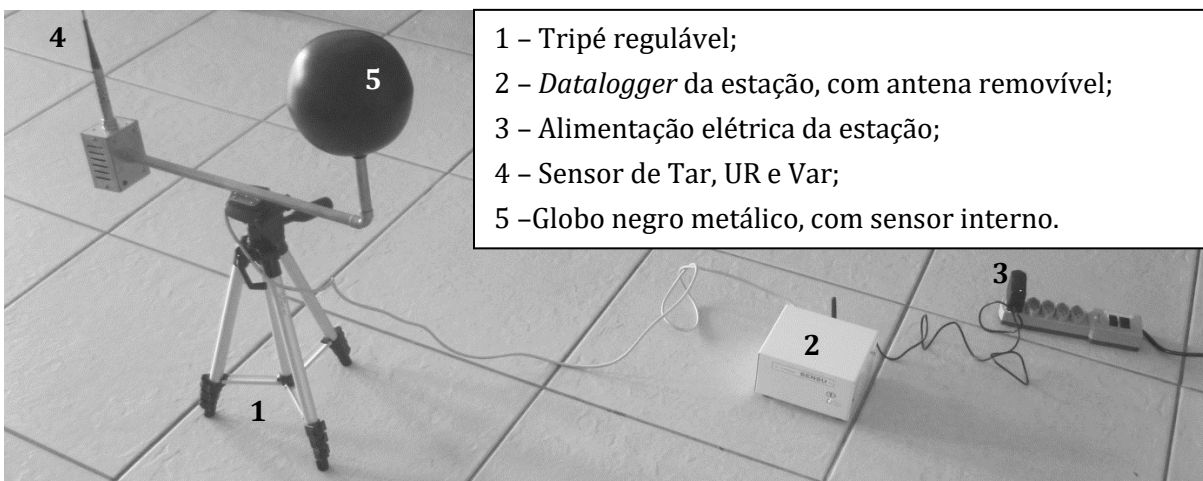
As condições externas também influenciam o comportamento e conforto dos usuários no ambiente interno, além de afetarem as condições do ambiente. Por conta disso, os dados da estação meteorológica mais próxima ao local de aplicação do estudo, também foram coletados no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2018).

### 3.2. Instrumentos de Medição das variáveis ambientais

Para levantamento das variáveis ambientais foram utilizados dois confortímetros SENSU, e um termo anemômetro de fio quente. A quantidade de confortímetros utilizada em cada ambiente variou em função da uniformidade das condições térmicas locais.

Os confortímetros da marca SENSU, são produzidos pelo Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termo Físicas (LMPT/UFSC), e permitem a medição da temperatura do ar ( $T_a$ ), além da temperatura de globo negro ( $T_g$ ), da umidade relativa do ar (UR) e da velocidade omnidirecional do ar ambiente ( $V_{ar}$ ). Os equipamentos são compostos, como indicado na Figura 9, por um tripé que suporta a estrutura dos sensores, um *datalogger* que envia, por sinal de rádio, os dados para um segundo *datalogger* (comum às estações) conectado a um computador. A leitura e registro dos dados é realizada por um software específico fornecido com o equipamento, que gera arquivos em formato de texto.

Figura 9. Confortímetro SENSU.

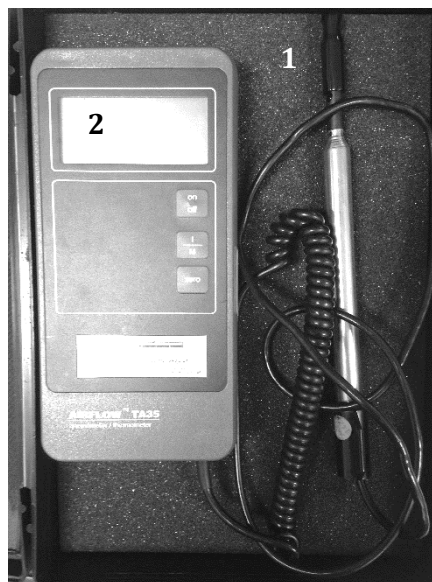


Os equipamentos foram previamente calibrados, antes do início do levantamento, o que garantiu os seguintes intervalos de medição e precisões:

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

O termo anemômetro de fio quente, da marca Airflow, modelo TA35, é composto por uma haste metálica estendível que abriga um sensor na extremidade que permite medir a velocidade do ar unidirecional (Varloc) e a temperatura do ar local (Tarloc). Os dados medidos não são registrados pelo aparelho, podendo apenas serem visualizados no display digital, mostrado na Figura 10, por conta disso, foi realizado o registro manual. A alimentação do equipamento é feita por baterias, o que permite sua portabilidade.

Figura 10. Termo anemômetro Airflow TA35



- |  |
|--|
| <p>1 - Haste regulável com sensor;</p> <p>2 - Display digital.</p> |
|--|

Segundo o fabricante, o equipamento permite a medição com os seguintes intervalos e precisões:

- Velocidade do ar (Varloc, em m/s): 0,25 a 20 m/s; incerteza de 3%;
- Temperatura do ar (Toloc, em °C): 0 a 80 °C, incerteza de 1 °C.

Como procedimento padrão, os confortímetros foram posicionados no centro do ambiente, após verificado, com o termo anemômetro, que o ambiente possuía condições uniformes de temperatura, e que a possibilidade de condicionamento e acesso aos controles eram também uniformes. No caso de variações significativas, um segundo confortímetro foi posicionado, de forma que cada setor do ambiente, com condições uniformes, fosse monitorado individualmente. Além disso, o termo anemômetro foi utilizado para medição da velocidade do ar próxima ao usuário no momento de preenchimento do questionário. Para isso, o instrumento foi posicionado próximo ao rosto, tórax, costas, braços e mãos, dependendo do sistema em operação. Após aguardar alguns minutos para estabilização, o valor médio medido foi anotado. A medição focou-se no registro dos pontos atingidos pelo ar condicionado, ventilador de mesa e ventilação natural, isso é, o ar proveniente de sistemas e aberturas próximas. O posicionamento dos ventiladores foi definido pelos usuários, bem como o seu acionamento e o dos demais sistema do ambiente, como ar condicionado e janelas. Dessa forma, buscou-se traçar o uso padrão dos equipamentos e reduzir a interferência do agente externo no experimento. A medição da velocidade do ar próxima ao

usuário permitiu a definição da velocidade que o atingia, sem que a distância e posição do ventilador de mesa precisasse ser fixada ou medida. Dessa forma, foi dada maior flexibilidade de uso para os usuários, que podiam posicionar o ventilador da forma que considerassem mais adequada, e modificar essa posição ao longo do dia.

Para análise da influência das condições externas no experimento, foram utilizados os dados da estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada na parte continental, próxima ao centro da cidade. A estação faz registro das condições diárias externas a cada hora. Foram coletadas as condições dos dias de levantamento e dos sete dias prévios ao início de cada levantamento.

### 3.2.1. Questionários

Foram desenvolvidos dois questionários para aplicação em campo. Como comentado anteriormente, o questionário principal foi aplicado duas vezes ao dia e o questionário final teve uma aplicação única ao final do experimento. O número de questões incluídas no questionário principal foi controlado para que o tempo de resposta não ultrapassasse 10 minutos. Na revisão do referencial teórico foi encontrada grande variação entre escalas e termos utilizados nos questionários. Optou-se pelo uso das escalas propostas no questionário instantâneo da versão revisada da NBR 16401-2 (ABNT, 2017), e a adição de questões específicas abordando o uso e efeitos dos ventiladores. O questionário principal, apresentado no Apêndice A, desta dissertação, conta com três seções: a primeira com questões pessoais, a segunda com questões sobre a percepção térmica do ambiente e a última sobre o uso do ventilador. A primeira seção é sobre as características antropométricas dos usuários, o tempo de ocupação, a preferência prévia de tipo de condicionamento, além da atividade desenvolvida e a vestimenta utilizada no momento de resposta. As questões pessoais foram feitas apenas na primeira aplicação do questionário, não sendo necessária a repetição, pois se mantêm constantes. Apenas a atividade exercida e a vestimenta utilizada foram mantidas nas demais aplicações para registro da taxa metabólica e isolamento da roupa no momento de resposta. No questionário, a vestimenta foi indicada de forma ilustrativa, incluindo 5 opções que correspondem aos valores numéricos indicados na Tabela 3.

A segunda seção do questionário conta com questões sobre a percepção e preferência térmica global, desconforto localizado, aceitabilidade e preferência do movimento do ar e a qualidade do ar percebida. A última seção, sobre o uso dos ventiladores, foi preenchida apenas no período em que os usuários tinham acesso a esses equipamentos. No outro período, foi indicado aos usuários que assinalassem a opção: “não possui ventilador”. Essa seção inclui, a velocidade selecionada, as partes do corpo afetadas pelo vento e a sensação sobre os olhos, se naquele momento era percebido o aumento do ressecamento dos olhos por conta do uso do aparelho. Todas as escalas e valores utilizados para tabulação dos dados são apresentadas na tabela a seguir:

*Tabela 3. Questões e escalas - Questionário principal*

	<b>Descrição da opção</b>	<b>Valor</b>
<b>Nome</b>	Questão aberta	Cada nome foi substituído por um número e letra (A ou B) correspondente ao escritório.
<b>Gênero</b>	Feminino	0
	Masculino	1
<b>Faixa etárias</b>	20-25	1
	26-30	2
	31-40	3
	41-50	4



	>50	5					
<b>Peso (kg)</b>	Questão aberta	Estes valores foram utilizados para cálculo do índice de massa corpórea (IMC)					
<b>Altura (m)</b>	Questão aberta						
<b>Atividade/ taxa metabólica (met)</b>	Sentado com poucos movimentos do corpo.	1					
	Sentado realizando movimentos constante dos braços e do torço.	1.2					
	De pé, relaxado.	1.4					
	Caminhando lentamente pelo ambiente.	1.7					
	Caminhando rapidamente pelo ambiente.	2					
<b>Isolamento da vestimenta (clo)</b>	1 regata e short	0.34					
	2 camiseta e short	0.43					
	3 camiseta e calça	0.61					
	4 manga longa e calça	0.93					
	5 casaco e calça	1.23					
<b>Aceitabilidade térmica</b>	Aceitável	1					
	Inaceitável	0					
<b>Sensação Térmica</b>	Muito Frio	-3					
	Frio	-2					
	Levemente frio	-1					
	Neutro	0					
	Levemente calor	1					
	Calor	2					
	Muito Calor	3					
	<b>Conforto Térmico</b>	Muito confortável	2				
Apenas confortável		1					
Apenas desconfortável		-1					
Muito desconfortável		-2					
<b>Preferência térmica</b>	Mais quente	1					
	Como está	0					
	Mais frio	-1					
<b>Qualidade do ar</b>	Aceitável	1					
	Inaceitável	0					
<b>Aceitabilidade do movimento do ar</b>	Aceitável	1					
	Inaceitável	0					
<b>Preferência sobre o movimento do ar</b>	Maior	1					
	Como está	0					
	Menor	-1					
<b>Tipo de desconforto localizado e ponto do corpo afetado</b>	Excesso de vento	Cab	To	Cos	Bra	Mao	Per
	Excesso de calor	Cab	To	Cos	Bra	Mao	Per
	Excesso de frio	Cab	To	Cos	Bra	Mao	Per
<b>Acionamento do ventilador</b>	Ligado	1					
	Desligado	-1					

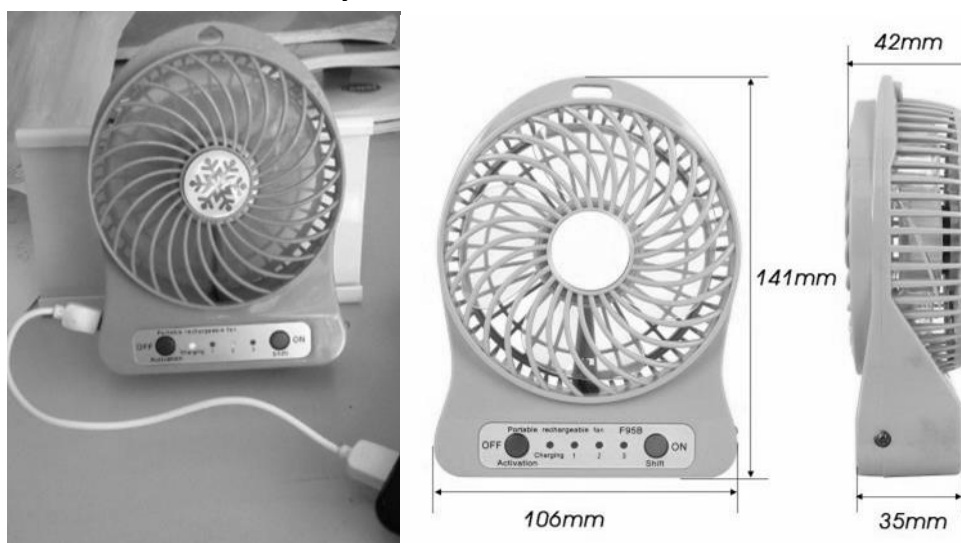
	Não possui	0					
<b>Velocidade selecionada</b>	1	1					
	2	2					
	3	3					
<b>Direção</b>	Ponto do corpo afetado	Ros	Pes	Bra	Mao	To	fora
<b>Desconforto nos Olhos</b>	Mais seco	-1					
	Sem alteração	0					
	Menos seco	1					

O questionário final, apresentado no Apêndice B deste relatório, visa avaliar a experiência vivenciada com o ventilador. O modo de condicionamento preferido pelos usuários é questionado novamente para comparação com a resposta prévia fornecida no questionário principal, considerando que após o experimento ela poderia se modificar. São questionadas também as motivações e as barreiras para o uso do ventilador. Frases afirmativas sobre os efeitos do ventilador são utilizadas para verificar a aceitação e percepção dos usuários sobre os efeitos do equipamento. A última questão é sobre a satisfação quanto ao acesso aos controles, se eles gostariam de possuir mais controle e se o ventilador seria escolhido como uma forma de aumentar esse controle.

### 3.2.2. O ventilador

O ventilador utilizado no experimento é apresentado a seguir:

Figura 11. O ventilador utilizado no experimento



<b>Informações do fornecedor</b>	
<b>Potência (W)</b>	4.5
<b>Corrente (A)</b>	0.5-1
<b>Tensão (V)</b>	5~9
<b>Número de pás</b>	4
<b>Número de velocidades de ativação</b>	3
<b>Dimensões (cm)</b>	10.6 x 14.1 x 4.2

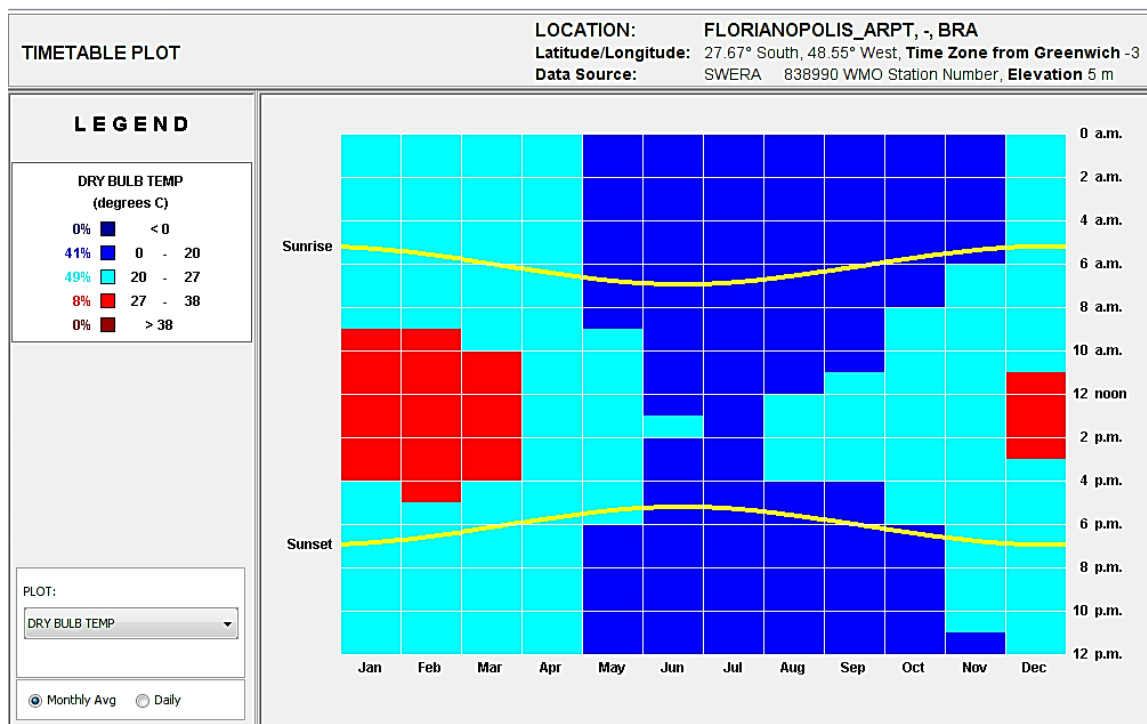
Fontes: imagem da direita, Mayank (2018). Imagem da esquerda, foto tirada pela autora deste documento. Demais informações, retiradas da embalagem do produto.

A alimentação do ventilador, como mostra a Figura 11, pode ser feita com um cabo USB conectado ao computador, ou por uma bateria de lítio recarregável. Foram utilizados 14 ventiladores no experimento, de mesmo tipo, variando apenas a cor de acabamento. A escolha desse modelo de ventilador decorreu da disponibilidade de mercado, valor, tamanho e possibilidade de variação da velocidade. O tamanho reduzido foi considerado vantajoso para permitir a inserção do equipamento em qualquer posto de trabalho. Poucos equipamentos com essas dimensões permitem a variação da velocidade, esse fator foi determinante para a escolha, pois aumenta o controle e possibilidade de ajuste da velocidade do ar pelo usuário.

### 3.3. Contexto Climático

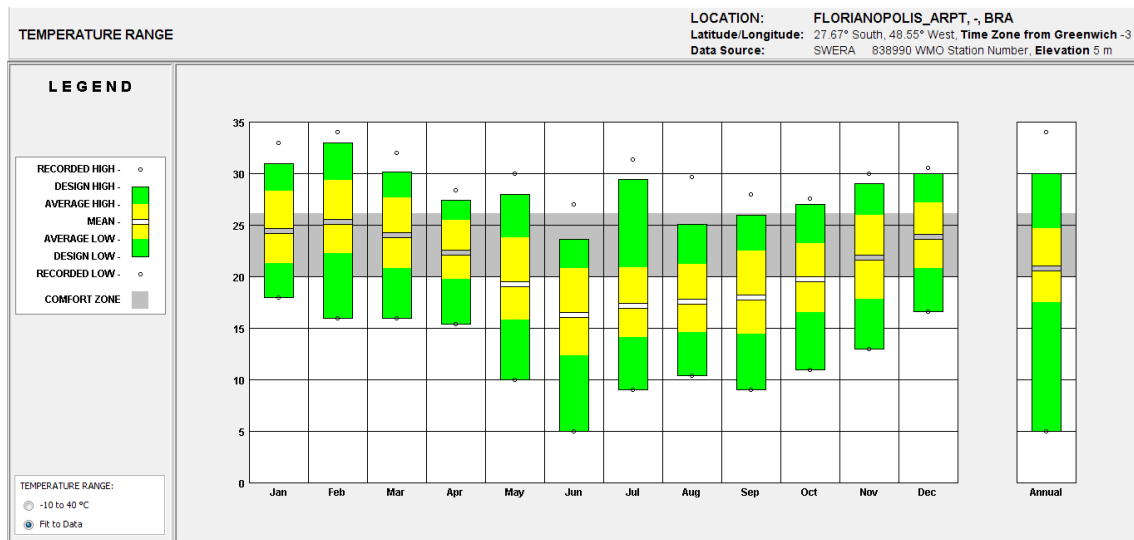
O estudo de campo foi realizado em escritórios localizadas na cidade de Florianópolis, na região Sul do Brasil, a uma latitude de 28° Sul e longitude de 48.5° Oeste. Como mostra a Figura 12, as maiores temperaturas nessa cidade são atingidas durante o verão, entre dezembro e março, podendo alcançar a máxima de 34 °C em fevereiro. Porém, há grande amplitude térmica mensal, de forma que, mesmo durante o verão, a temperatura mínima pode alcançar 15 °C (ver Figura 13). Nesse clima, classificado como subtropical úmido com verão quente (KÖPPEN; GEIGER, 1928), a ventilação mecânica é uma estratégia bioclimática eficiente, pois é previsto que pode aumentar em 33% as horas de conforto dos usuários durante o período de trabalho, como indica o diagrama de Givoni mostrado na Figura 14.

Figura 12. Isopletas de temperatura de Florianópolis



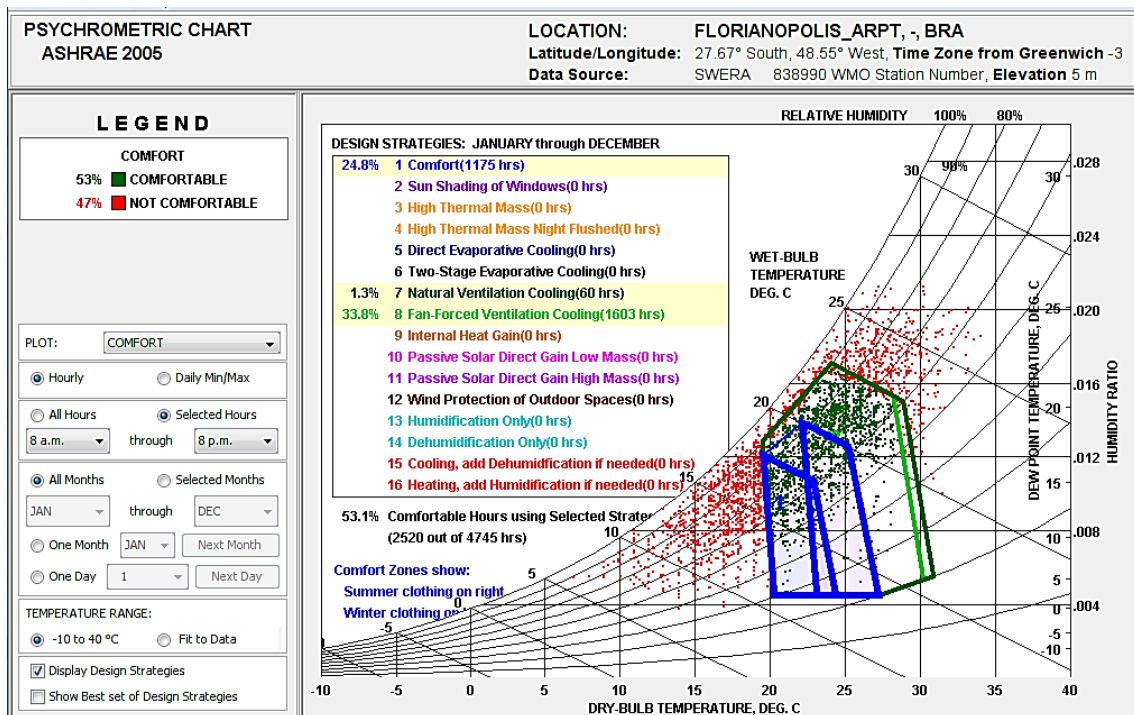
Fonte: Climate Consultant Software 5.3 (2012).

Figura 13. Variação Temperaturas mensais de Florianópolis



Fonte: Climate Consultant Software 5.3 (2012).

Figura 14. Diagrama de Givoni: Gráfico psicrométrico e Estratégias Bioclimáticas para Florianópolis



Fonte: Climate Consultant Software 5.3 (2012).

### 3.4. Caracterização dos Ambientes

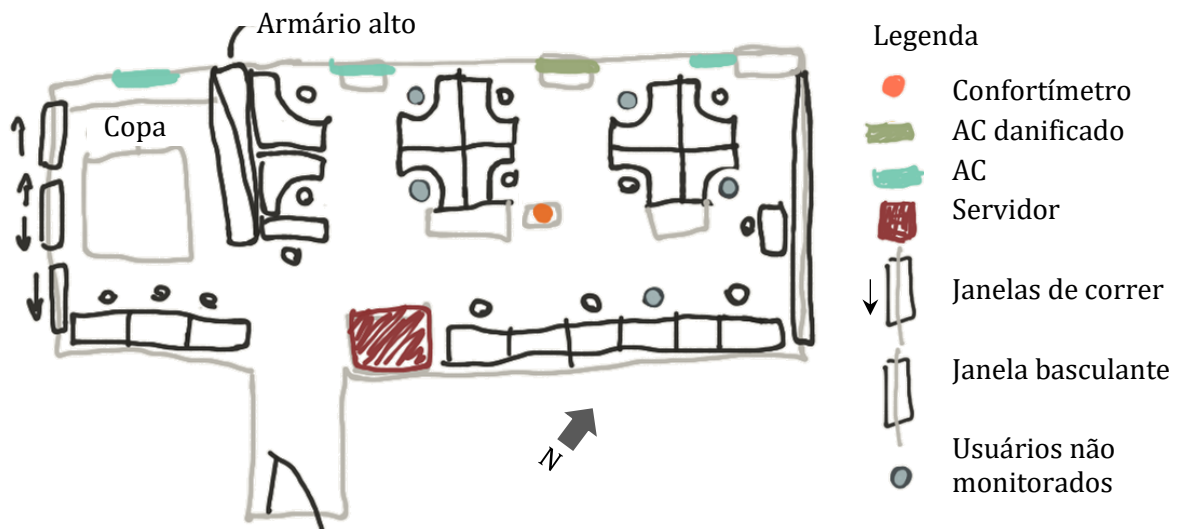
O método descrito neste documento, foi aplicado em dois ambientes de escritório com múltiplos usuários no ano de 2018. Entre os dias 23 de janeiro e 8 de fevereiro, foi realizado o estudo de campo em um ambiente intitulado "A" e entre os dias 28 de fevereiro e 16 de março foi feito o levantamento no escritório "B". No escritório A, os ventiladores já haviam sido disponibilizados aos usuários em dezembro do ano anterior, para uma avaliação prévia do equipamento, e por conta disso, os períodos de monitoramento foram invertidos. Primeiro foi realizado o monitoramento com ventiladores, até o dia 2 de janeiro e, em seguida, a partir do dia 5, o ambiente foi monitorado sem os ventilador. A partir do

acompanhamento do uso do equipamento pelos usuários e conversas informais sobre sua satisfação, foi possível verificar se o questionário proposto estava adequado ao experimento e se eram necessárias modificações. Essa reflexão indicou a necessidade de adição de uma seção sobre desconforto localizado ao questionário principal, que foi feita no meio do primeiro período (a partir do dia 29/1). Notando que outras questões eram apontadas pelos usuários, foi elaborado o questionário final para registrar as opiniões dos usuários. Dessa forma, os questionários foram consolidados em A para aplicação no escritório seguinte. No escritório B, o levantamento foi primeiro realizado sem ventiladores, até o dia 6 de março, e em seguida, com os ventiladores a o dia 16 do mesmo mês.

### 3.4.1. Escritório A

A planta esquemática do escritório A, indicando a posição de cada usuário no ambiente, a localização dos equipamentos e das aberturas está apresentada na Figura 15. O escritório possui 88 m<sup>2</sup>, com planta retangular, aberturas para ventilação natural nas fachadas nordeste e sudoeste, todas acessíveis e operáveis pelos usuários. As janelas da fachada nordeste são basculantes, enquanto as da sudoeste são de correr, permitindo, assim, a ventilação cruzada do ambiente. Porém, o armário alto que separa a copa do resto do espaço é uma barreira à livre circulação de ar, além disso, há divisórias baixas entre os postos de trabalho em cruz, o que também limita a circulação do ar. Além da ventilação natural, o ambiente pode ser condicionado artificialmente por 3 equipamentos de ar condicionado (AC) do tipo Split fixados nas paredes. Um quarto equipamento contido no ambiente estava danificado e não pode ser utilizado durante o estudo.

Figura 15. Planta esquemática – escritório A



Apesar do ambiente possuir 21 postos de trabalho, sua ocupação é muito variável, por conta disso, foram selecionados apenas 13 usuários, mais frequentes, para participar do experimento. Porém, os ventiladores foram distribuídos, no período respectivo, à todas as pessoas presentes no ambiente no momento do estudo, para que a condição de controle fosse o mesmo entre todos.

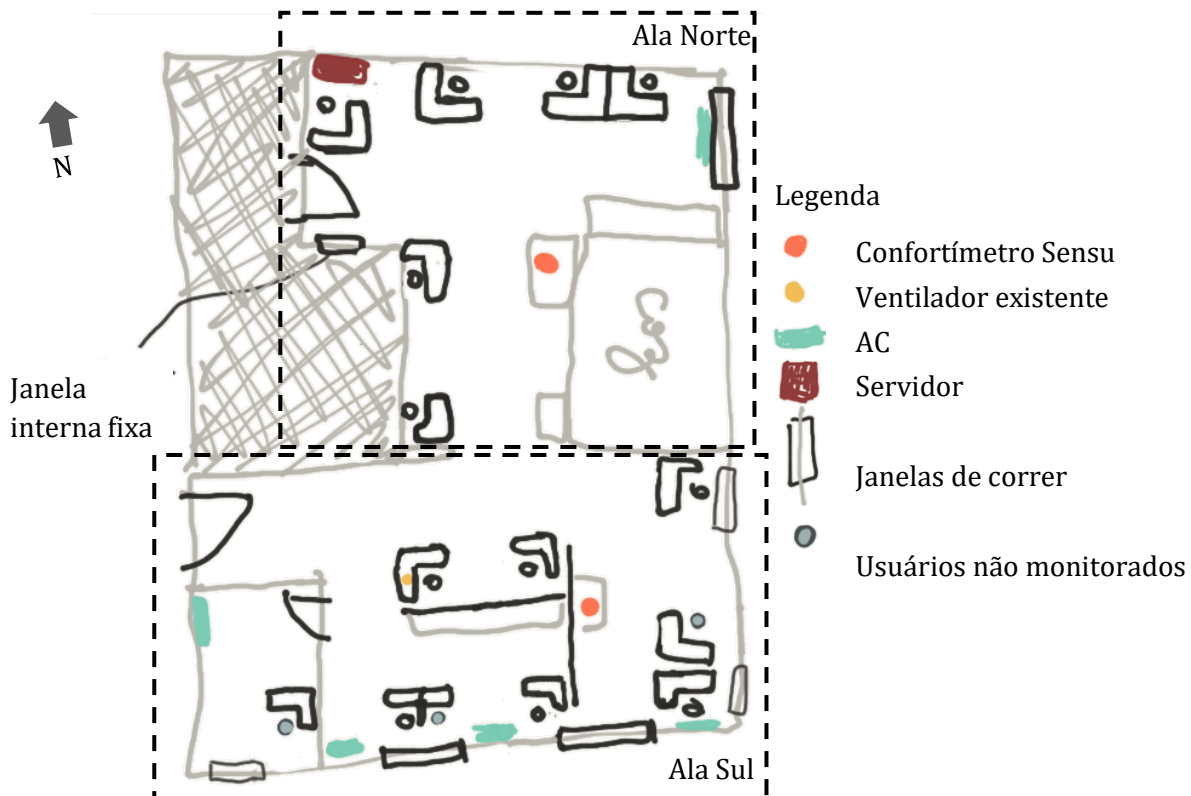
### 3.4.2. Escritório B

A planta esquemática do escritório B é apresentada na Figura 16, a seguir. O escritório possui 102,4 m<sup>2</sup> e uma planta em formato “H”, onde a distribuição dos ocupantes e equipamentos de ar

condicionado não é uniforme. Por conta disso, e da não uniformidade das temperaturas ambientes medidas, o escritório foi dividido em duas “alas”: norte e sul. A ala sul possui três evaporadoras e quatro janelas, enquanto a ala norte possui apenas uma janela e um Split, reduzindo o controle individual dos usuários. Na parte central, onde há dois usuários, um deles está diretamente exposto às condições da ala norte, enquanto o outro está resguardado das condições dos dois lados. Porém, apesar da distância da ala norte, sua condição foi considerada mais próxima à da ala norte, pois há uma parede lateral que o impede de receber o vento das janelas e da climatização da ala sul. Assim, foram utilizados dois confortímetros no monitoramento das condições térmicas do ambiente, posicionados cada qual em uma ala, conforme indicado pelos pontos laranjas na planta esquemática. Os funcionários desse ambiente realizam trabalhos externos cotidianamente e, por conta disso, foi extremamente importante a flexibilidade de horário de aplicação dos questionários para alcançar maior número de respostas. Assim como no escritório A, o ambiente pode ser condicionado de forma mista, pois possui janelas de correr para a ventilação natural e sistemas de climatização para o condicionamento artificial. Além disso, a quantidade de pessoas monitoradas foi a mesma nos dois escritórios: 13 pessoas.

Um dos usuários desse escritório, identificado como B8, já possuía um ventilador de mesa em seu posto de trabalho, e comentou que o adquiriu porque sentia maior desconforto por calor do que seus colegas. Por conta disso, para não o prejudicar no período de levantamento sem ventiladores, esse usuário manteve seu equipamento e, no período com ventiladores, o equipamento foi substituído pelo ventilador padrão utilizado no estudo. Esse ventilador está indicado na Figura 16, como ventilador existente.


Figura 16. Planta esquemática – escritório B



O ventilador de B8 é da marca Ventisol, permite a rotação vertical para direcionamento do ar, porém, conta com apenas uma velocidade de acionamento, como indica a Tabela 4. Sua alimentação é elétrica, feita por cabo USB conectado ao computador.

Tabela 4. Características do Ventilador do usuário B8

Características do Ventilador	
Fornecedor	Ventisol
Potência máxima	3 W
Nº de Velocidades	1
Diâmetro	15 cm
Nº de pás	4



Fonte: Ventisol (2015).

### 3.5. Tratamento dos dados

Os dados coletados foram organizados em uma tabela, de forma que os votos dos usuários foram transcritos em escalas numéricas e associados às condições ambientais internas e externas no momento de resposta. Para possibilitar as análises, as seguintes variáveis pessoais foram transformadas em valores numérico:

- a. Taxa metabólica (MET);
- b. Isolamento da vestimenta (CLO)

Além disso, a seguinte variável antropométrica foi calculada:

- c. Índice de massa corpórea (IMC)

As variáveis ambientais foram registradas com intervalo de 1 minuto pelos confortímetros sensu, permitindo que as condições no momento de resposta dos questionários fossem definidas com precisão. Porém, além da temperatura do ar ambiente ( $T_a$ ) e a umidade relativa (UR) no momento de respostas, para o momento de resposta foi calculada a:

- d. Temperatura radiante média ( $T_r$ );
- e. Velocidade média do ar ( $v_a$ );
- f. Temperatura média predominante do ar externo ( $T_{mpa}$ );
- g. Temperatura externa média diária durante o período de trabalho ( $T_{ext}$ );
- h. Radiação solar global média diária durante o período de trabalho ( $R_{dext}$ );
- i. Umidade relativa média do ar externo diária durante o período de trabalho ( $UR_{ext}$ );
- j. Velocidade média do ar externo diária durante o período de trabalho ( $V_{aext}$ )

Essas variáveis são utilizadas para a determinação de dois índices que permitem a comparação entre as condições térmicas do ambiente:

- k. Temperatura operativa (TO);
- l. Temperatura efetiva padrão (SET).






Também foram calculados os limites de aceitabilidade dos modelos de predição de conforto térmico inclusos na NBR 16401-2 (ABNT, 2017) para comparação com os resultados do estudo.

#### 3.5.1. Cálculo das variáveis pessoais

A descrição das atividades para determinação dos valores de taxa metabólica (MET) indicados na Tabela 3 do item Questionários 3.2.1 desta dissertação, foram definidas com base na tabela A.1 da NBR 16401-2 (ABNT, 2017). Da mesma forma, o isolamento da vestimenta (CLO) foi calculado pelo somatório do isolamento de cada peça de roupa indicada nas figuras contidas no questionário. Foi também adicionado ao cálculo, o isolamento de uma cadeira padrão de escritório. Os valores de isolamento das peças foram retirados da tabela B.2 da NBR 16401-2 (ABNT, 2017), e o da cadeira, da tabela B.3 da mesma

norma. A tabela a seguir indica os valores considerados para cada conjunto de vestimenta do questionário e o valor total:

Tabela 5. Cálculo do Isolamento da vestimenta

Imagem	Calçado	Íntima	Camiseta	Short/ calça	Blusa	Casaco	Cadeira	Total (clo)
	0,02	0,04	0,12	0,06	-	-	0,1	0,34
	0,04	0,04	0,17	0,08	-	-	0,1	0,43
	0,04	0,04	0,19	0,24	-	-	0,1	0,61
	0,04	0,04	0,17	0,24	0,34	-	0,1	0,93
	0,04	0,04	0,17	0,24	0,34	0,3	0,1	1,23

O Índice da Massa Corpórea (IMC) é uma variável antropométrica, relacionada à taxa de gordura corporal. A organização mundial de saúde (OMS) indica que o índice seja calculado pela seguinte equação:

$$IMC = \frac{w}{h^2} \quad (1)$$

Onde:

IMC é o índice da massa corpórea;

w é o peso da pessoa (kg);

h é a altura da pessoa (m).

Os valores calculados para cada indivíduo foram utilizados para classifica-los em categorias indicados pelo mesmo órgão, chamadas de estados nutricionais:

Tabela 6. Classificação de estado nutricional a partir do IMC, segundo OMS (WHO, [s.d.])

IMC	Estado Nutricional
<18,5	Abaixo do peso
18,5-24,9	Normal
25,0-29,9	Acima do peso
>30	Obeso



### 3.5.2. Cálculo das variáveis ambientais

A temperatura radiante média ( $T_r$ ) é calculada a partir da temperatura medida de globo negro ( $T_g$ ) que registra o calor emitido por todas as superfícies do ambiente. Aplicando o método descrito na norma NBR 16401-2 (ABNT, 2017), foram calculados os coeficientes de convecção natural e forçada para cada momento de resposta, com as Equações (3) e (2). Segundo o resultado, o maior valor determina o tipo de convecção e qual equação deve ser aplicada: (4) ou (5), subsequentes.

$$h_{cg\ nat} = 1,4 \times \sqrt[4]{\frac{\Delta t}{D}} \quad (3)$$

$$h_{cg\ for} = 6,3 \frac{va^{0,6}}{D^{0,4}} \quad (2)$$

Onde:

$h_{cg\ nat}$  é o coeficiente de troca de calor por convecção natural do globo ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ );

$h_{cg\ for}$  é o coeficiente de troca de calor por convecção natural do globo ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ );

$\Delta t$  é a diferença entre a temperatura do globo e a temperatura do ar ( $^\circ C$ );

$D$  é o diâmetro do globo (m), nesse caso, igual a 0,15 m;

$va$  é a velocidade média do ar (m/s).

$$Tr_{nat} = \sqrt[4]{(T_g + 273)^4 + (0,4 \times 10^8) * \sqrt[4]{|T_g - Ta|} \times (T_g - Ta)} - 273 \quad (4)$$

$$Tr_{for} = \sqrt[4]{(T_g + 273)^4 + (2,5 \times 10^8) * va^{0,6} \times (T_g - Ta)} - 273 \quad (5)$$

Onde:

$Tr\ nat$  é a temperatura radiante média ( $^\circ C$ ), se  $h_{cg\ nat} > h_{cg\ for}$ ;

$Tr\ for$  é a temperatura radiante média ( $^\circ C$ ), se  $h_{cg\ nat} < h_{cg\ for}$ ;

$T_g$  é a temperatura de globo ( $^\circ C$ );

$T_a$  é a temperatura do ar ( $^\circ C$ );

$va$  é a velocidade média do ar (m/s).

A velocidade média do ar ( $va$ ) resulta da média entre a velocidade do ar ambiente ( $Var$ ), registrada pelo confortímetro, e as velocidades do ar próximas ao corpo do usuário medidas com o termo anemômetro ( $Valoc$ ), quando são diferentes de zero. Quando o ventilador estava acionado, foram registradas as velocidades do ar nas mãos ou braços, no tórax ou costas e na cabeça. Quando o usuário não recebia vento do ventilador (por falta do equipamento ou ativação), o termo anemômetro foi posicionado em diferentes pontos, próximos ao corpo, e apenas as velocidades diferentes de zero foram registradas.

Foi encontrada muito pouca diferença entre as medições de temperatura do ar com o confortímetro e termo anemômetro, por conta disso, a temperatura do ar foi definida apenas pelo valor lido no confortímetro ( $T_{ar} = T_a$ ), não sendo utilizado o valor local ( $T_{aloc}$ ).

A temperatura média predominante do ar externo ( $T_{mpa}$ ) é calculada pela média ponderação da temperatura média do ar externo dos sete dias precedentes ao dia analisado. A temperatura média do ar externo foi calculada pela média das 24 h de cada um dos dias de levantamento e precedentes, coletados no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2018). Conforme método descrito na NBR 16401-2 (ABNT, 2017), para cálculo da  $T_{mpa}$  deve ser aplicada a equação (6) a seguir:

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

Onde:

$T_{mpa}$  é a temperatura média predominante do ar externo;

$t_{od-1}$  é a temperatura média do dia anterior ao dia em questão;

$t_{od-2}$  é a temperatura média do dia anterior ao dia anterior, e assim por diante.

Utilizando os dados do INMET (2018), foram também calculadas as condições médias diárias durante o período de ocupação e medição dos espaços, das 8h às 18h. As variáveis médias calculadas para esse período foram: a temperaturas média externas do ar ( $T_{ext}$ ), radiação solar global média ( $R_{adext}$ ), umidade relativa média do ar externo ( $U_{Rext}$ ) e velocidade média do ar externo ( $V_{aext}$ ).

### 3.5.3. Cálculo dos índices ambientais e limites de conforto térmico

A NBR 16401-2 (ABNT, 2017) define a temperatura operativa como a “temperatura uniforme das superfícies de um ambiente imaginário no qual o ocupante trocaria a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que no ambiente real não uniforme”. A norma indica que cálculo dessa temperatura deve ser realizada com a aplicação da equação (7), a seguir:

$$TO = A \times Ta + (1 - A) \times Tr \quad (7)$$

Onde:

TO é a temperatura operativa (°C);

Ta é a temperatura do ar (°C);

Tr é a temperatura radiante média (°C);

A é um coeficiente que varia em função da velocidade média do ar ( $v_a$ ), conforme *Tabela 7*:

*Tabela 7. Coeficiente A para cálculo da temperatura operativa*

<b><math>v_a</math></b>	<b>&lt;0,2 m/s</b>	<b>0,2 a 0,6 m/s</b>	<b>0,6 a 1 m/s</b>
<b>A</b>	0,5	0,6	0,7

A partir do cálculo das temperaturas operativas (TO) e temperatura média predominante do ar externo ( $T_{mpa}$ ) dos dias de medição, é possível a aplicação do modelo de conforto adaptativo da NBR 16401-2 (ABNT, 2017). Este modelo determina as condições internas aceitáveis para a maioria dos ocupantes a partir das condições externas, considerando que os usuários modificam o ambiente e se adaptam para manterem seu conforto térmico. O modelo estabelece limites de TO calculados a partir das  $T_{mpa}$ , dentre os quais, 80% dos usuários estarão termicamente satisfeitos. Os limites superior ( $LmSup_{80} TO$ ), e inferior ( $LmInf_{80} TO$ ) são calculados pelas seguintes equações:

$$LmSup_{80} TO = 0,31 \times T_{mpa} + 21,3 \quad (8)$$

$$(9)$$

$$LmInf_{80} TO = 0,31 \times Tmpa + 14,3$$

O modelo também define limites mais restritos, para que 90% dos usuários atinjam satisfação térmica. A norma indica que esses limites são apenas informativos, e devem ser calculados pela redução de 1 °C no limite superior e elevação de 1 °C no limite inferior calculados com as equações (8 e

9). O modelo adaptativo é aplicável a condições com taxa metabólica de 1 a 1,3 met, vestimenta de 0,5 a 1 clo, em ambientes onde há acesso ao controle das aberturas e os usuários podem modificar sua vestimenta. Ele é recomendado na NBR 16401-2 (ABNT, 2017) para prever as condições de aceitabilidade térmica de ambientes naturalmente ventilados. No caso de ambiente com TO superior a 25,5 °C, com velocidade do ar intensificada, é previsto um ajuste do limite superior de aceitabilidade, conforme Tabela 8:

Tabela 8. Incremento do limite superior de temperatura operativa do modelo adaptativo

Velocidade média do ar (m/s)	0,6	0,9	1,2
Incremento de TO (°C)	1,2	1,8	2,2

Para os ambientes com sistema de ar condicionado, a norma indica a aplicação de dois modelos, o PMV-PPD e o modelo SET. O voto médio predito (PMV) é um índice que prevê a sensação térmica dos usuários a partir do balanço térmico entre o corpo humano e o ambiente, calculado, principalmente, com as seguintes variáveis: MET, CLO, Tar, Tr, UR e va. O modelo, desenvolvido por Fanger (1970) calcula a sensação térmica do usuário com base na escala sétima, que varia de +3 a -3, tendo o zero como valor de neutralidade térmica. Segundo o autor, a satisfação térmica coincide com as sensações térmicas entre +1 e -1, que corresponde a sensações entre levemente calor e levemente frio, e apenas a partir de +2 ou -2 (calor ou frio) ocorre a insatisfação térmica. Porém, para que o percentual de usuários insatisfeitos (PPD) seja mínimo (10%), a NBR 16401-2 (ABNT, 2017) indica que as condições térmicas devem ser mantidas entre  $\pm 0,5$  PMV. O modelo PMV-PPD é aplicável a usuários com taxa metabólica entre 1 e 2 met, isolamento da vestimenta inferior a 1,5 clo e ambientes com baixa velocidade do ar.

No caso de ambientes com velocidade média do ar superior a 0,15 m/s, a norma recomenda a aplicação do modelo SET. A temperatura efetiva padrão (SET) é um índice que propõem a padronização das condições de um ambiente pela equiparação da perda de calor de uma pessoa nesse ambiente à perda de calor de um usuário com 1 met de taxa metabólica, vestimenta de 0,6 clo, em um ambiente com 50% de umidade relativa, velocidade média do ar inferior a 0,1 m/s, e temperatura média radiante igual à temperatura do ar. O cálculo da temperatura SET é realizado a partir das mesmas variáveis utilizadas no cálculo do PMV, porém, abarca ambientes com velocidade do ar superiores. Os limites de aceitabilidade térmica do modelo SET indicam se, sob uma determinada temperatura operativa e velocidade média do ar os usuários se sentiriam satisfeitos. Como referência de níveis de aceitabilidade, são consideradas as condições de temperatura SET que coincidem com o intervalo entre  $\pm 0,5$  PMV.

Porém, como o cálculo de PMV só é aplicável a condições com velocidade do ar inferior a 0,2/s, é realizado um ajuste da temperatura SET em condições de velocidade do ar superiores. O valor da temperatura SET com velocidade do ar intensificada é equiparando ao valor de SET com velocidade do ar baixa a partir do ajuste da temperatura operativa (TO). Por conta do aumento da convecção, quanto maior a velocidade do ar, menor o valor da TO necessário para equiparar a temperatura SET nas duas condições. Esse delta de temperatura entre as condições com ventilação intensificada e a de baixo movimento do ar pode também ser considerado um fator de correção das condições do ambiente. Quando a velocidade do ar aumenta, a condição do ambiente é percebida como menos quente, assim, o fator de

correção é um efeito de resfriamento (CE) gerado pela ventilação intensificada. Assim, para valores de  $v_a$  inferiores a 0,2 m/s, o movimento do ar não gera resfriamento, e o valor de CE é zero. Nesse caso, os limites de  $T_{O}$  estabelecidos pelo modelo SET, são constantes: o limite superior é 27,1 °C e o inferior é 24,5 °C.

Para o cálculo das temperaturas SET, CE e os limites da zona de aceitabilidade do modelo SET foram utilizados os *scripts* desenvolvidos por Silva, Ghisi e Lamberts (2018) em linguagem R.

Outro índice citado no referencial teórico e calculado para avaliar o potencial de resfriamento dos ventiladores, gerado pelo incremento da velocidade do ar, é o potencial de correção (CP), proposto por Zhang, Arens e Zhai (2015). Ele é calculado aplicando a seguinte equação:

$$CP = T_{O_{n_{sem}}} - T_{O_{n_{com}}} \quad (10)$$

Onde:

CP é o potencial de redução da sensação térmica, em K.

$T_{O_{n_{sem}}}$  é a temperatura operativa de neutralidade térmica sem ventiladores, em °C;

$T_{O_{n_{com}}}$  é a temperatura operativa de neutralidade térmica com ventiladores, em °C;

#### 3.5.4. Definição da satisfação térmica

As condições de conforto térmico são aquelas em que os usuários se sentem mais confortáveis e satisfeitos para exercer suas tarefas. Associando os votos dos usuários com as condições medidas no ambiente no momento de resposta é possível determinar as condições consideradas mais confortáveis ou que satisfaçam a um maior número de pessoas. Para isso, podem ser considerados como indicador de conforto e satisfação diferentes votos dos usuários. Muitos modelos preditos são baseados, por exemplo, nos votos de aceitabilidade térmica. Porém, como comentado no item 4.4 deste trabalho, quase todas as respostas indicaram aceitabilidade térmica, assim, esse não é um bom indicador para esse estudo. Poderiam ser utilizados diretamente os votos que indicam apenas ou muito conforto térmico, excluindo as condições que coincidem com os votos de desconforto. Entretanto, como também mostrado anteriormente, há votos de conforto que coincidem com a preferência por um ambiente mais frio ou quente, mostrando que o usuário está confortável, mas não totalmente satisfeito com a condição ambiente. O mesmo se aplica à preferência e aceitabilidade do movimento do ar e a aceitabilidade da qualidade do ar. Considerando o apontado por Fanger (1970), as condições que geram sensação de calor (+2) também podem causar queixas aos usuários. Além disso, em relação ao desconforto localizado, as sensações opostas podem ser consideradas benéficas para os usuários, como comentado anteriormente. Porém, as sensações localizadas que coincidem com a sensação global diferente da neutra podem intensificá-las, como o calor localizado com a sensação global de calor. A corrente de ar, no geral, é também indesejada no ambiente frio (ABNT, 2017), pois intensifica a sensação de frio. Assim, podem ser aplicados múltiplos filtros aos dados, de forma que as condições resultantes sejam as mais satisfatórias nos diversos âmbitos. Sintetizando o que foi exposto, são indicados a seguir os filtros que devem ser aplicados para definição das condições ideais do ambiente:

- Conforto térmico: Apenas ou muito confortável (>0);
- Preferência térmica por: como está (=0);
- Preferência do movimento do ar: como está (=0);
- Qualidade do ar aceitável (=1);

- Sensação térmica: entre levemente calor e levemente frio (de +1 a -1);
- Que não haja desconforto localizado por calor (DC), em qualquer parte do corpo, simultâneo à sensação global de leve calor (=+1);
- Que não haja desconforto localizado por frio (DF) ou corrente de ar (DD), em qualquer parte do corpo, simultâneo à sensação global de leve frio (=-1).

### 3.5.5. Análise estatística

Na análise dos dados do levantamento de campo, além de estatística descritiva para caracterizar as condições de estudo, foram aplicados testes de hipótese para análise comparativa e de correlação entre variáveis. Para isso, foi considerado o intervalo mínimo de confiança de 90%, já que as amostras são pequenas, e os seguintes tipos de teste de hipótese:

Tabela 9. Testes de hipótese

<b>Tipo</b>	<b>Hipótese nula Valor de <math>p &gt; 0,1\%</math></b>	<b>Hipótese alternativa Valor de <math>p \leq 0,1\%</math></b>
Teste Shapiro-Wilk de normalidade	Os dados não seguem uma distribuição normal	Os dados seguem uma distribuição normal
Teste de Welch pelo método de Spearman para comparação de distribuições t não normais	Não há diferença significativa entre médias	As médias são significativamente distintas
Teste de Welch pelo método de Pearson para comparação de distribuições t normais	Não há diferença significativa entre médias	As médias são significativamente distintas
Teste de correlação de Spearman para a comparação de duas variáveis ordinais ou contínuas não normais	Não há correlação significativa entre variáveis	Há correlação significativa entre variáveis
Teste de qui-quadrado para avaliar dependência entre duas variáveis	As variáveis são independentes	As variáveis são dependentes

A análise de correlação, além de indicar se a correlação entre duas variáveis é significativa, dentro do intervalo de confiança, indica também o coeficiente de correlação (R) entre elas. Esse coeficiente varia de -1 a +1, indicando, pelo sinal positivo ou negativo, se relação é direta ou indiretamente proporcional. Além disso, o valor indica se a correção é fraca se:  $|R| \leq 0,3$ , moderada se:  $|R| \leq 0,7$  ou forte se:  $|R| > 0,7$ . A partir do coeficiente de correlação, pode ser calculado o coeficiente de determinação, elevando R ao quadrado ( $R^2$ ). Esse coeficiente indica a dispersão dos pontos em relação à reta que descreve a relação linear entre as variáveis. Isso é, a porcentagem das variáveis dependentes que pode ser explicada pela variação da variável independente.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

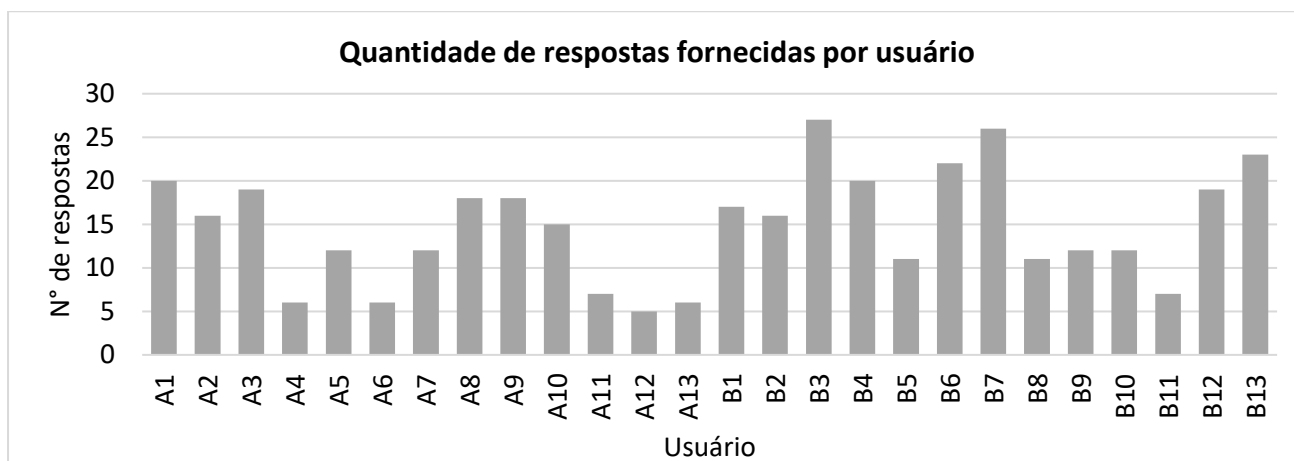
Neste item são apresentados os resultados do levantamento, que contou com a participação de 26 pessoas, que responderam ao total de 383 questionários, como mostra a Tabela 10.

Tabela 10. Quantitativo de participação na pesquisa de campo

Escritório	Nº usuários participantes	votos sem ventilador	votos com ventilador	Votos totais
A	13	49	111	160
B	13	92	131	223
<b>Total</b>	26	141	242	383

Como comentado anteriormente, nos dois escritórios houve variação no número de ocupantes ao longo do dia. Por conta disso, apesar do levantamento em A ter durado um dia a mais do que o período de estudo em B, o número de questionários respondidos em B foi maior, porque mais usuários estavam presentes no local simultaneamente. Essa flutuação na ocupação também fez com que o número de questionários preenchido por usuário fosse distinto, como mostra o gráfico a seguir:

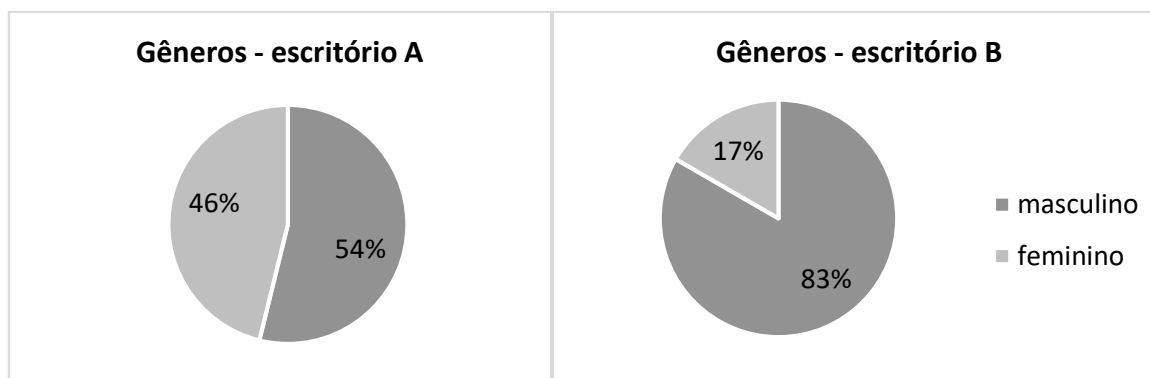
Gráfico 2. Quantidade de questionários respondidos por usuário de A e B



##### 4.1. Perfil dos usuários e variáveis pessoais

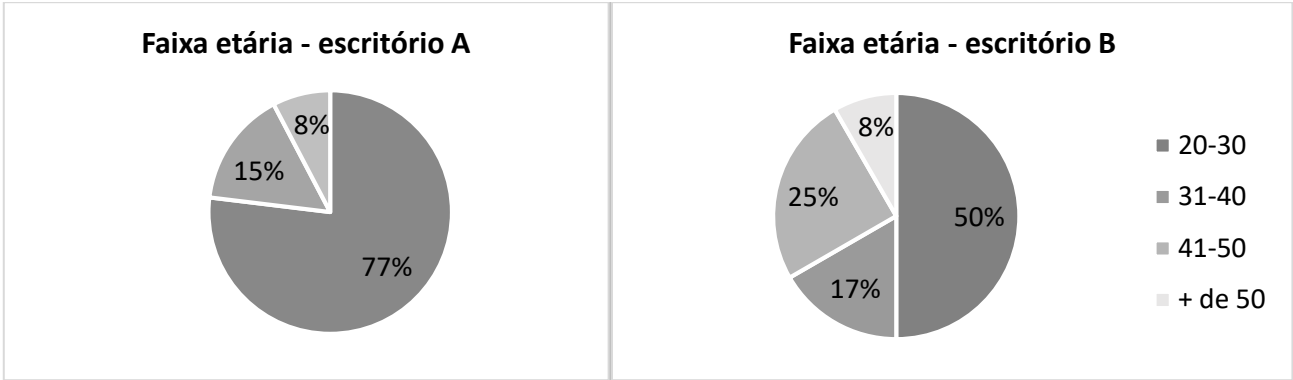
O perfil dos usuários nos dois escritórios é bastante distinto. Enquanto no escritório B predomina o gênero masculino, no escritório A há uma distribuição mais equilibrada, como mostra o Gráfico 3.

Gráfico 3. Comparação entre os usuários de A e B: gênero



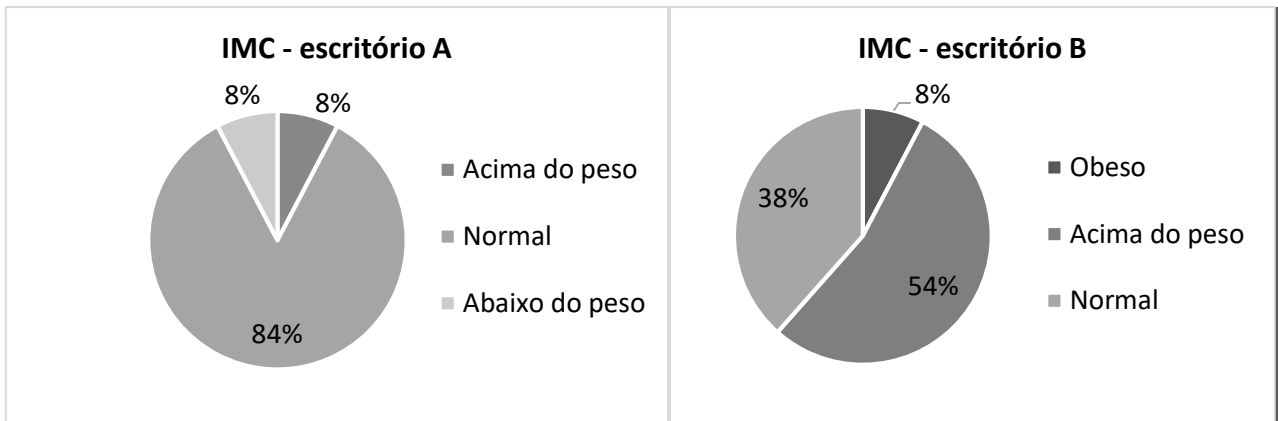
Por outro lado, o oposto ocorre com a distribuição etária, houve predominância de jovens ocupantes no escritório A, com idade entre 20 e 30 anos, enquanto no escritório B, a faixa etária é mais heterogênea, conforme mostrado Gráfico 4:

Gráfico 4. Comparação entre os usuários de A e B: faixa etária



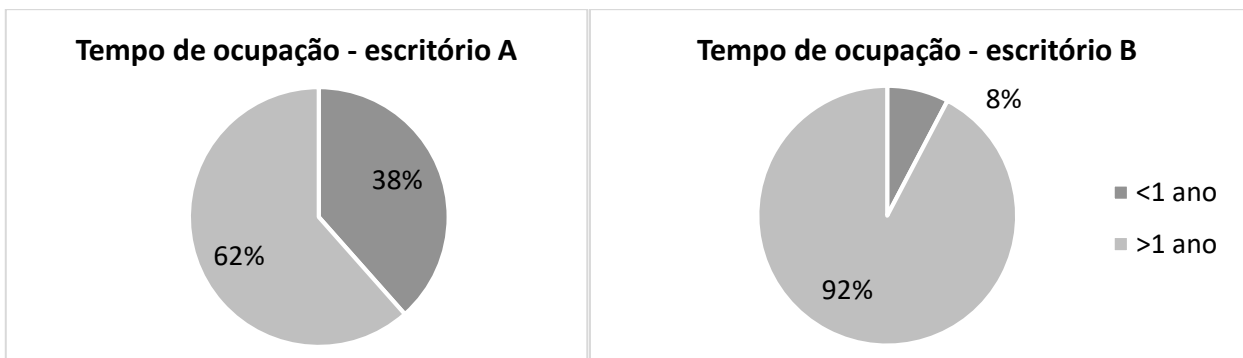
Em relação ao índice de massa corpórea (IMC), observou-se que apesar do índice médio de todos os entrevistados ser considerado normal, no escritório B a maioria está acima do peso.

Gráfico 5. Comparação entre os usuários de A e B: IMC



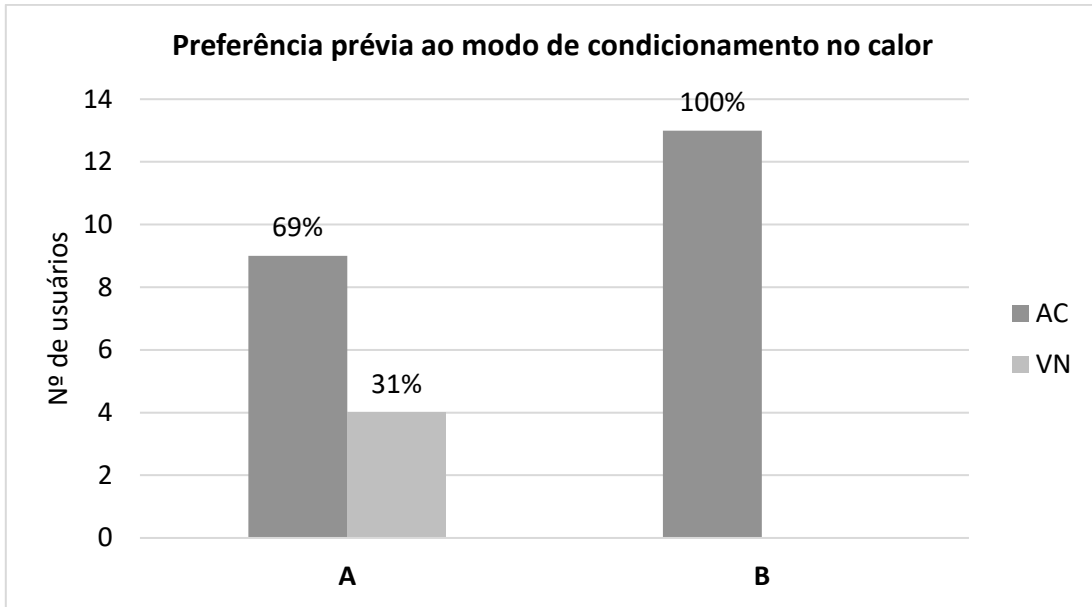
A maioria dos participantes do experimento ocupam os ambientes há mais de um ano. Porém, no escritório B, apenas um dos usuários trabalha há menos de um ano, enquanto no escritório A o percentual de ocupantes recentes é mais significativo, correspondendo a 38% do total como mostra o Gráfico 6. Isso indica que parte dos usuários do escritório A está menos habituado ao ambiente, o que pode afetar seu conhecimento sobre as melhores formas de adequar os sistemas e suas vestimentas para manter seu conforto térmico no ambiente.

Gráfico 6. Comparação entre os usuários de A e B: Tempo de ocupação



Quando analisada a preferência dos usuários a um tipo de condicionamento, verifica-se grande diferença entre as amostras. Enquanto em A existe uma pequena parcela dos usuários que indica a preferência pela ventilação natural (VN) associada ao uso de ventiladores, em B todos os usuários preferem o ar condicionado (AC), como mostra o Gráfico 7. Tal resultado sugere que os usuários do escritório A poderiam estar mais dispostos a utilizar os ventiladores de mesa e, dessa forma, reduzir a quantidade de horas de acionamento do ar condicionado do que os do escritório B.

Gráfico 7. Comparação entre escritório A e B: pré-disposição ao modo de condicionamento



Como comentado no método, houve um esforço para que o momento de solicitação de preenchimento dos questionários ocorresse quando os usuários estivessem com taxa metabólica uniforme, sentados em seus postos de trabalho, realizando tarefas de escritório. Dessa forma, a taxa metabólica se manteve em torno de 1met, como indica o Gráfico 8 e a Tabela 11.

Gráfico 8. Histograma da Taxa metabólica geral

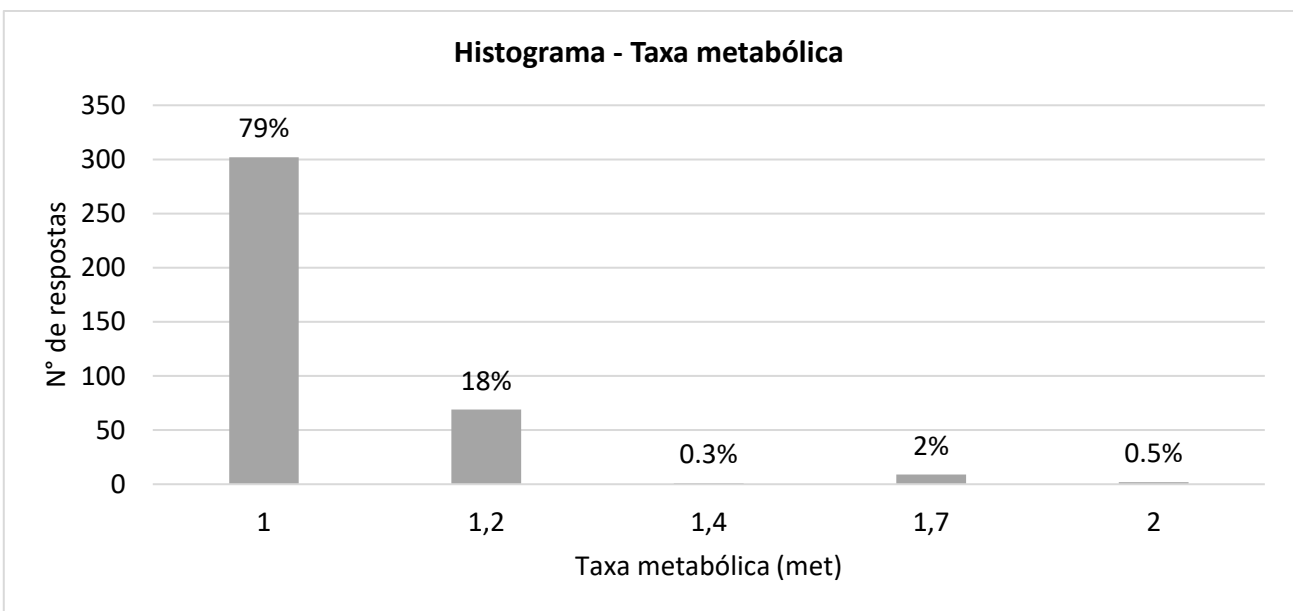


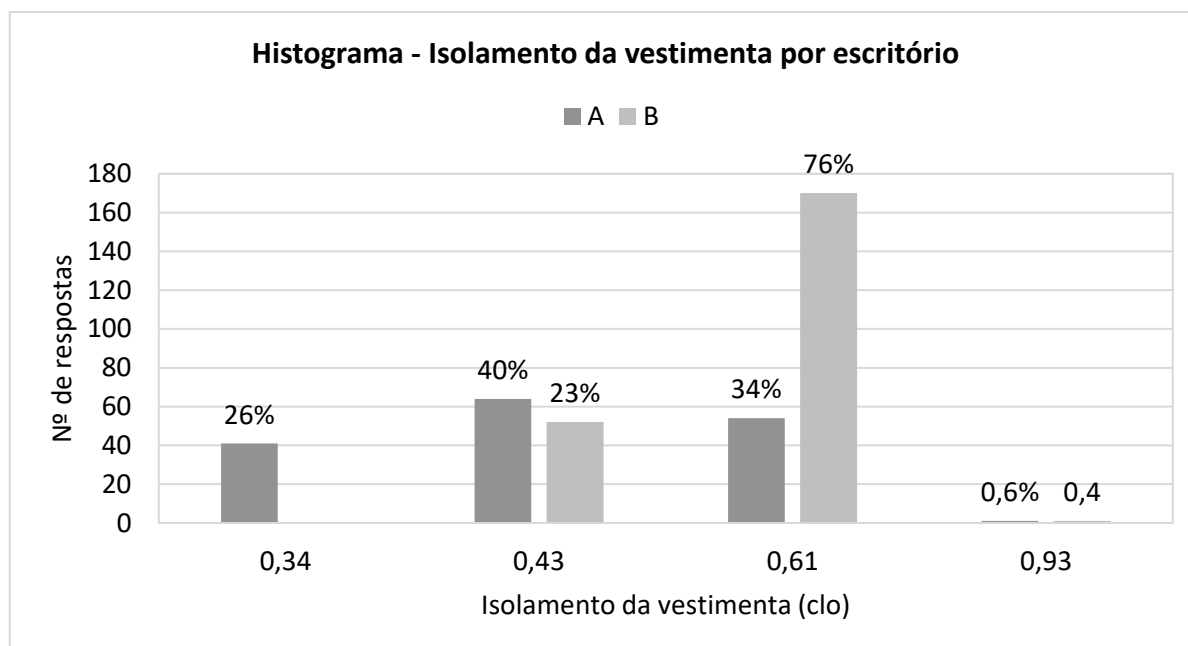


Tabela 11. Variação de vestimenta e taxa metabólica durante experimento

	<b>Isolamento da Vestimenta (clo)</b>	<b>Taxa Metabólica (met)</b>
<b>Máximo</b>	0,93	2,00
<b>Média</b>	0,53	1,10
<b>Desvio padrão</b>	0,10	0,14
<b>Mediana</b>	0,61	1,00
<b>Mínimo</b>	0,34	1,00

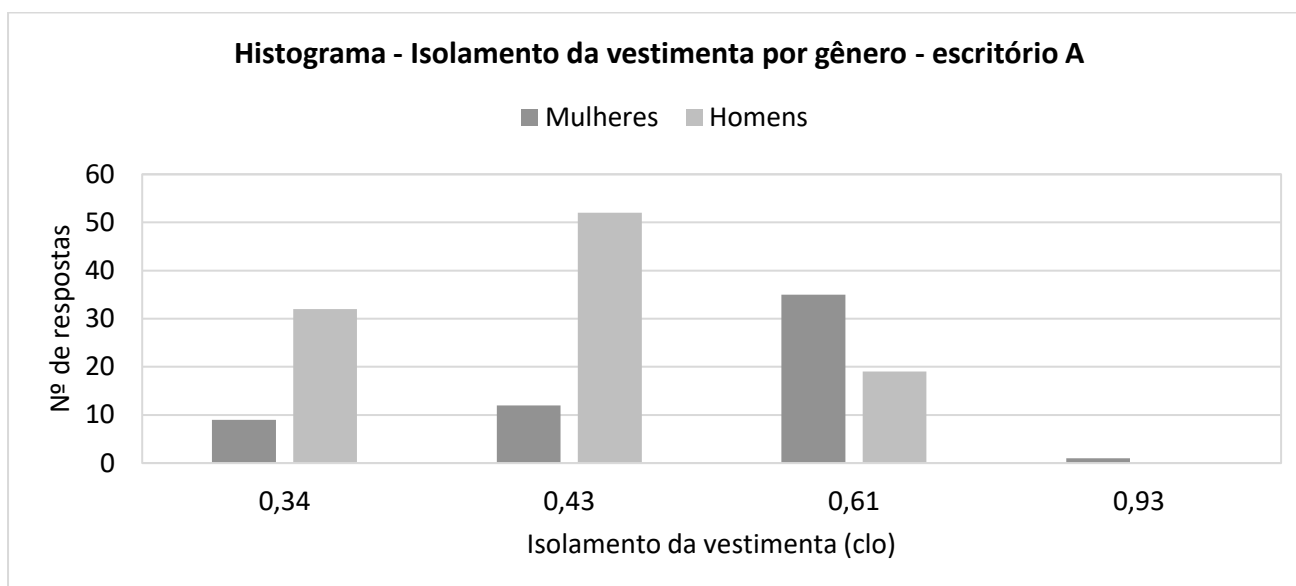
Na Tabela 11 também é possível observar que houve predomínio, durante o levantamento, do uso de 0,61 clo de vestimenta. No entanto, muitos usuários apresentaram menor isolamento, de forma que o valor médio tenha sido de 0,53 clo. Porém, são verificadas diferenças entre os dois escritórios nesse ponto, como mostra o Gráfico 9. O escritório A é um ambiente menos formal e, por conta disso, durante o verão os usuários têm mais flexibilidade e podem utilizar roupas que recobrem menor superfície do corpo, como shorts ou invés de calças, o que resulta em um valor inferior de isolamento. Essa mesma flexibilidade não é vista no escritório B, onde a maioria dos funcionários utiliza calça comprida no seu cotidiano (0,61 clo). No escritório A predominou o uso de 0,43 clo de isolamento, com o valor médio de 0,47 clo.

Gráfico 9. Histograma do isolamento da vestimenta por escritório.



Ao comparar o isolamento médio da vestimenta entre homens e mulheres durante o levantamento, conclui-se que, no geral, não houve diferença significativa. Além disso, no escritório B, que é um ambiente mais formal, não há diferença entre os gêneros. Porém, no escritório A, verifica-se que as mulheres utilizaram mais isolamento do que os homens, isso é, indicaram o uso de calças compridas em um maior número de respostas (0,61 clo), enquanto a vestimenta predominante dos homens era composta por camiseta e shorts (0,43 clo), conforme mostra o Gráfico 10.

Gráfico 10. Histograma do isolamento da vestimenta por gênero no escritório A



#### 4.2. Condições ambientais externas

As tabelas a seguir, Tabela 12 e Tabela 13, indicam o período de estudo de campo realizado em cada escritório. Em cinza escuro são indicados os finais de semana, onde não houve levantamento. Os dias em que os usuários tiveram acesso aos ventiladores estão indicados em cinza claro. Os períodos com ventiladores foram mais extensos, de 9 e 8 dias nos escritórios A e B, respectivamente. Enquanto os levantamentos sem ventiladores foram feitos durante cinco dias nos dois escritórios. A extensão do levantamento com ventiladores visou coletar mais dados para avaliar o uso do equipamento, já que o outro período tinha uma função informativa e comparativa, não sendo o foco principal deste trabalho.

Tabela 12. Período do levantamento de campo no escritório A

Escritório A																		
mês	Janeiro										Fevereiro							
dia	23	24	25	26	27	28	29	30	31	01	02	03	04	05	06	07	08	09

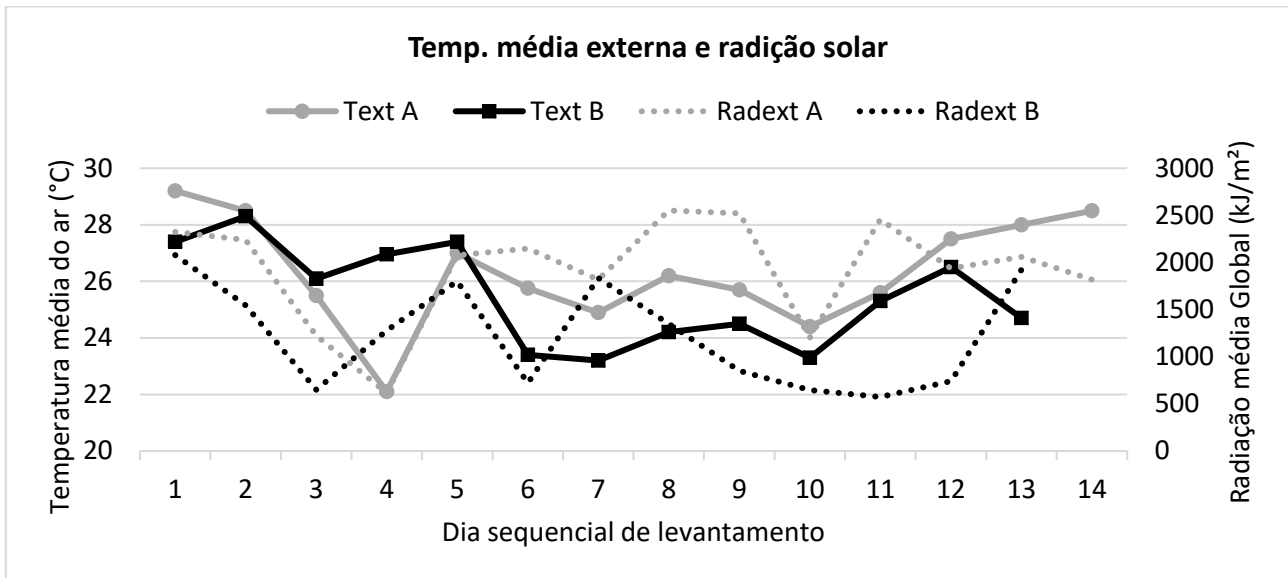
Tabela 13. Período do levantamento de campo no escritório B

Escritório B																	
mês	Fev.		Março														
dia	28	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16

Além disso, o levantamento em B ocorreu no fim do período de verão, principalmente no mês de março, enquanto o levantamento em A ocorreu no ápice do verão, entre o fim de janeiro e começo de fevereiro. As variações decorrentes da época do ano, afetam as condições externas dos levantamentos e dos dois períodos comparados: com e sem ventiladores. Para verificar essas diferenças, foram levantadas as condições externas médias do período de ocupação, definido das 8 às 18 h. Comparando os valores médios constatou-se que as condições durante o levantamento no escritório A e B foram semelhantes. A temperatura média do ar externo foi de 26 °C, e verificou-se diferença de 1 °C entre os valores médios de cada escritório, pois a temperatura foi superior durante o levantamento em A. Além disso, a temperatura máxima e mínima do levantamento foi atingida durante o levantamento em A, indicando grande

amplitude térmica nesse período. A oscilação de temperaturas externas médias em A foi de 29,2 °C a 22,1 °C, acompanhando a variação da radiação solar global, conforme mostra o Gráfico 11. As temperaturas externas mais altas durante o levantamento em A coincidem com a radiação solar externa que também foi mais alta nesse período, ocorrendo, principalmente, quando os usuários não possuíam ventiladores. O levantamento em B ocorreu no fim do período de verão, principalmente no mês de março, enquanto o levantamento em A ocorreu no ápice do verão, entre o fim de janeiro e começo de fevereiro. O que influenciou a variação das condições externas.

Gráfico 11. Temperatura externa e radiação solar durante levantamento



Quando comparadas as temperaturas médias externas (Text) durante levantamento com e sem ventiladores, nos dois edifícios, verifica-se maior diferença. Como mostra o Gráfico 12 e a Tabela 14, houve uma diferença de 3 °C entre as média das temperaturas do ar externo durante o levantamento com e sem ventiladores no escritório B. No escritório A, a diferença entre as médias é menor do que 1 °C, porém a diferença entre as medianas das temperaturas, é maior, próxima a 1,5 °C. Assim, nos períodos em que os usuários não dispunham de ventiladores, as temperaturas externas foram, em média, mais altas. Esse dado deve ser levado em conta na comparação do uso dos ventiladores e ar condicionado, já que, como indica Nicol (2001), há maior tendência de uso quando a temperatura externa é mais alta. A baixa de temperatura em B durante o período com ventiladores, também coincide com a baixa da radiação global externa (Radext) como mostra a Tabela 14 e o período com maior precipitação acumulada: 13,4 mm de água. Nos períodos sem ventiladores não choveu em nenhum dia. Por conta disso, os dois períodos com ventiladores são levemente mais úmidos, com média 6% e 3% maiores de umidade relativa do ar externo (URext) do que nos períodos sem ventiladores em A e B, respectivamente. No período sem ventiladores do levantamento em B, a velocidade média do ar externo (Vaext) foi também a mais baixa, o que pode influenciar o aproveitamento da ventilação natural por reduzir a circulação do ar.

Tabela 14. Condições externas durante o levantamento de campo

	Text (°C)				Radext (kJ/m²)				URext (%)				Vaext (m/s)			
	A		B		A		B		A		B		A		B	
Ventilador	sem	com	sem	com	s	c	s	c	s	c	s	c	s	c	s	c
Máximo	28,5	29,2	28,3	26,5	2456	2552	2079	1924	68	82	78	82	2,8	2,9	1,6	3,5
Média	26,8	26,1	27,2	24,4	1895	1946	1471	1080	64	70	67	70	1,9	1,8	1,1	2,1

Desv. Pad.	1,7	2,1	0,8	1,1	455	641	547	548	5	7	7	8	0,7	0,5	0,5	0,8
Mediana	27,5	25,8	27,4	24,4	1936	2147	1546	795	65	71	68	70	1,6	1,8	1,2	1,9
Mínimo	24,4	22,1	26,1	23,2	1204	616	651	573	57	61	61	59	1,3	1,2	0,3	1,3

Gráfico 12. Temperatura média do ar externo (Text) por período

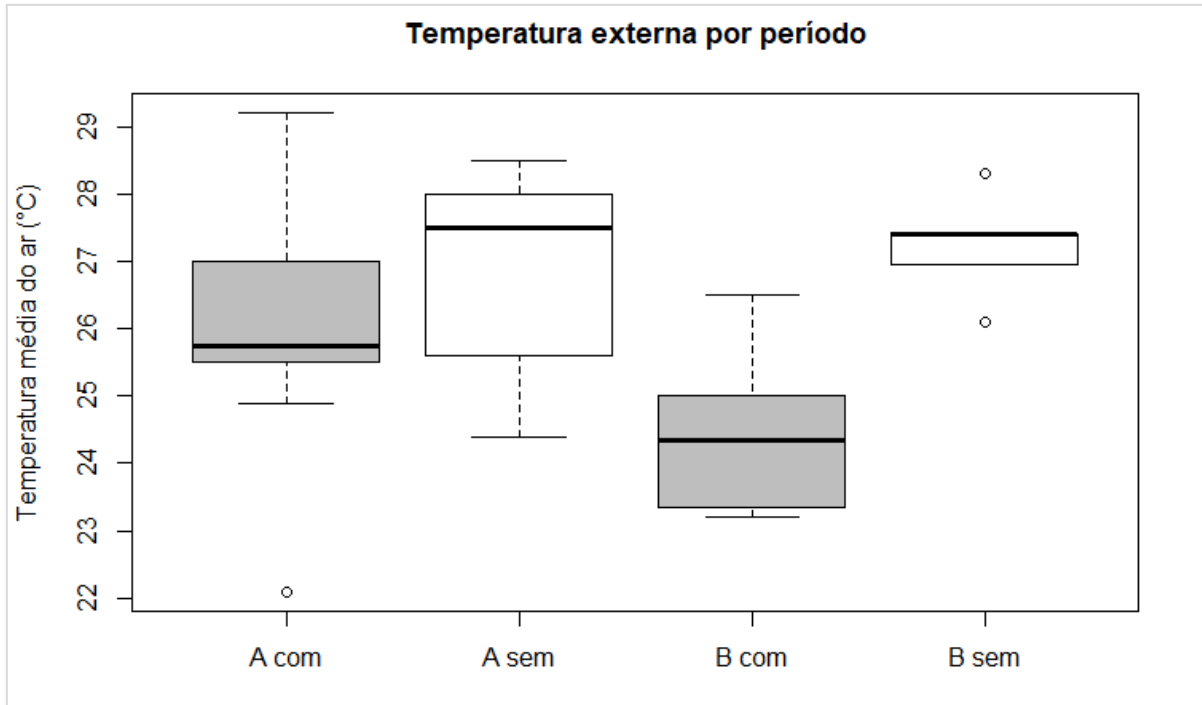
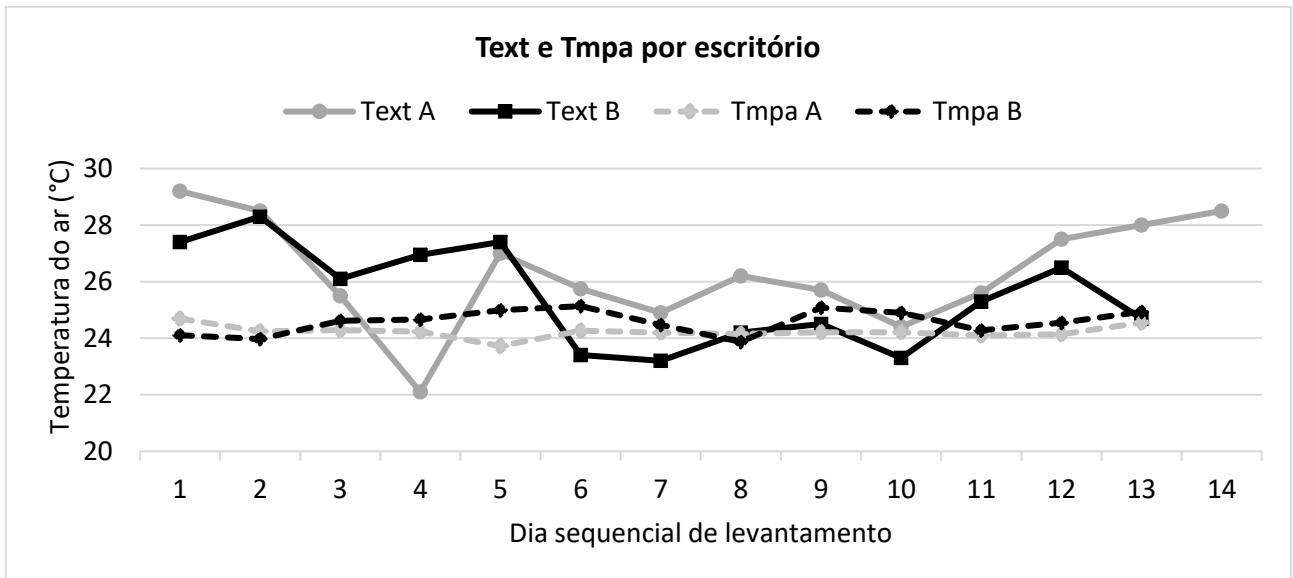


Gráfico 13. Temperatura externa e temperatura média predominante do ar externo durante levantamento



Quando comparadas as temperaturas externas aos valores calculados de temperatura média predominante do ar externo (Tmpa), é verificado que as Tmpa variam menos ao longo dos dias de medição. O cálculo da Tmpa considera as 24 h dos dias de medição e dos dias precedentes, e por conta das baixas temperaturas noturnas, indicam valores menores do que aqueles aos que os usuários foram expostos diretamente durante as medições. Porém, essas temperaturas são importantes, pois mostram o

histórico térmico próximo aos dias do experimento, isso é, o contexto em que o usuário está inserido e que os influenciam.

Apesar das diferenças verificadas entre os períodos de medição, a Tabela 15 indica que, no geral, as diferenças entre as médias das variáveis externas avaliadas são insignificantes. As variáveis que apresentam diferenças significantes estão ressaltadas em cinza na Tabela 15. Há diferença significativa: 1) nas *Text* e as *Vaext* no escritório B entre os períodos de medição com e sem ventiladores; 2) na *Tmpa* e a *Radext* comparando todo o levantamento em A e B; e, 3) entre as *URext* no escritório A nos períodos com e sem ventiladores. Isso é, no escritório B a temperatura (*Text*) esteve significativamente menor quando os usuários tinham acesso ao ventilador se comparado ao período em que o equipamento não estava disponível, o que, como comentado antes, afeta sua tendência de uso. Além disso, a velocidade média do ar externo foi significativamente maior, o que pode ter aumentado o potencial de aproveitamento da ventilação natural e reduzido a necessidade de ativação dos ventiladores. No escritório A, as condições foram mais parecidas nos dois períodos de medição, porém, a umidade relativa média foi mais alta no período com ventiladores, o que pode intensificar o desconforto por calor e aumentar a demanda do ventilador. Apesar das variações das *Tmpa* serem menores do que das *Text* entre os dois escritórios, há diferença significativa apenas entre as médias predominantes (*Tmpa*) e entre as médias de radiação solar global a que os dois edifícios foram expostos no período total do levantamento. Tanto a *Tmpa* como a *Radext* estiveram mais baixas durante o levantamento em B.

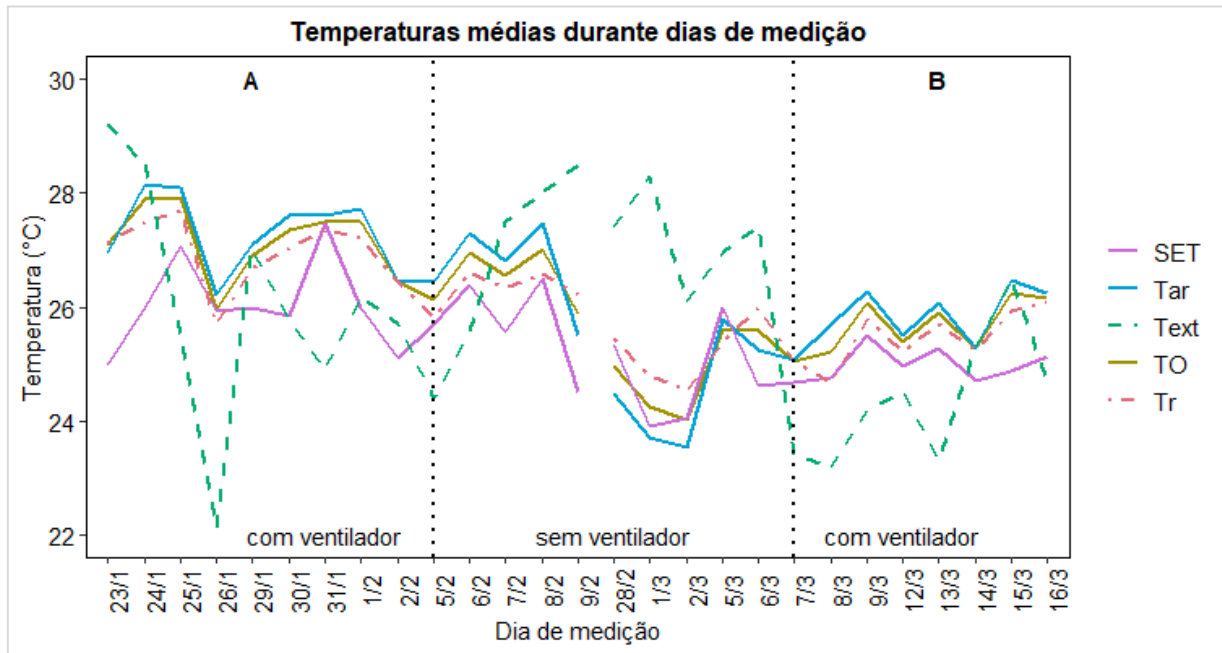
*Tabela 15. Valores de p no teste de diferença entre médias - condições externas*

<b>Variável</b>	<b>Entre A com e A Sem ventilador</b>	<b>Entre B com e B Sem ventilador</b>	<b>Entre A e B</b>
Temp. externa média ( <i>Text</i> )	p=0,65	p<0,05	p=0,37
Temp. média ponderada ( <i>Tmpa</i> )	p=0,42	p=0,46	p=0,05
Radiação Solar média ( <i>Radext</i> )	p=0,68	p=0,24	p<0,05
Umidade Relativa ( <i>URext</i> )	p<0,05	p=0,58	p=0,65
Velocidade do ar ( <i>Vaext</i> )	p=0,87	p<0,05	p=0,63

### 4.3. Condições ambientais internas

A diferença de temperaturas externas durante os períodos também refletiu sobre as temperaturas internas. Porém, as variações de temperatura internas foram menores do que a variação da temperatura externa média (*Text*), como mostra o Gráfico 14.

Gráfico 14. Temperaturas médias internas e externa do ar durante levantamento



No geral, as médias diárias calculadas de temperatura operativa (TO) e temperatura efetiva padrão (SET) foram inferiores às temperaturas do ar (Tar) e radiante média (Tr). As condições médias durante o período se mantiveram conforme tabela 16 a seguir:

Tabela 16. Condições gerais internas durante levantamento de campo

	Tar (°C)	Tr (°C)	TO (°C)	SET (°C)	UR (%)	Va (m/s)
<b>Máximo</b>	29,5	28,5	29,1	32,0	86	1,50
<b>Média</b>	26,1	25,9	26,0	25,4	59	0,19
<b>Desv. Pad.</b>	1,6	1,2	1,3	1,9	8	0,22
<b>Mediana</b>	26,0	25,9	25,9	25,0	60	0,11
<b>Mínimo</b>	22,2	23,3	23,3	21,0	43	0,00

Nota-se que a temperatura SET varia mais que as demais temperaturas, isso é, tem maior desvio padrão e amplitude, indicando valores mínimos e máximo mais amplos do que a TO. Isso ocorre porque essa temperatura é calculada considerando mais variáveis do que a TO, além da Tar, Tr e va, considerados no cálculo da TO, envolve ainda a UR, a vestimenta dos usuários (CLO) e sua atividade (MET). Além disso, o Gráfico 14 mostra que há grande diferença entre as temperaturas internas dos escritórios A e B. A comparação das médias apresentada na Tabela 17 a seguir, mostra que, com exceção da velocidade do ar, as variáveis ambientais nos dois escritórios são significativamente diferentes.

Tabela 17. Valores de p no teste de diferença entre médias - condições internas em A e B

Variável	Valor de p	Média em A	Média em B
UR (%)	<0,05	58	60
Tr (°C)	<0,01	26,8	25,3
Ta (°C)	<0,01	27,2	25,3
va (m/s)	0,43	0,20	0,18
Velocidade do ar ambiente (Var ) (m/s)	<0,01	0,08	0,12
SET (°C)	<0,01	26	24,9
TO (°C)	<0,01	27	25,3

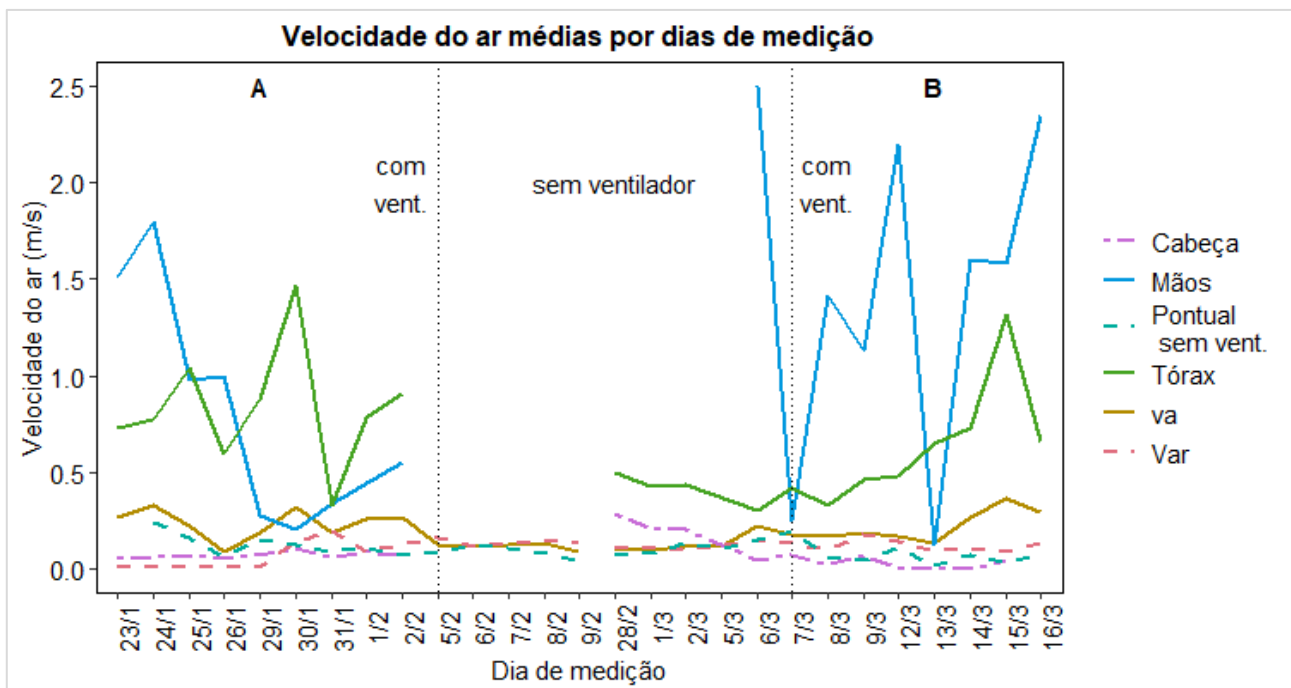
Por outro lado, como os ventiladores aumentam a velocidade do ar, é importante avaliar as condições com e sem ventiladores disponíveis, para verificar se há diferença. A Tabela 18 mostra as condições ambiente analisadas e em cinza são ressaltados os valores com diferença significativa ( $p < 0,05$ ). Isso é, ao realizar o mesmo teste de hipótese com as condições de cada escritório durante o período com e sem ventiladores, verifica-se que há diferença significativa entre as médias de velocidade do ar, assim como ocorre entre as temperaturas operativas.

Tabela 18. Condições internas durante levantamento de campo, por escritório e período. Em cinza, diferenças significativas ( $p < 0,05$ )

Escritório	TO (°C)				SET (°C)				UR (%)				Va (m/s)			
	A		B		A		B		A		B		A		B	
Ventilad.	sem	com	s	c	s	c	s	c	s	c	s	c	s	c	s	c
Máximo	28,1	29,1	27,5	27,7	30	32	31	29	69	76	77	86	0,27	1,32	0,34	1,50
Média	26,6	27,2	24,8	25,6	26	26	25	25	57	58	61	59	0,12	0,23	0,11	0,22
Des. Pad.	0,86	1,02	1,02	0,9	1,6	1,9	2	1,5	8	9	8	7	0,05	0,27	0,07	0,25
Mediana	26,5	27,3	24,5	25,6	26	26	24	24	60	60	58	59	0,10	0,14	0,10	0,10
Mínimo	25,4	25,4	23,3	23,5	23	21	21	21	45	43	50	45	0,04	0,00	0,03	0,00

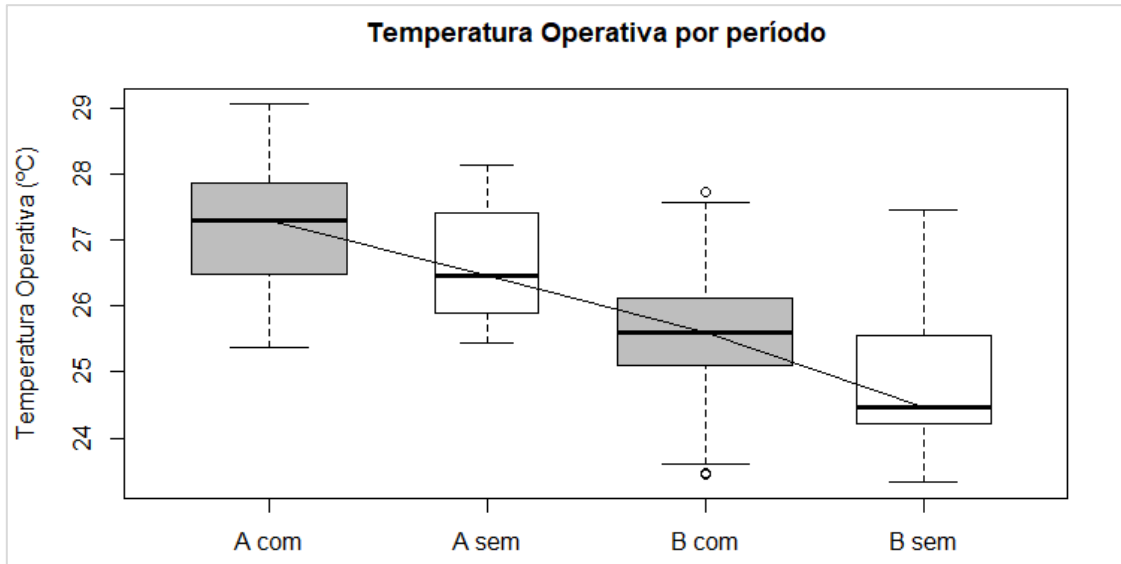
No geral, prevalecem ao longo de todo o levantamento, velocidades do ar baixas, em torno de 0,1 m/s, como indicam as medianas. Porém, a presença dos ventiladores faz com que as médias subam para 0,2 m/s; o que ainda é um valor baixo, indicando que o uso do ventilador não é intenso. O Gráfico 15 a seguir, mostra a velocidade média diária lida em cada ponto do corpo afetado pelo ventilador, a média do ambiente registrada pelos confortímetros (Var), a velocidade média pontual quando os usuários não tinham ventilador e a média geral calculada com todas elas (va). Nota-se que as altas velocidades médias do ar medidas nas mãos e no tórax não são frequentes aos muitos usuários, de forma que a velocidade média do ar calculada (va) se mantém próxima à velocidade do ar ambiente (Var) e a velocidade do ar sem ventiladores.

Gráfico 15. Velocidades médias diárias durante levantamento



Além disso, analisando as temperaturas internas operativas, que indicaram possuir diferença significativa entre as médias calculadas dos períodos de medição, percebe-se que há uma relação decrescente entre as medianas dos períodos, conforme mostra o Gráfico 16.

Gráfico 16. Temperatura operativa por período



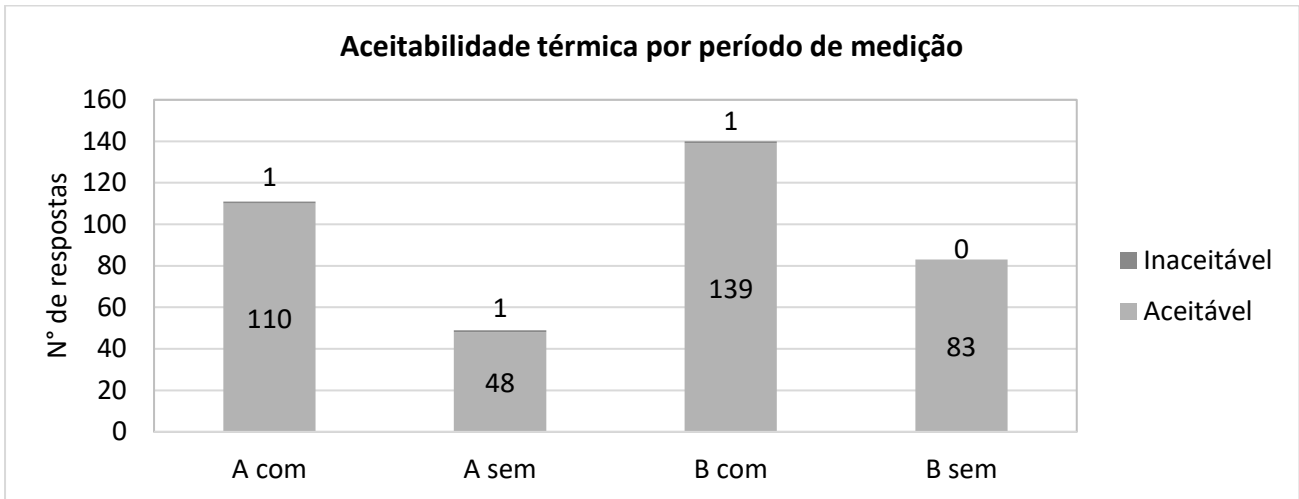
Comparando o Gráfico 16 com o Gráfico 12, do item anterior, nota-se que existem diferenças. Apesar das temperaturas externas nos períodos sem ventiladores terem sido mais altas, internamente elas foram mais baixas do que nos períodos com ventiladores. Essa diferença entre as condições externas e internas indica que houve maior uso do ar condicionado nos períodos sem ventiladores, já que ele permite reduzir a temperatura interna independente da variação externa. Por outro lado, é importante ressaltar que a falta de significância estatística entre as temperaturas SET médias dos períodos com e sem ventiladores, nos dois escritórios, indica que as condições térmicas foram similares. Isso é, mesmo que a temperatura interna tenha sido mais alta no período com ventiladores, o aumento da velocidade do ar compensou a diferença de temperatura, fazendo com que a temperatura SET média se equiparasse.

#### 4.4. Influência da disponibilidade dos ventiladores sobre o Conforto térmico

Em 99% dos momentos de aplicação dos questionários a condição térmica do ambiente foi considerada aceitável, houve apenas 3 votos insatisfeitos dentre os 383 coletados, como mostra o Gráfico 17. Dois desses votos ocorreram no escritório A, e continham comentários: 1) o usuário gostaria que o ar condicionado estivesse sempre ligado no verão, 2) preferência pelo acesso ao ventilador de mesa. O usuário do escritório B que indicou que a condição térmica estava inaceitável, declarou desconforto por calor na face, mas estava com o ventilador desligado e com o ar condicionado mais próximo ligado. Em nenhum dos três votos o usuário estava com o ventilador ligado, indicando que a não aceitabilidade térmica não se relacionou ao aparelho. Apesar disso, como predomina a aceitabilidade térmica em todos os períodos, não há diferença significativa entre os votos dos períodos com e sem ventiladores.

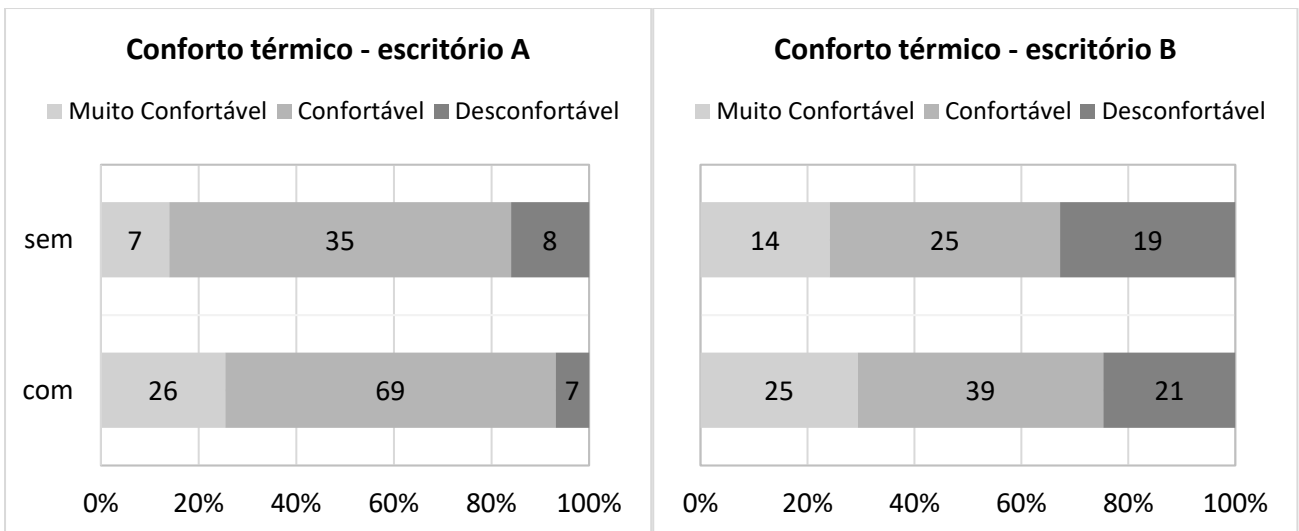


Gráfico 17. Aceitabilidade térmica por período



Apesar das condições, no geral, serem consideradas aceitáveis, os votos de conforto térmico indicam menor percentual de satisfação. Não foi registrado nenhum voto de muito desconforto, apesar da temperatura interna operativa ter atingido a máxima de 29 °C. Predominaram os votos de “apenas confortável” e “muito confortável” nos dois escritórios, indicando que a maioria das condições era confortável. Porém, em 10% dos votos de cada escritório, os usuários consideraram a condição térmica “apenas desconfortável”. Como vemos no Gráfico 18, apesar dos números absolutos de votos serem muito próximos, houve maior percentual de votos indicando desconforto térmico nos períodos sem ventiladores. Além disso, no escritório A, o número de votos indicando “muito confortável” dobrou no período com ventiladores, em relação ao período sem ventiladores. Entretanto, comparando os votos médios entre os períodos com e sem ventiladores em cada escritório, conclui-se não haver diferença estatística significativa. Além disso, também não há diferença significativa entre os votos médios durante o levantamento em A e em B. É importante ressaltar que não há votos de “muito desconforto”.

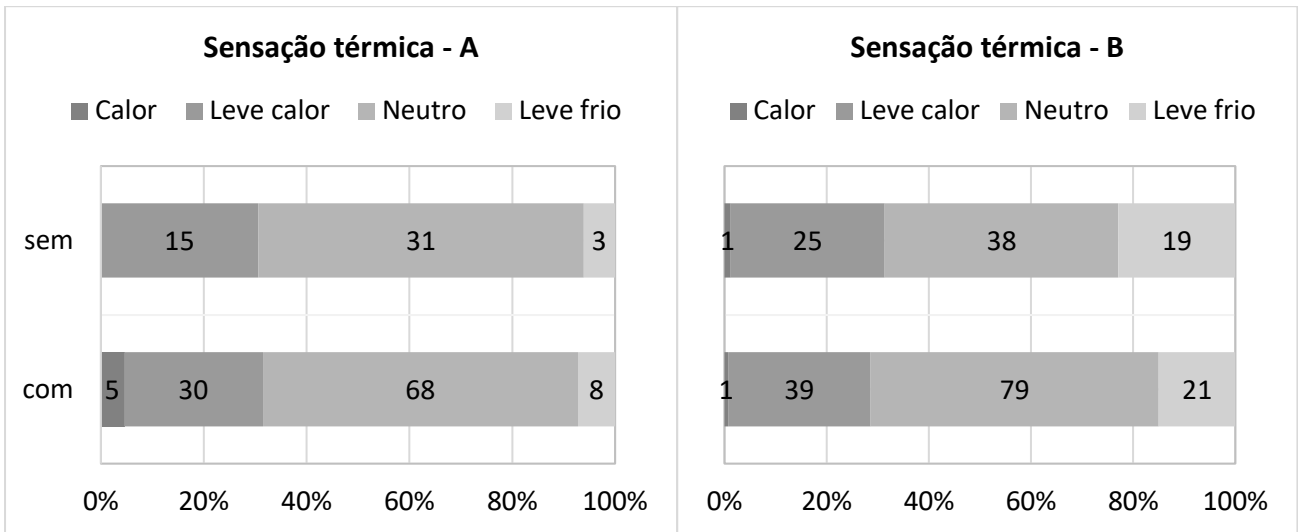
Gráfico 18. Conforto térmico nos escritórios A e B, com e sem ventiladores



Em relação à sensação térmica, nota-se no Gráfico 19 que a proporção entre os votos e mantém semelhante entre os períodos com e sem a disponibilidade de ventiladores. No escritório A, no período com ventiladores, 5% das repostas indicam sensação de calor, o que não ocorreu no período sem ventiladores. Já no escritório B, no período com ventiladores houve redução de 8% no número de votos

indicando levemente frio, e aumento do percentual do número de votos em neutralidade térmica. Porém, os testes de hipótese indicam não haver diferença significativa entre a sensação térmica média de cada período, pois, ela é sempre próxima a zero, indicando neutralidade térmica.

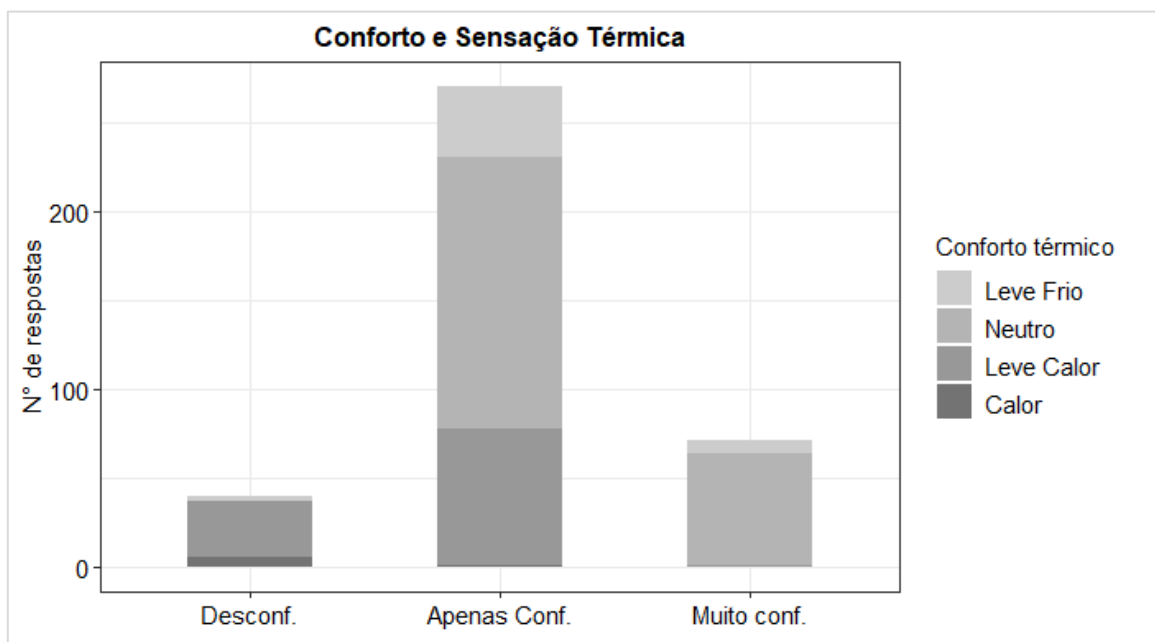
Gráfico 19. Sensação térmica nos escritórios A e B, com e sem ventiladores



Outro ponto importante é que não há votos indicando sensação de frio, apenas leve frio, o que é esperado durante o verão, mas, poderia ocorrer em decorrência ao uso exacerbado e inadequado do ar condicionado.

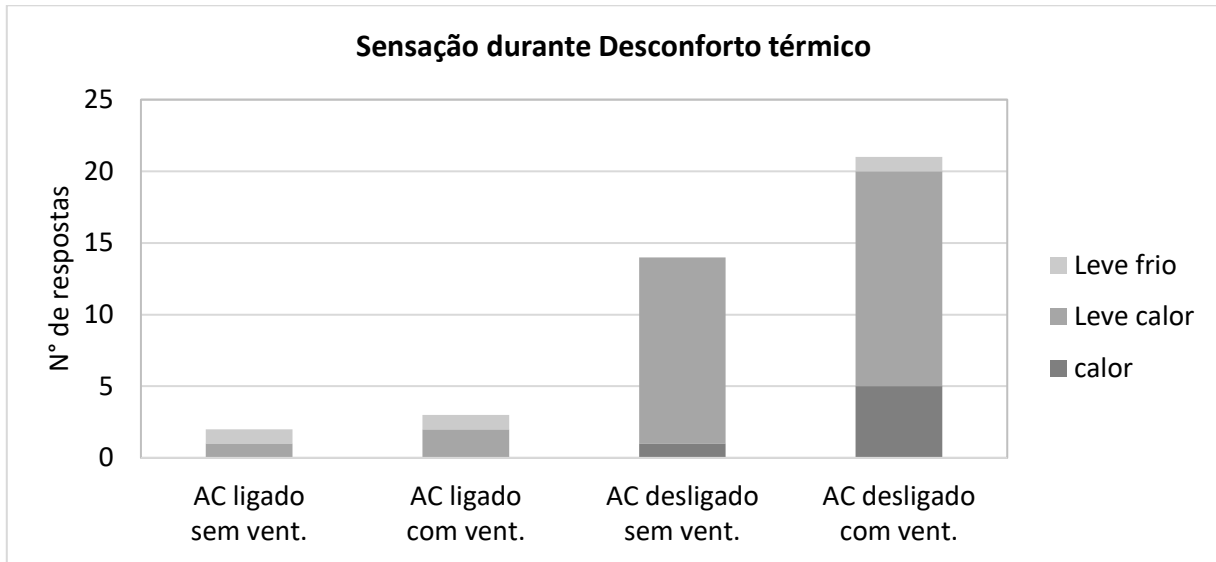
Relacionando os votos de conforto com a sensação térmica, conforme o Gráfico 20, percebe-se que as sensações de “leve calor” ou “leve frio” podem ou não gerar desconforto térmico. Durante o verão, período quente do ano, a sensação levemente fria, gerou tanto “apenas desconforto” quanto “muito conforto”, ainda que um percentual maior de votos a associe com “apenas confortável”. Todos os votos de calor coincidem com “apenas desconforto”, por outro lado, o “leve calor” coincide tanto com votos de desconforto quanto com votos de “apenas conforto”. No geral, o conforto térmico tem maior relação com a neutralidade térmica, pois predominam nos votos de “apenas” e “muito confortável”.

Gráfico 20. Sensação térmica x Conforto térmico



Os votos de desconforto podem ser mais bem compreendidos quando associados à disponibilidade e acionamento dos sistemas. Nota-se pelo Gráfico 21 que o desconforto por calor ocorre apenas durante os períodos em que o ar condicionado está desligado, isso é, quando o ambiente está naturalmente ventilado. Por outro lado, o leve desconforto por frio é maior proporcionalmente, quando o ambiente está condicionado.

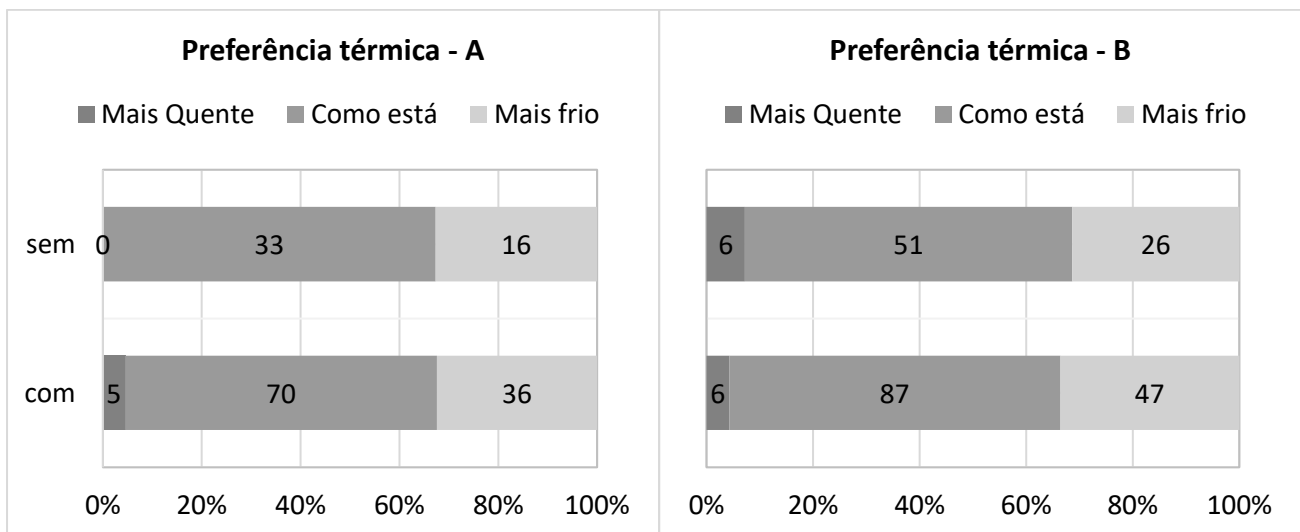
Gráfico 21. Sensação térmica x Desconforto térmico x sistemas



Porém, predomina o desconforto associado à sensação de leve calor qualquer que seja a forma de condicionamento do ambiente. Nota-se um pequeno percentual de votos de desconforto (5%) por leve frio quando o ar condicionado está desligado e os usuários têm acesso ao ventilador. Porém, esse percentual corresponde a um único voto de um usuário que estava com o ventilador desligado, indicando que o ventilador não foi o gerador do desconforto.

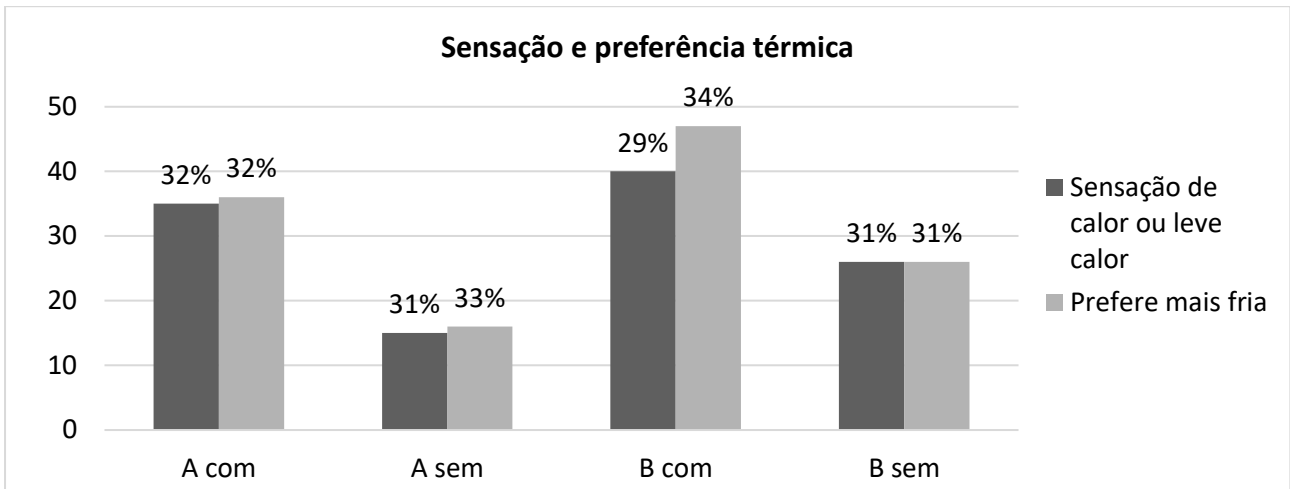
Por conta das condições do ambiente, em média, produzem sensação de neutralidade e conforto térmico, a maioria dos votos indica preferência pela manutenção da condição térmica, sem a necessidade de modificação, como mostra o Gráfico 22. Há pouca variação nos votos de preferência térmica entre os períodos com e sem ventiladores, nos dois escritórios, não havendo diferença entre as médias.

Gráfico 22. Preferência térmica nos escritórios A e B, com e sem ventiladores



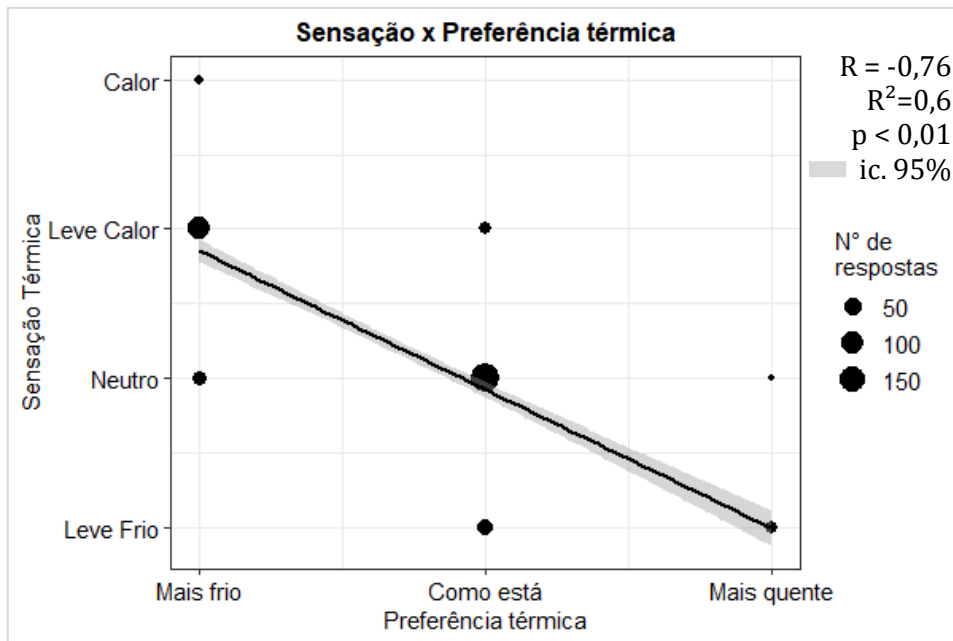
Comparando a preferência, conforto e sensação térmica, observa-se maior coincidência entre os votos indicando sensação de calor e levemente calor, com a preferência por um ambiente mais frio, como mostra o Gráfico 23.

Gráfico 23. Sensação e preferência térmica



É verificada forte correlação ( $R=-0,76$ ) entre os votos de preferência e sensação térmica, como mostra o Gráfico 24. Porém, há grande dispersão dos dados, indicando que uma variável não determina a outra com precisão, e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), indica que apenas 60% dos votos de preferência são explicados pela sensação térmica. O Gráfico 24 também indica, assim como o sinal de  $R$ , que a relação entre as variáveis é inversamente proporcional. Isso é, quando o usuário sente calor ou leve calor, tende a preferir que o ambiente esteja mais frio, enquanto que quando sente leve frio tende a preferir um ambiente mais quente.

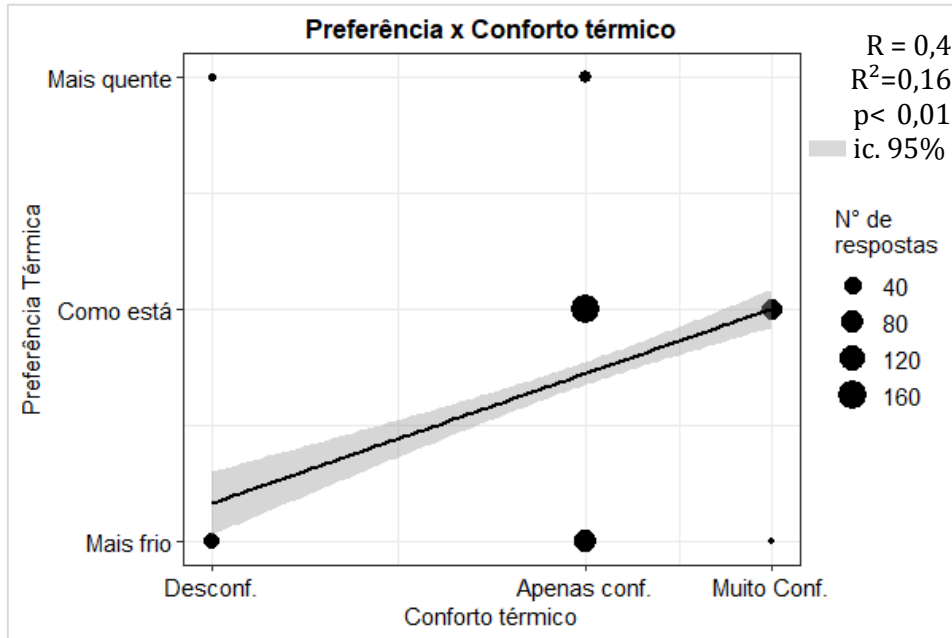
Gráfico 24. Correlação entre Sensação x Preferência térmica



A correlação linear entre conforto e preferência térmica, apesar de significativa, é fraca. O valor de  $R$  é de 0,41 e de  $R^2$  é igual a 0,16, indicando que a relação não é determinada pela reta do Gráfico 25. Mas, é importante ressaltar que o gráfico mostra que conforme aumenta o número de votos indicando a

preferência pela não modificação da condição ambiente, o conforto dos usuários também aumenta. Por outro lado, o desconforto se relaciona com a preferência por um ambiente mais frio. Apesar dessas tendências, há um número significativo de pessoas que considera o ambiente apenas confortável, pois preferia que ele estivesse mais frio.

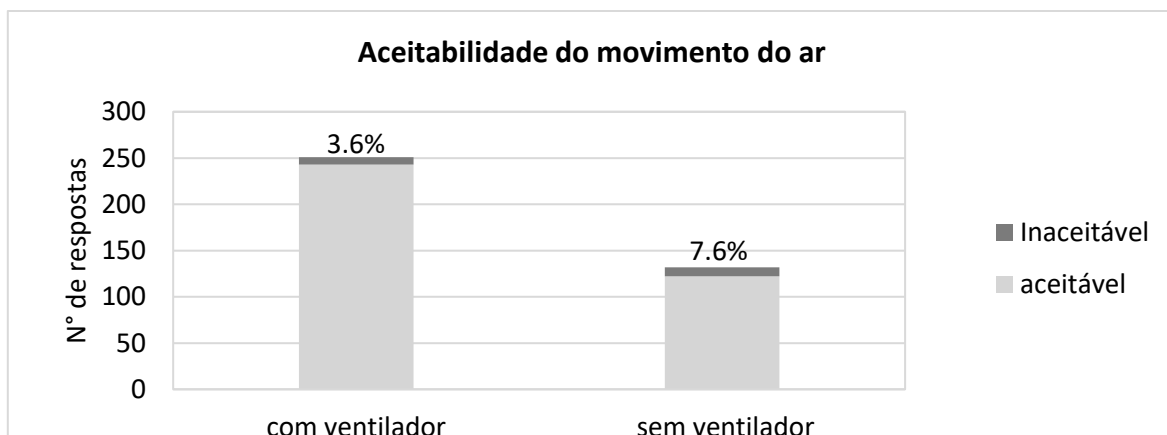
Gráfico 25. Correlação entre Preferência x Conforto térmico



A correlação entre o conforto e a sensação térmica é significativa, mas, ainda mais fraca que a anterior. O coeficiente de correlação é igual a  $-0,38$  ( $R$ ) e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da reta é de  $0,14$ . O fato do  $R$  ser negativo, confirma de que há maior correlação entre o desconforto ( $-1$ ) e a sensação de calor ( $+2$ ).

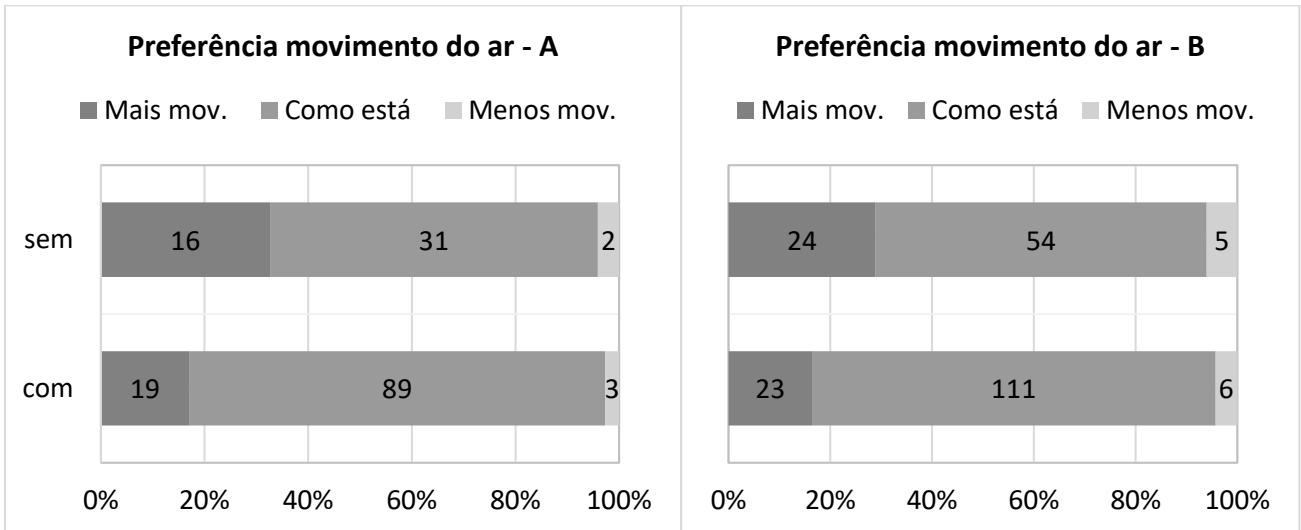
A qualidade do ar interna é dada como aceitável em quase 100% das respostas. Há apenas um voto indicando condição inaceitável, porém o usuário comenta que não estava saudável, de forma que seu voto pode ter sido afetado por sua rinite alérgica. O movimento do ar foi também aceito na maior parte do tempo, como mostra o Gráfico 26. Houve um pequeno aumento, de 5%, no percentual de votos de aceitabilidade do movimento do ar com o uso dos ventiladores. Apesar de pequenas as diferenças de votos, no escritório B o teste de hipótese indica diferença significativa da aceitabilidade do movimento do ar em função da disponibilidade dos ventiladores, resultando em uma média mais alta no período com ventiladores.

Gráfico 26. Aceitabilidade do movimento do ar com e sem ventiladores



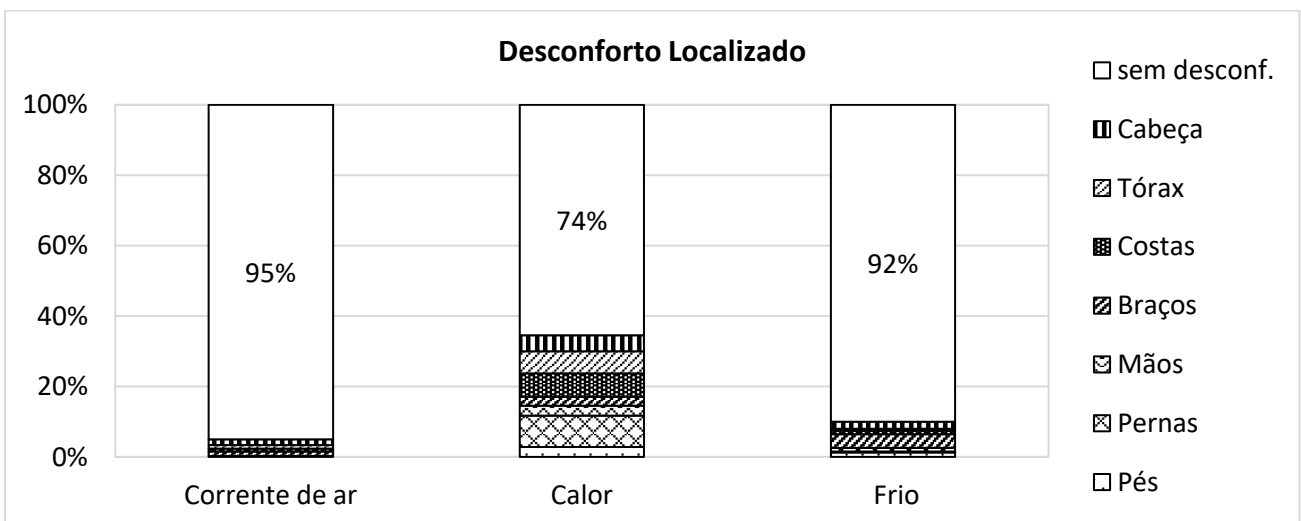
Porém, o maior impacto é verificado sobre a preferência da velocidade do ar com a disponibilidade de ventiladores. Nos dois escritórios, a disponibilidade dos ventiladores fez com que a preferência por mais movimento do ar fosse reduzida em mais de 10%, como mostra Gráfico 27, gerando uma diferença significativa entre as médias. Tal resultado indica que o principal efeito do ventilador percebido pelos usuários foi o aumento do ajuste pessoal e incremento do movimento do ar.

Gráfico 27. Preferência do movimento do ar com e sem ventiladores



Em relação ao desconforto localizado, foi solicitado aos usuários que indicassem o motivo do desconforto e as partes do corpo afetadas. O Gráfico 28 mostra a percepção dos usuários sobre os pontos mais afetados e o tipo de efeito localizado. As questões permitiam indicar mais de uma fonte de desconforto e mais de um ponto afetado, por conta disso, sobre as áreas brancas são indicados os percentuais dos questionários sem aquele tipo de desconforto. Muitos usuários indicaram desconforto simultâneo em dois ou três pontos diferentes do corpo, principalmente por calor. Esse foi o tipo de desconforto predominante entre as respostas, percebido principalmente, nas pernas, costas e tórax. Já o desconforto por frio localizou-se principalmente nos braços e o desconforto por corrente de ar foi indicado em menos de 5% das respostas coletadas.

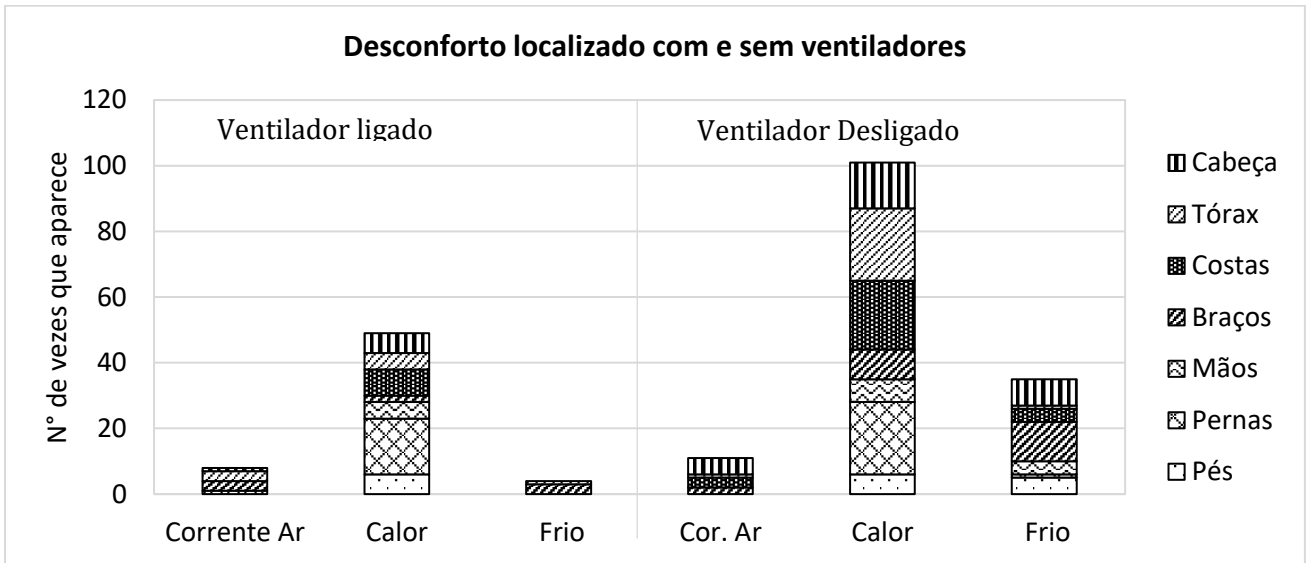
Gráfico 28. Tipo de desconforto localizado por área do corpo



No total, 65% dos questionários não indicaram nenhum tipo de desconforto localizado, em 46% dos quais os usuários tinham acesso aos ventiladores e em 19% eles não tinham. Isso é, há um percentual

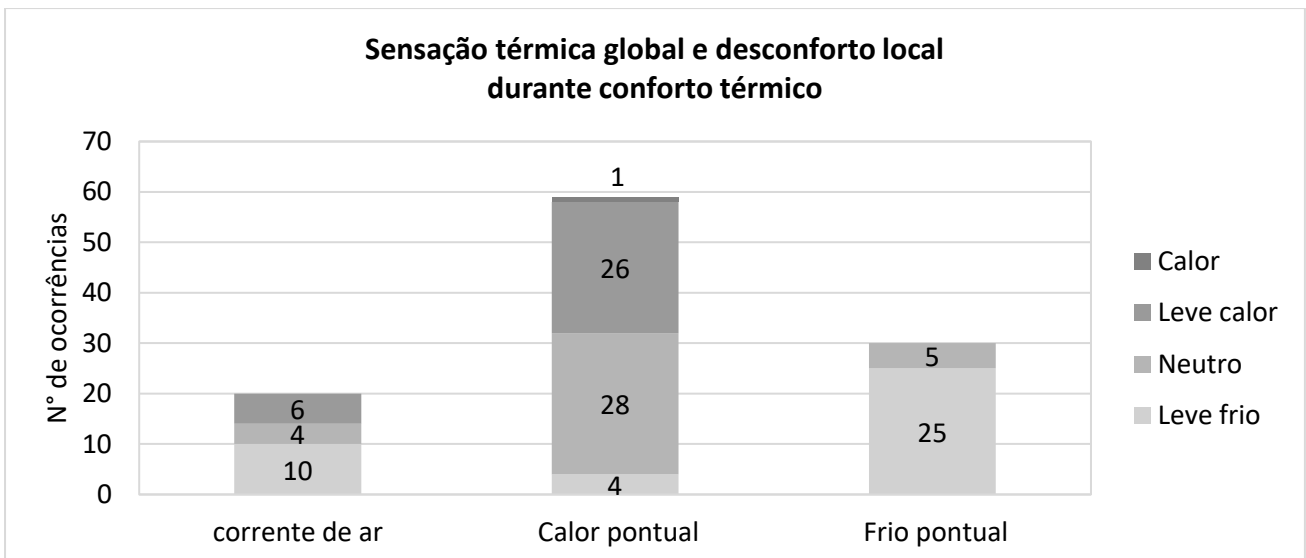
muito maior de respostas sem nenhum desconforto localizado referente ao período em que os usuários tinham acesso aos ventiladores. Além disso, ao relacionar os votos de desconforto localizado com o acionamento dos ventiladores, nota-se que grande parte do desconforto localizado ocorreu quando o ventilador estava desligado, como mostra o Gráfico 29. Quando o ventilador está ligado, há maior ocorrência de desconforto por calor, principalmente nas pernas, e o desconforto por corrente de ar e frio localizado têm baixa ocorrência. Do total de questionários que indicam desconforto por corrente de ar, menos da metade (44%) foi preenchido enquanto o ventilador estava ligado. Há maior ocorrência de desconforto por corrente de ar quando o ar condicionado está ligado. Durante 56% das respostas indicando desconforto por corrente de ar, o ar condicionado estava ligado. Além disso, a grande maioria dos questionários que indicaram desconforto localizado por frio (94%) foi preenchida quando o ar condicionado estava ligado, e apenas 12,5% com o ventilador ligado.

Gráfico 29. Tipo de desconforto localizado por área do corpo x acionamento do ventilador



Verifica-se, ainda, que nem sempre o desconforto térmico localizado indicado pelos usuários gerou desconforto global. Dentre as respostas que indicam algum tipo de desconforto localizado, em 15% os usuários estavam em conforto térmico global. As sensações globais e locais desses votos em conforto térmico global são mostradas no gráfico 30, a seguir, para análise de sua relação:

Gráfico 30. Comparação de sensação térmica local e global durante conforto térmico



Percebe-se que, apesar da corrente de ar, no geral, ser associada à sensação global de leve frio, alguns usuários também a relacionaram com a neutralidade térmica e até mesmo ao leve calor global. No caso do desconforto localizado por frio, parte das respostas indica que o efeito local não foi suficiente para gerar sensação global de frio, mantendo a pessoa em neutralidade térmica. Já o desconforto local por calor ocorre simultaneamente a todas as sensações globais relatadas no experimento, inclusive quando a sensação global era de leve frio, mas, predominantemente, sob neutralidade térmica ou leve calor. Assim, conclui-se que em muitos casos a sensação local não coincide com a global, isso é, pode não afetar negativamente a sensação global e o conforto térmico. Considerando a teoria da alestesia comentada anteriormente, nos casos em que a sensação global e a pontual se opõem, há maior efeito da sensação pontual sobre a global, e esse efeito é positivo. Por exemplo, quando ocorre o desconforto local por corrente de ar, mas a sensação global é de leve calor, a pessoa pode ter uma sensação confortável, pois, a corrente de ar resfria seu corpo. Parte da não correspondência entre desconforto localizado e global pode então indicar uma sensação localizadas que não necessariamente é desconfortável, ou não é desconfortável o suficiente para alterar a condição global.

A Tabela 19 a seguir apresenta uma síntese dos votos de percepção térmica dos usuários nos períodos com e sem acesso aos ventiladores de mesa. São indicados os valores numéricos médios das respostas e o valor de  $p$ , que indica se entre as médias há diferença estatística significativa. A última coluna apresenta uma breve análise dos resultados.

*Tabela 19. Síntese da percepção térmica dos usuários entre períodos com e sem ventiladores*

	Votos médios		valor de $p$	O que significa?
	com ventiladores	sem ventiladores		
Aceitabilidade térmica	0,99	0,99	0,96	Maioria considera aceitável. Não há diferença significativa.
Sensação térmica	0,21	0,15	0,45	Maioria em neutralidade térmica, não há diferença significativa.
Conforto térmico	1,01	0,92	0,26	Maioria apenas confortável, não há diferença significativa. Porém, 74% de probabilidade de mais usuários estarem em conforto térmico com ventilador.
Preferência térmica	-0,28	-0,27	0,80	Maioria preferia como está, não há diferença significativa.
Aceitabilidade do movimento do ar	0,97	0,92	0,09	A aceitabilidade do mov. do ar é maior com ventilador.
Preferência do movimento do ar	0,13	0,25	0,03	Com ventilador há maior preferência por manter o movimento do ar como está ao invés de aumentar.
Qualidade do ar	0,99	1	0,32	Maioria considera aceitável. Não há diferença significativa.
Desconforto por corrente de ar	0,04	0,06	0,39	Maioria não teve desconforto. Não há diferença significativa.
Desconforto localizado por calor	0,21	0,35	>0,01	Mais desconforto por calor quando as pessoas não tinham ventilador.
Desconforto localizado por frio	0,07	0,1	0,27	Maioria não teve desconforto. Não há diferença significativa.

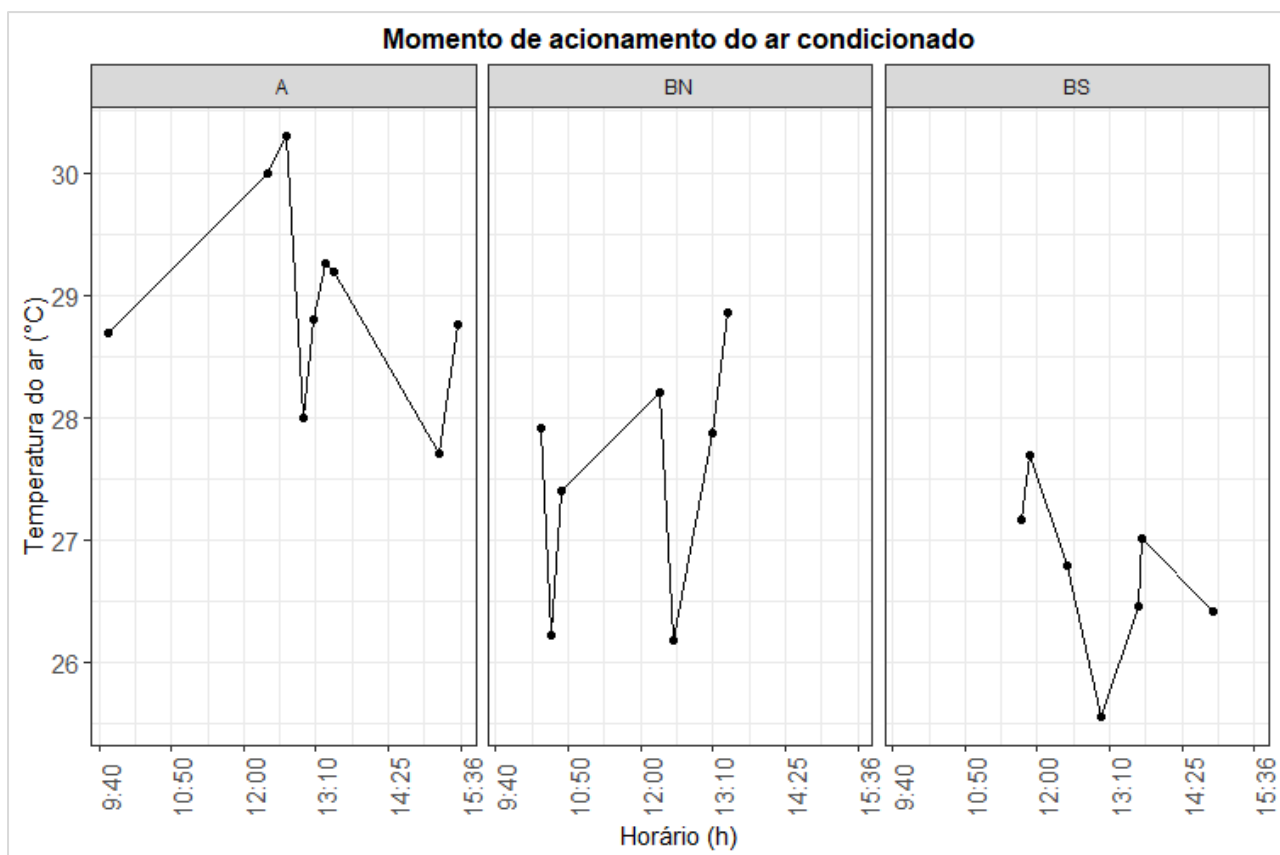


## 4.5. Uso dos sistemas

### 4.5.1. Ar condicionado

Verificou-se variação de frequência de uso e operação dos sistemas de climatização entre os dois escritórios e entre as diferentes alas do escritório B. No apêndice C deste trabalho é apresentado o método de identificação do momento de ativação do ar condicionado (AC) e os respectivos valores diários de temperatura do ar interno e horário em que eles ocorreram. Os resultados encontrados estão representados no gráfico 31, que mostra que o acionamento do AC ocorreu, predominantemente, no período da tarde. Foi observado durante o levantamento, que esse momento muitas vezes coincidia com o retorno do almoço, quando os usuários chegavam a seus postos de trabalho com calor, resultante da exposição à radiação solar externa e do aumento da taxa metabólica produzido pelo deslocamento. Por conta disso, há maior frequência de acionamento entre 12:30 às 13:30 h.

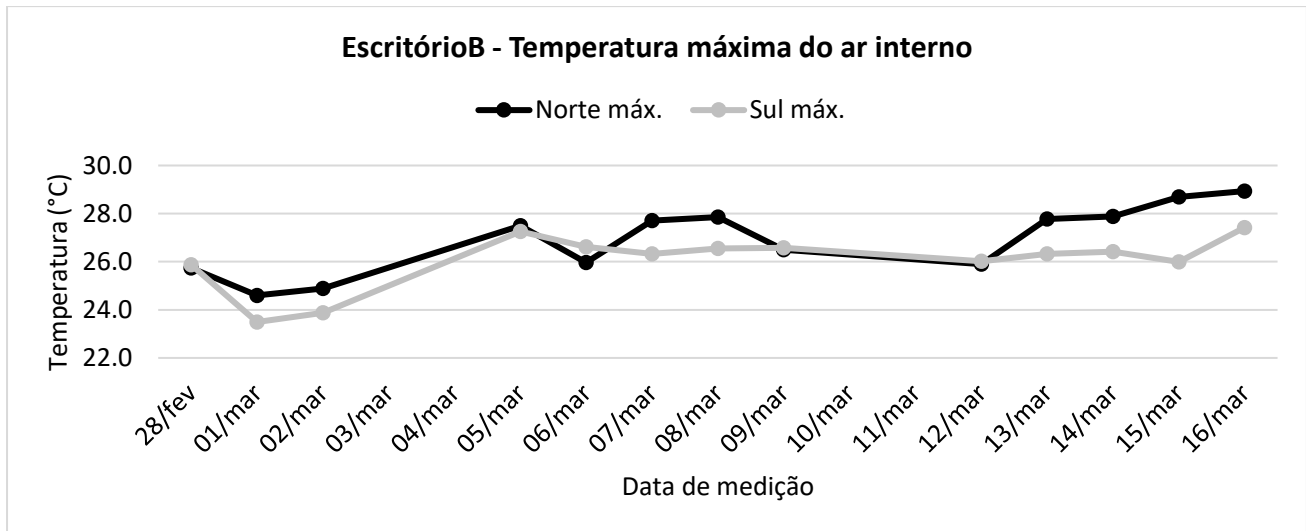
Gráfico 31. Momento de acionamento do ar condicionado no escritório A e B nas alas norte (BN) e sul (BS)



No escritório A ocorreu o acionamento no começo da manhã apenas no último dia de medição, e foi acionado por uma usuária que não estava sendo monitorada, mas que sentia muito calor, provavelmente, por conta da elevação de sua taxa metabólica gerada por sua gravidez (LUO et al., 2018b). Nos demais dias, as evaporadoras foram ligadas após o almoço ou no meio do período da tarde, próximo às 15 h, quando a temperatura atingiu de 28 a 30 °C. Nesse escritório o *setpoint* dos equipamentos foi variado entre 23 e 25 °C, predominando a temperatura de 24 °C como parâmetro de funcionamento do equipamento. Por outro lado, no escritório B, o único *setpoint* utilizado foi de 23 °C, os usuários da ala norte ativaram as evaporadoras mais vezes pela manhã, e houve um maior número de dias em que o ar condicionado já estava ligado quando a medição foi iniciada. Entretanto, a ativação na ala sul ocorreu sob temperaturas mais baixas do que na ala norte, enquanto na ala sul o AC foi ligado quando o ambiente estava sob temperatura de 25,6 a 27,7 °C, na ala norte, os equipamentos foram ligados quando a

temperatura atingiu de 26 a 29 °C. Esse aumento da temperatura de acionamento da ala norte em relação à ala sul acompanha a diferença de temperaturas máximas atingidas em cada ala. Quando comparadas as temperaturas máximas horárias do ar interno alcançadas em cada dia de medição nas duas alas, nota-se que em mais da metade dos dias de medição a temperatura do ar atingiu valores superiores na ala norte, como mostra o Gráfico 32.

Gráfico 32. Temperatura do ar máxima em cada dia de medição nas alas norte e sul do escritório B

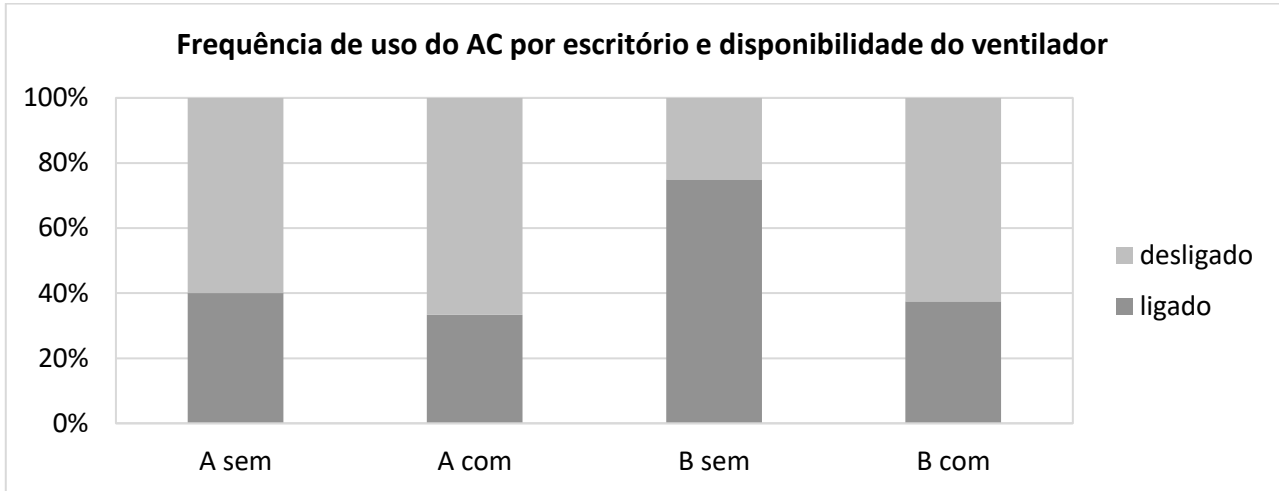


Além disso, também foi verificada grande diferença entre a operação dos sistemas entre escritório e alas no escritório B. No escritório A, quando decidido o acionar do ar condicionado, todas as janelas eram fechadas e as evaporadoras ligadas para climatizar todas as áreas ocupadas. A decisão de acionar o ar condicionado era, no geral, feita por consenso, proposta por mais de um usuário desconfortável. Apesar disso, em alguns casos, foi observada grande influência da hierarquia dos usuários na decisão: os ocupantes de maior nível hierárquico, que não estavam dispostos a usar o ventilador e sentiam calor, decidiam pelo acionamento do ar condicionado. Já no escritório B, as alas norte e sul operaram de forma independente, se uma ala estava condicionada, a outra poderia estar naturalmente ventilada. Como na ala norte há apenas um Split, a decisão de ligá-lo era feita de comum acordo, ou o equipamento era acionado pelo primeiro usuário que chegava ao ambiente pela manhã. Por outro lado, na ala Sul há mais de uma unidade evaporadora, de forma que cada usuário seja afetado mais diretamente por um equipamento e tenha praticamente, controle individual do ar que o atinge. As janelas dessa ala também costumam ser operadas pelo usuário que se sinta mais próximo. Porém, quando alguma das evaporadoras era acionada, todas as janelas da ala eram fechadas. Essas diferenças de acesso aos controles e modo de operação dos sistemas pode também afetar a frequência de uso do ar condicionado.

O Gráfico 33 mostra o percentual de períodos do dia (manhãs e tardes) em que o ar condicionado estava ligado ou desligado em A e B, durante o levantamento com e sem ventiladores. O primeiro ponto evidenciado pelo gráfico é que o ar condicionado esteve ligado em mais períodos em B, principalmente, quando os usuários não tinham acesso aos ventiladores. Quando o ar condicionado está desligado, pode ser considerado que o ambiente está sendo naturalmente ventilado (VN). O teste de hipótese mostra que há diferença significativa entre a condição média de operação do ambiente durante as respostas: com ar condicionado ligado (AC) ou desligado (VN), em A e B. Além disso, é verificada dependência entre o acionamento do AC e o local de levantamento, isso é, a identificação do escritório como A ou B. No

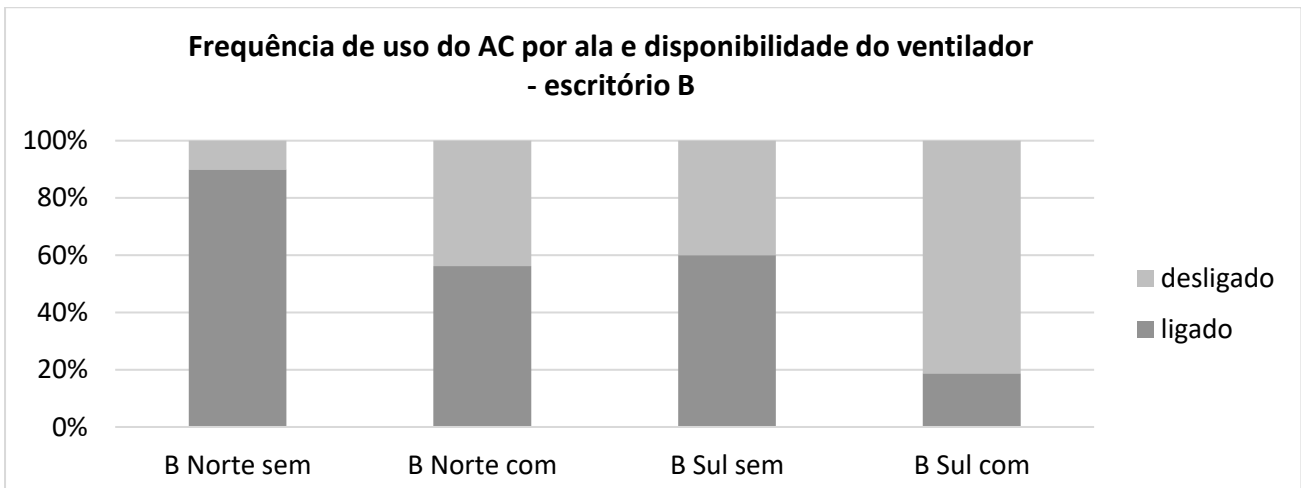
escritório A o ar condicionado foi acionado menos vezes, o que indica que a ventilação natural foi utilizada mais vezes, enquanto no escritório B, o ar condicionado foi acionado todos os dias, em pelos menos, um dos períodos do dia (manhã ou tarde) na ala norte ou sul.

Gráfico 33. Percentual de períodos dos dias de medição com acionamento de ar condicionado por momento de levantamento



Analisando o escritório B separadamente, verifica-se maior frequência de uso do ar condicionado na ala norte por períodos do dia (manhã e tarde), conforme Gráfico 34. Inclusive, é verificada diferença significativa do número de usuários com ventilador de mesa acionado entre as alas. A diferença de períodos do dia com ar condicionado ligado entre as alas é maior quando os usuários têm acesso aos ventiladores, como mostra o Gráfico 34. Porém, a diferença do número de pessoas com ventilador ligado entre as alas é significativa somente quando o ar condicionado está desligado ( $p < 0.1$ ). Isso é, apenas quando o ambiente está naturalmente ventilado é que a diferença de temperatura é suficiente para que mais usuários na ala norte acionem o ventilador.

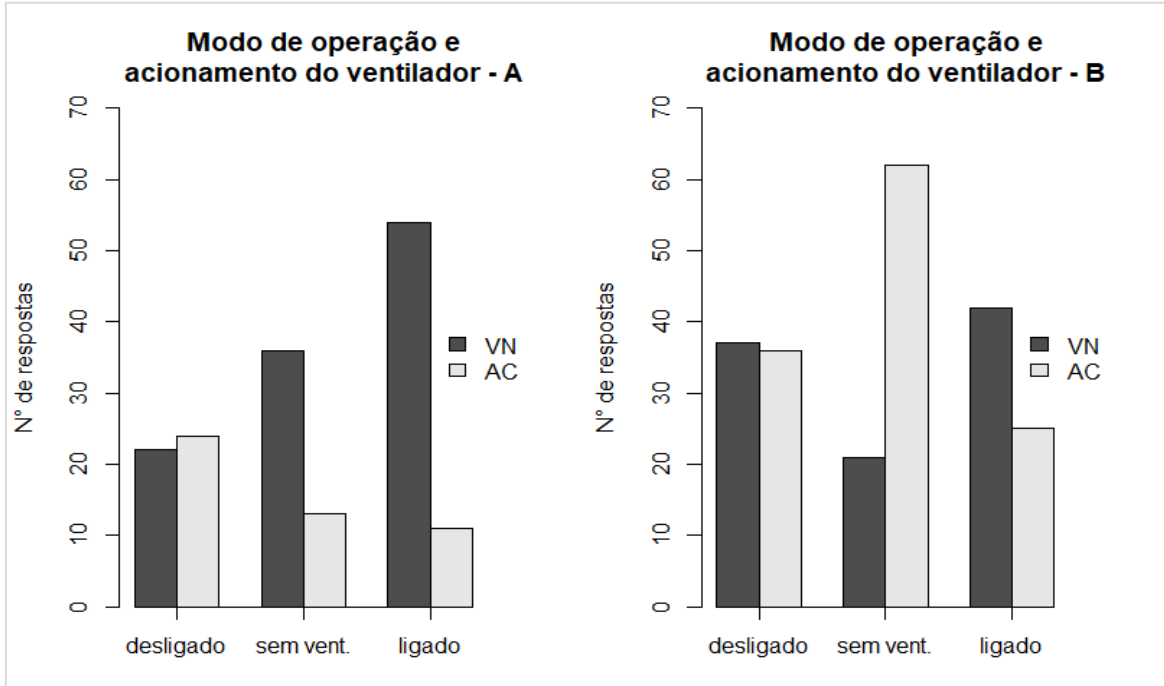
Gráfico 34. Percentual de períodos dos dias de medição com acionamento de ar condicionado por momento de levantamento nas alas do escritório B



Essa mesma relação entre o uso do AC e dos ventiladores pode ser verificada no escritório B como um todo, indicando diferença significativa entre uso dos ventiladores dependendo do modo de operação, como mostra o Gráfico 35. Por outro lado, esse gráfico mostra que não há diferença significativa entre o modo de operação com e sem ventiladores no escritório A, onde foi mais utilizada a ventilação natural

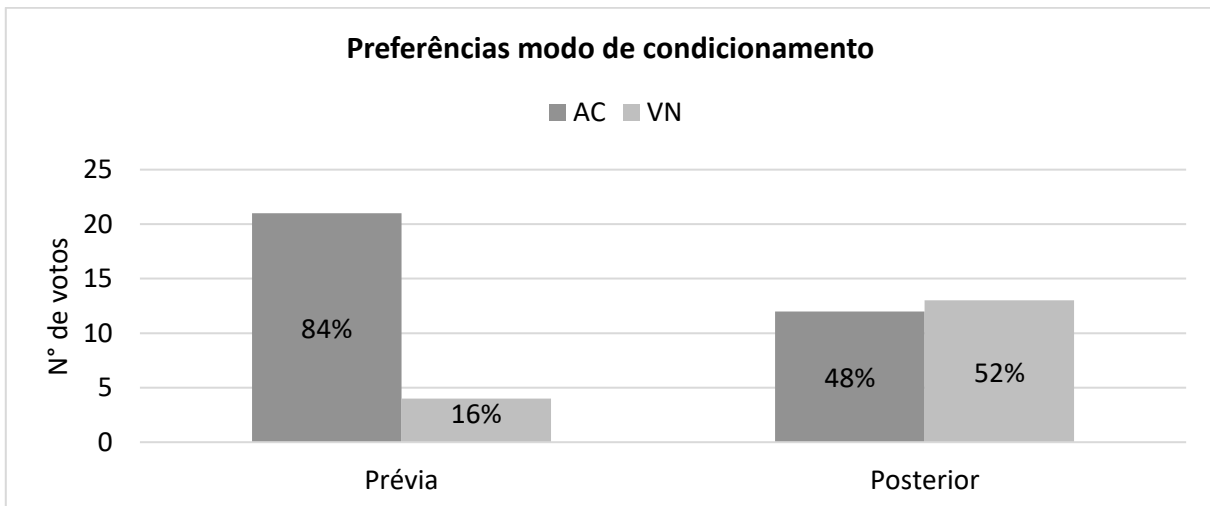
em ambos períodos. É importante ressaltar que durante o levantamento em B, houve redução significativa da temperatura externa quando os ventiladores foram disponibilizados, reduzindo a demanda de resfriamento. Entretanto o mesmo não ocorreu durante levantamento em A, as temperaturas externas não apresentaram diferenças significativas, como mostrado no item 4.2. Dessa forma, é difícil concluir se a presença dos ventiladores teve influência significativa na redução do uso do ar condicionado, ou se essa redução foi causada apenas pela redução da temperatura externa do ar.

Gráfico 35. Modo de operação, disponibilidade e acionamento do ventilador nos escritórios A e B



O teste de dependência indica que o acionamento dos ventiladores (quando disponíveis) e das evaporadoras (AC) são variáveis dependentes. Porém, a correlação linear é significativa entre essas variáveis somente no escritório A. Além disso, analisando a preferência prévia de modo de condicionamento fornecida pelos usuários no início do experimento com o número de respostas fornecidos sob cada modo de operação, verifica-se que há correlação significativa, além de dependência entre as variáveis. Isso é, a preferência prévia de cada usuário influenciou o acionamento do ar condicionado com o afetava, e o modo geral de operação dos sistemas dos escritórios.

Gráfico 36. Preferências prévia e posterior ao estudo sobre o modo de condicionamento do ambiente



Entretanto, comparando as preferências prévias e posteriores ao experimento sobre o condicionamento do ambiente, percebe-se grande diferença. O Gráfico 36 mostra que o experimento fez com que mais usuários passassem a considerar a ventilação natural preferível, principalmente quando associada à disponibilidade dos ventiladores. De todos os 26 usuários, 13 indicaram no questionário final preferirem, principalmente, a ventilação natural, 11 deles com ventiladores e, apenas 2 sem ventiladores. Porém, 12 desses usuários indicam que o uso do ar condicionado seria necessário em condições eventuais. Já os usuários que priorizam o uso do ar condicionado no verão (12 usuários), indicaram respostas variadas sobre sua associação ao ventilador de mesa: 5 preferem ter ventilador, 4 preferem não ter e dois consideram a presença do ventilador indiferente. Isso é, não há uma opinião predominante sobre a disponibilidade dos ventiladores dentre os usuários que preferem utilizar o ar condicionado. É importante ressaltar que 9 desses usuários consideram aceitável utilizar a ventilação natural em momentos eventuais.

#### 4.5.2. Ventiladores

No caso dos ventiladores de mesa, não foi possível monitorar o uso durante todas as horas do dia, de forma que o momento de ativação não pode ser identificado da forma como foi feita com o ar condicionado. Assim, foi avaliada a frequência e forma de uso dos ventiladores no momento de preenchimento do questionário, e a ativação do equipamento foi avaliada por observação e a partir das respostas do questionário final.

Como comentado no item anterior, houve diferença no padrão de uso dos ventiladores entre os escritórios. No escritório A os usuários utilizaram os ventiladores mais vezes do que no escritório B, no período em que ele estavam disponíveis, como mostra o Gráfico 37. Em torno de 50% das respostas do período em que estavam disponíveis os ventiladores estavam ligados.

Gráfico 37. Comparação entre escritório A e B: acionamento do ventilador durante período disponível



Além disso, houve grande variação na escolha da velocidade de acionamento dos ventiladores entre os usuários, nos dois escritórios. Os Gráfico 38 e Gráfico 39 mostram a frequência de escolhas por usuário, em cada um dos escritórios, durante o período em que os equipamentos estavam disponíveis. Nota-se que alguns usuários não estavam com o ventilador ligado em nenhuma das respostas, e que isso ocorre mais vezes no escritório B. Apesar da média de respostas em uso ter sido de 5 por pessoa em ambos escritórios, alguns usuários utilizaram muito mais o equipamento do que os outros. Na Tabela 20 é indicado o percentual de respostas em que o usuário estava com o ventilador ligado, os que utilizaram mais os equipamentos estão destacados em cinza. É possível verificar que os usuários 7B e A13 estavam com o ventilador ligado em todas as suas respostas, tendo 100% de uso, apesar do usuário 7B ter respondido o questionário muito mais vezes. Os outros usuários frequentes do ventilador indicaram estar

com o equipamento ligado de 86% a 89% das respostas. Por outro lado, é possível verificar que, no escritório B, além de haver mais pessoas que não estavam com o ventilador ligado em nenhuma das respostas, há também duas pessoas que estavam com ele ligado poucas vezes, em menos de 20% do total de respostas.

Tabela 20. Percentual de acionamento do ventilador por usuário.

Percentual de respostas com ventilador ligado												
A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13
86.7%	44.4%	62.5%	25%	75%	0%	25%	40%	85.7%	85.7%	33.3%	0%	100%
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13
50%	10%	35.3%	18.2%	0%	75%	100%	72.7%	0%	89%	0%	45.5%	46.7%

Dentre os usuários que utilizaram o ventilador alguma vez, há em média 57% de respostas com o equipamento ligado.

Gráfico 38. Acionamento do ventilador por usuário – escritório A

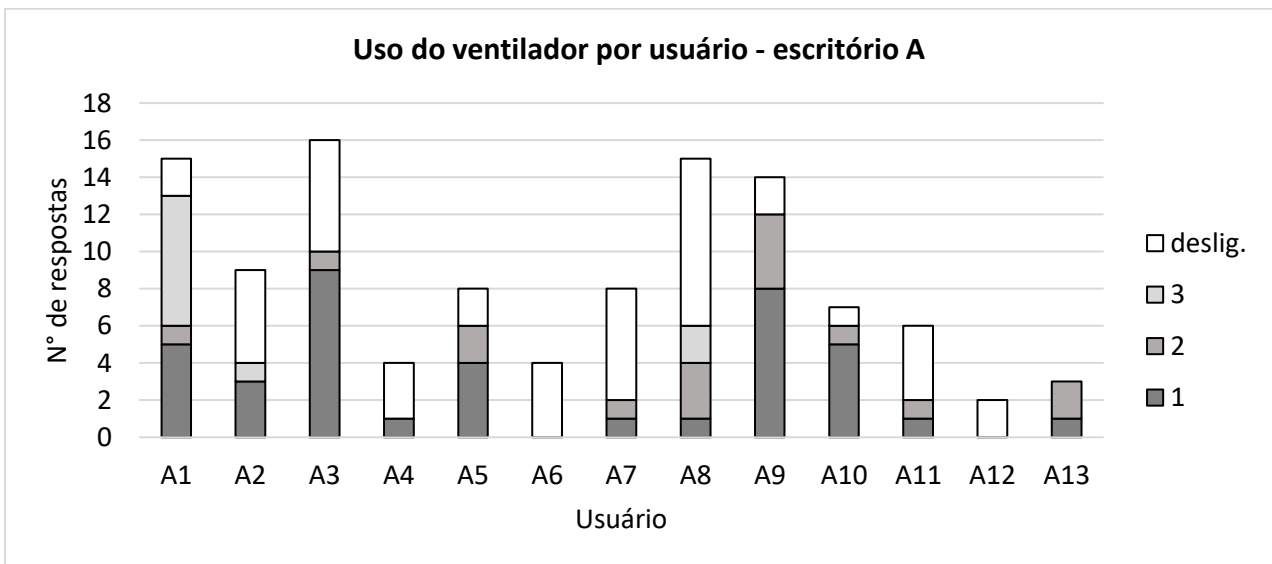
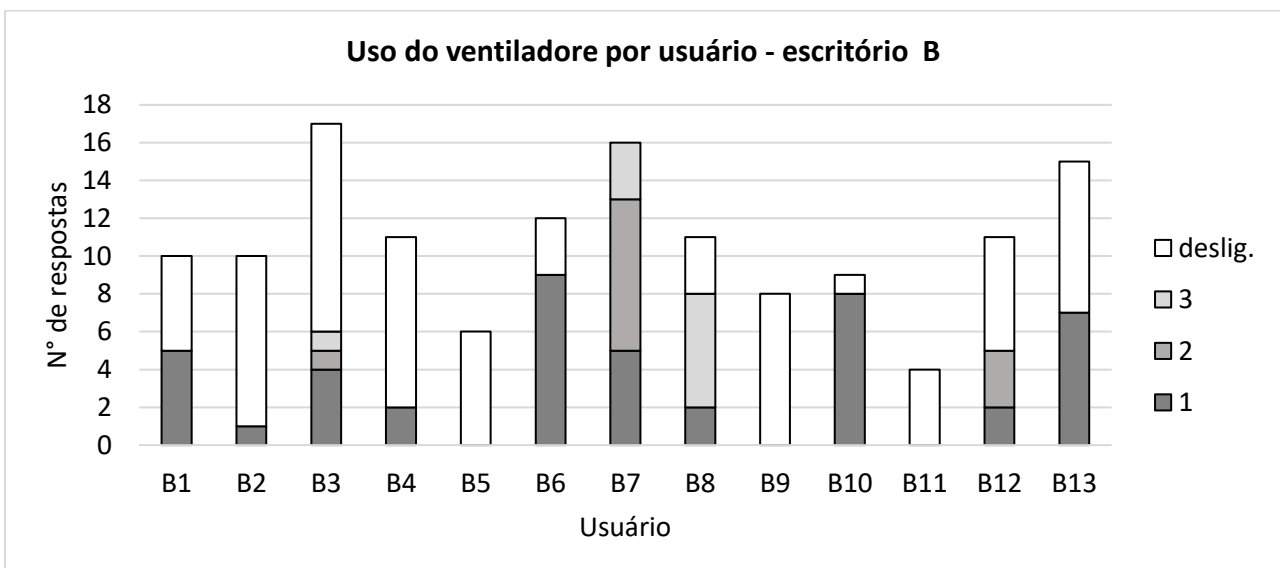
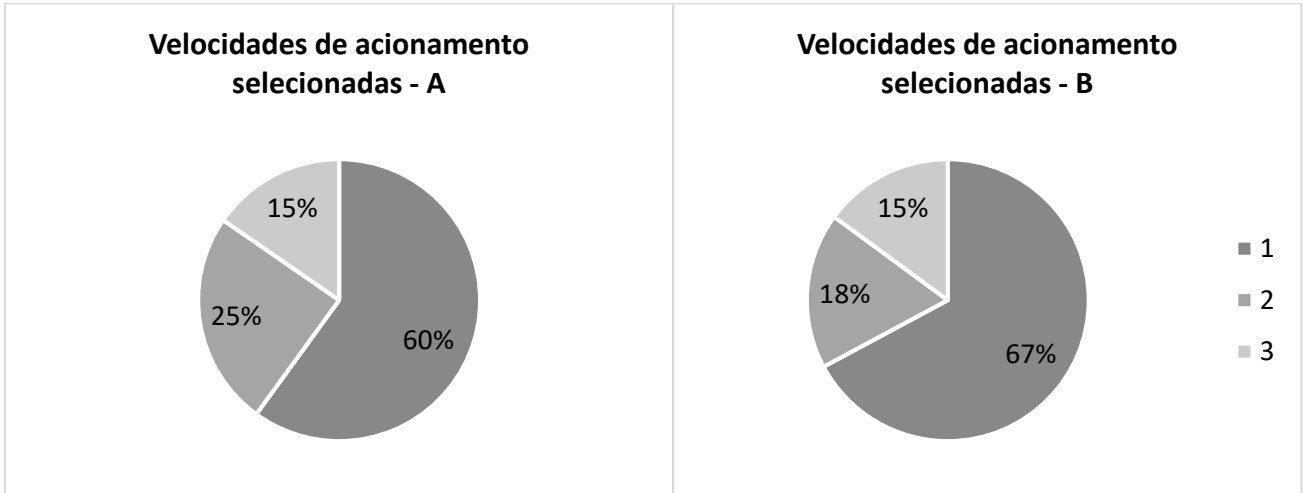


Gráfico 39. Acionamento do ventilador por usuário – escritório B



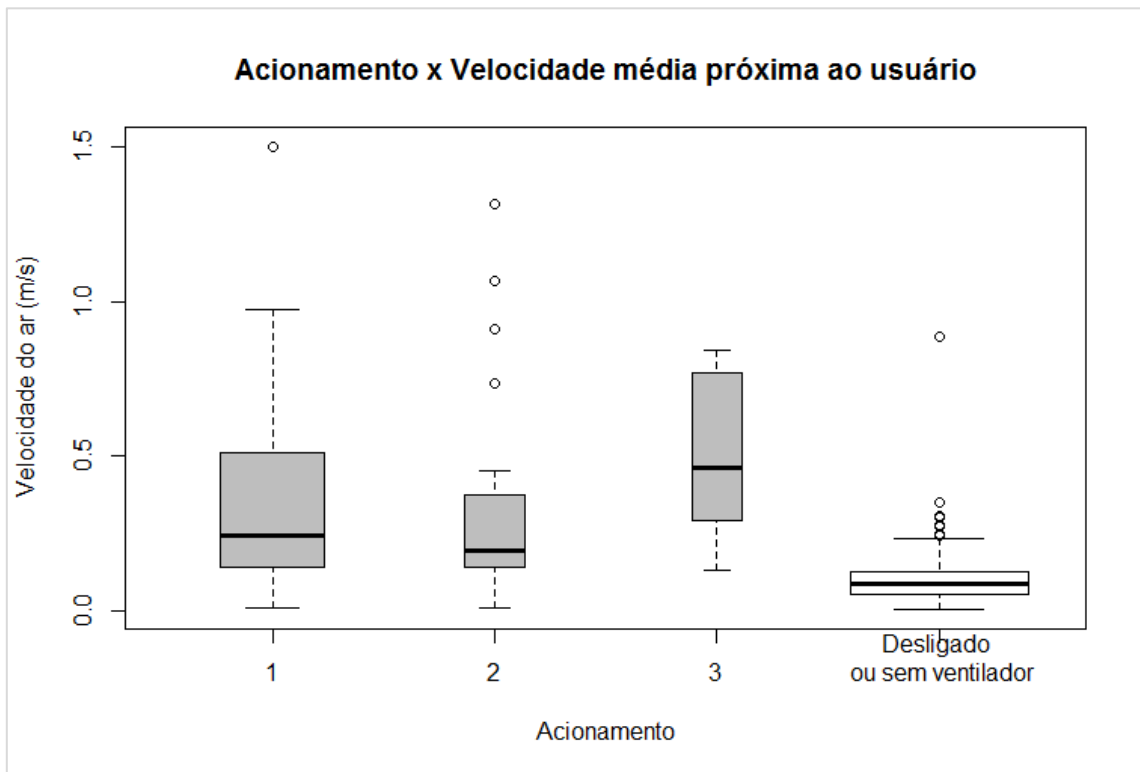
Além do mencionado, verifica-se nos gráficos anteriores que quando os ventiladores estavam ligados, nos dois escritórios houve a preferência pelo acionamento da velocidade 1. Segundo relato dos usuários, essa preferência ocorreu principalmente, por conta do ruído gerado pelo ventilador, que era menor com o acionamento na velocidade mais baixa. O Gráfico 40 confirma essa preferência, mostrando que em mais da metade dos acionamentos a velocidade 1 foi selecionada, nos dois escritórios.

Gráfico 40. Comparação entre escritório A e B: Velocidade selecionada



Apesar do aumento da velocidade de acionamento aumentar o movimento do ar produzido pelo ventilador, nem sempre esse incremento se refletiu no aumento da velocidade do ar próxima ao corpo do usuário. O Gráfico 41 mostra que a velocidade predominante do ar medida próxima ao usuário quando a opção de ativação 2 foi selecionada é inferior à velocidade predominante com a seleção da 1.

Gráfico 41. Velocidade de acionamento versus velocidade próxima ao usuário

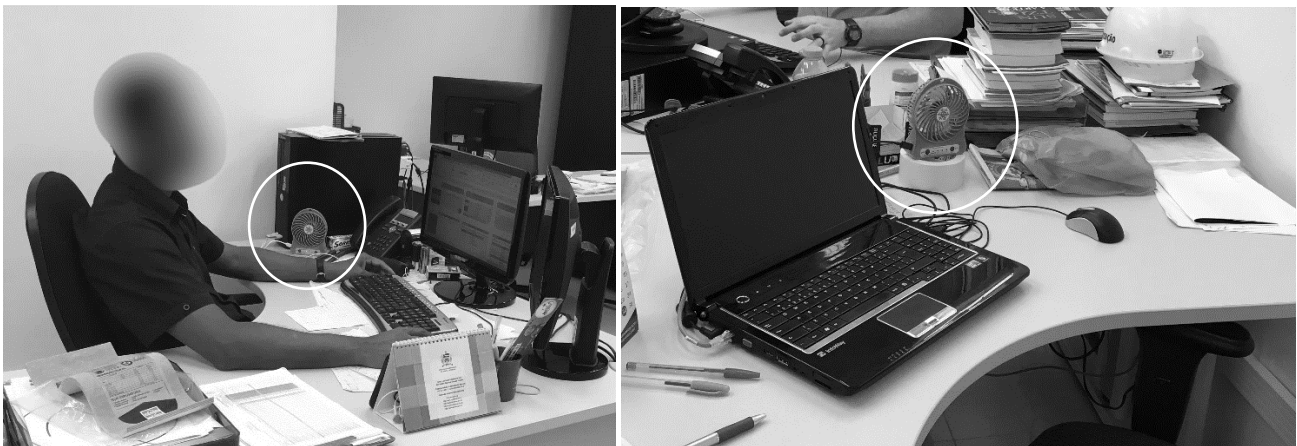


É verificada diferença significativa apenas entre a velocidade média na posição 1 e 3 ou 2 e 3. Apesar disso, as três velocidades de acionamento resultaram no incremento da velocidade do ar próxima ao usuário se comparado ao medido quando o ventilador estava desligado ou não disponível. Há diferença significativa entre qualquer uma das velocidades de acionamento e a velocidade média do ar quando não havia ventilador, ou ele estava desligado. A amplitude de variação de velocidades gerada com a escolha de uma mesma seleção ocorre por conta da posição do ventilador e sua distância do corpo. Cada usuário posicionou o ventilador conforme sua escolha, podendo inclusive variar essa posição ao longo do dia, de acordo com sua preferência. No geral, a escolha de posição se deu em função da limitação de espaço livre sobre a mesa de trabalho, e a posição da torre de processamento, onde era conectado o cabo de energia. Abaixo, na Figura 17, são mostradas duas posições em que um mesmo usuário utilizou o ventilador. Posteriormente, esse usuário modificou a posição novamente porque, segundo ele, o ventilador estava fazendo seus papéis voarem.

*Figura 17. Posições diferentes do ventilador em um mesmo posto de trabalho*



*Figura 18. Posições diferentes do ventilador em diferentes postos de trabalho*

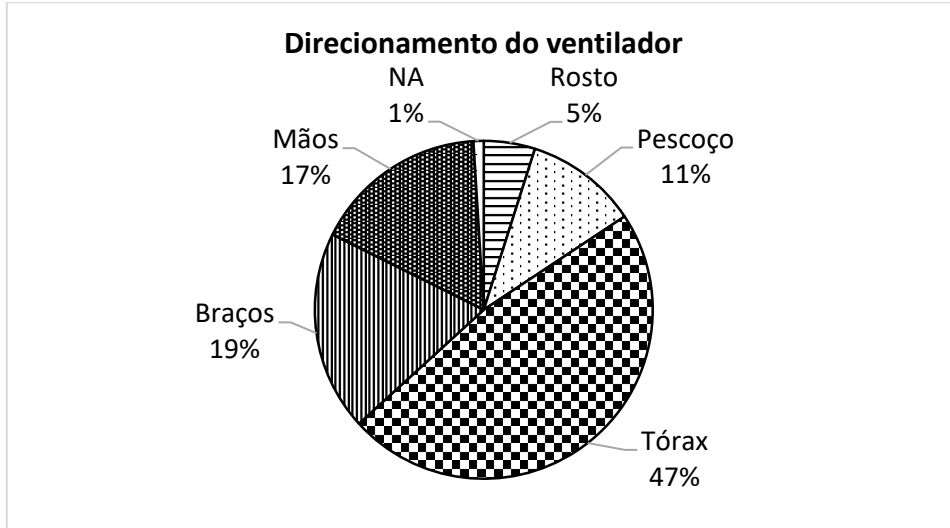


Na Figura 18 é possível ver que alguns usuários utilizaram o ventilador não à frente de seu corpo, mas na lateral, e alguns inclusive utilizaram suportes para erguer o ventilador. Essa vontade de erguer o aparelho se relaciona com o ponto atingido pelo ar. Segundo respostas fornecidas pelos usuários por meio do questionário principal, os ventiladores atingiram, principalmente, o tórax e em segundo lugar, os braços e as mãos, como mostra o Gráfico 42. É interessante notar que apesar da expectativa de que o rosto fosse atingido, esse foi o ponto com menor frequência de indicação, o vento no pescoço foi mais



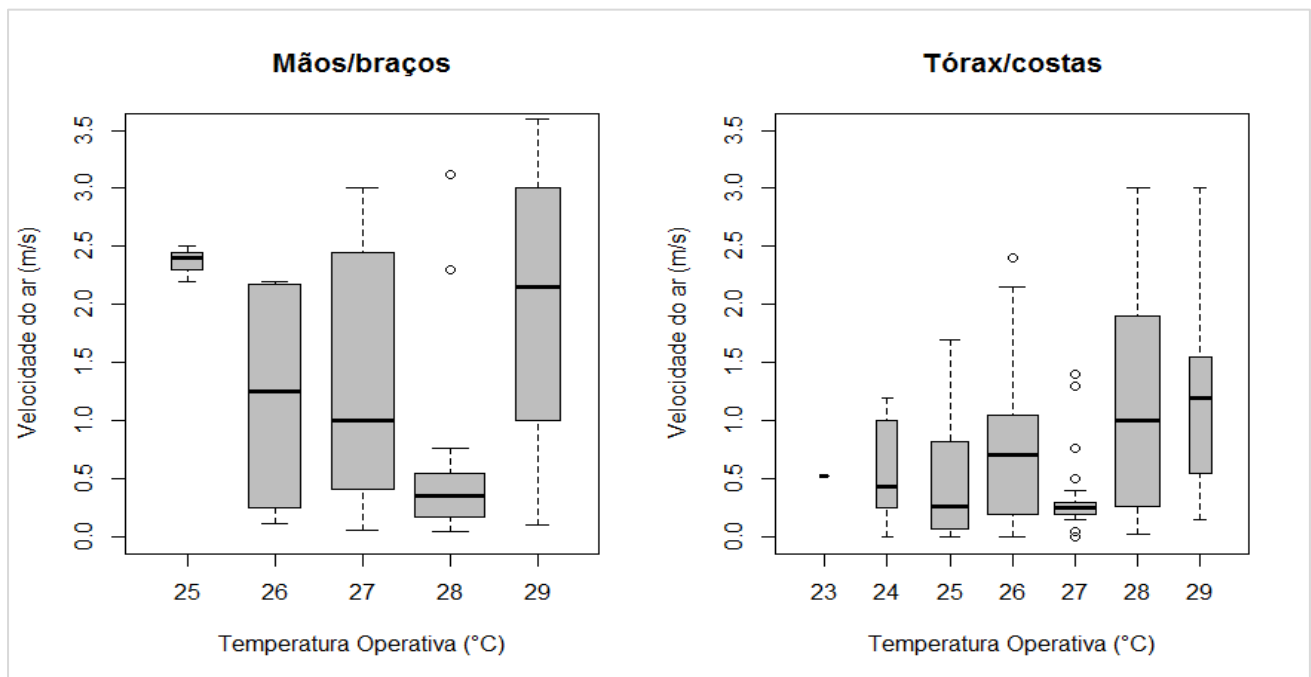
relatado. As respostas “NA” que têm baixa ocorrência, se relacionam aos casos em que os usuários não direcionaram o ventilador para si, movimentando o ar do ambiente próximo, sem efeito direto sobre um ponto do corpo.

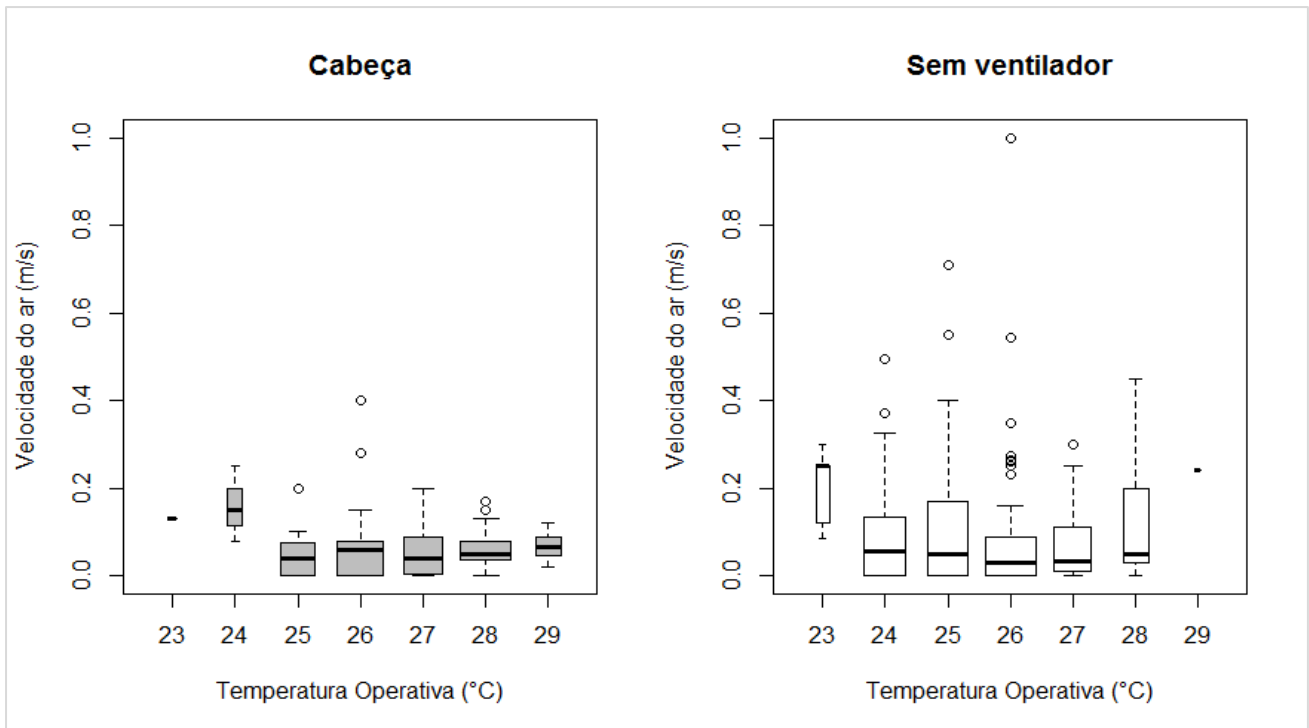
Gráfico 42. Direção do ventilador ao corpo indicado pelos usuários



O Gráfico 43 mostra a velocidade do ar medida em cada ponto do corpo em função da temperatura operativa do ambiente. A indicação do Gráfico 42, fornecida pelos usuários, coincide com o que foi medido. O Gráfico 43 torna visível que o ventilador tem pouco efeito sobre a cabeça dos usuários, aumentando a velocidade do ar principalmente sobre as mãos e o tórax. As velocidades medidas próximo à cabeça são semelhantes às velocidades do ar medidas quando os usuários não possuíam ventiladores. Essas velocidades foram medidas com o termo anemômetro, então correspondem à velocidade do ar ambiente, mas também às velocidades geradas pelo ar condicionado ou ventilação natural.

Gráfico 43. Velocidade do ar medida por parte do corpo com ventiladores acionados e sem ventiladores, em relação à variação da temperatura operativa

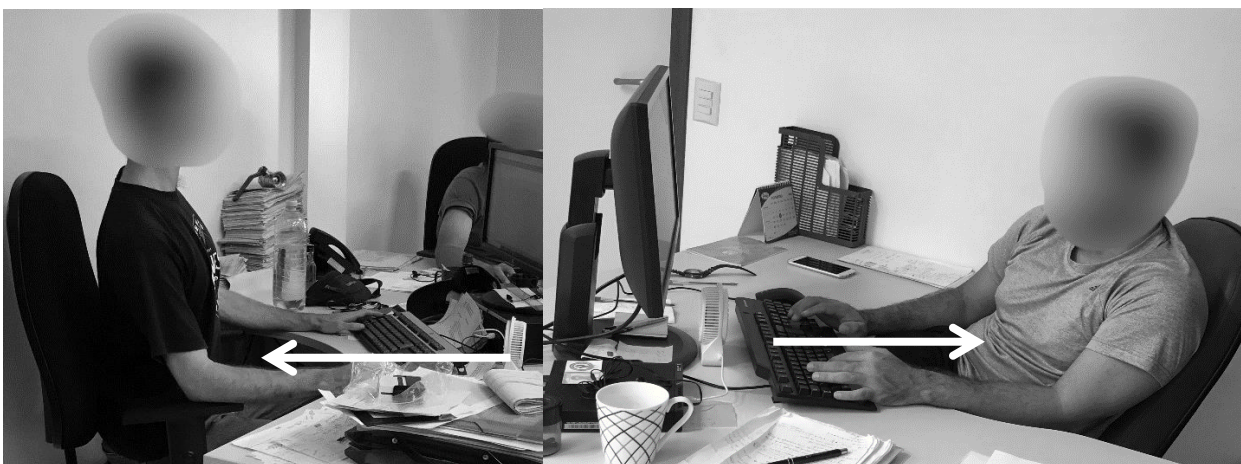




A velocidade do ar intensificada nas mãos e braços decorre do posicionamento lateral do equipamento, como no caso da Figura 18, fazendo com que o ar atinja essas partes do corpo por estarem mais próximas do ventilador. Além disso, quando posicionado à frente do usuário, os ventiladores também ficam próximos às mãos dos usuários quando posicionadas sobre o teclado. Por outro lado, conforme indicado pelo campo de velocidades do ventilador mostrado no apêndice D, a uma altura 10 cm superior ao eixo do ventilador as velocidades do ar já são muito baixas, em torno de 0,05 m/s, se tornando imperceptíveis. Isso é, o ventilador aumenta a velocidade do ar principalmente no eixo horizontal, a uma altura de 10cm de sua base. Dessa forma, o vento atinge principalmente a região do tórax e abdômen, dependendo da altura e postura da pessoa, como ilustra a Figura 19. O ventilador não possui sistema de rotação vertical, o que impede que o ar seja direcionado para a face.

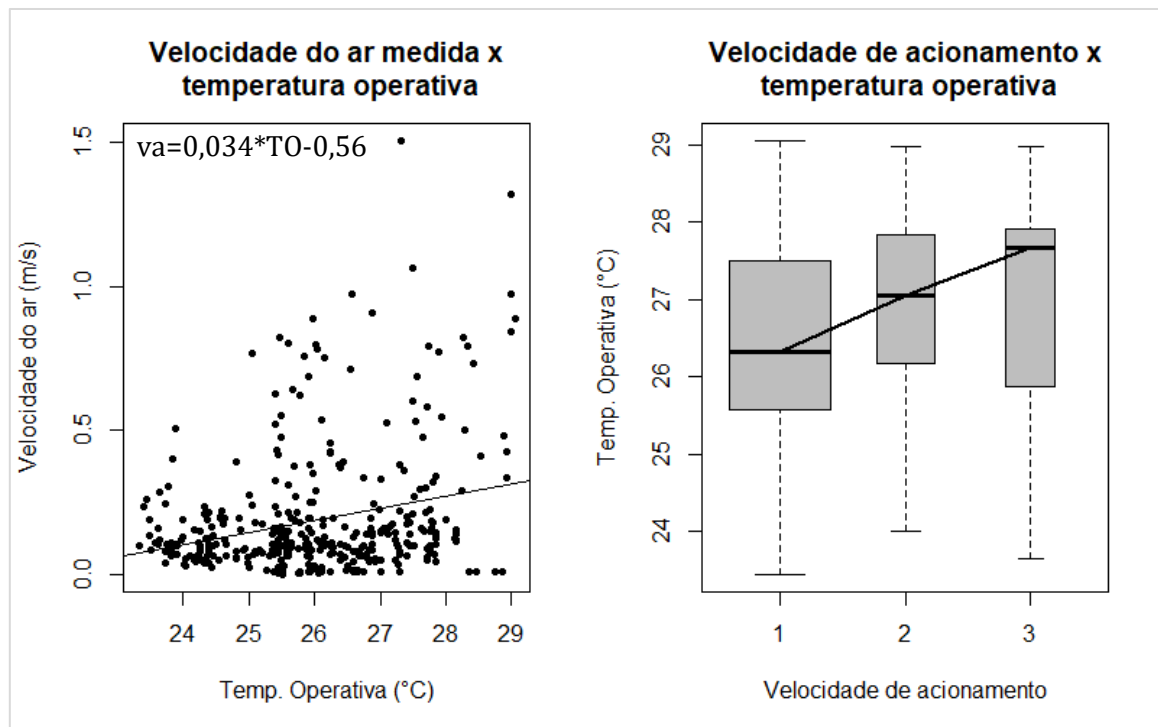
Apenas em um caso o usuário direcionou o ventilador para suas costas, posicionando-o sobre uma prateleira atrás de si. Este usuário comentou que achou essa posição ideal, pois o ventilador não ocupava espaço sobre sua mesa e permitia que o vento atingisse sua cabeça.

Figura 19. Direção do vento gerado pelos ventiladores



Além disso, o Gráfico 43 indica uma leve tendência de aumento da velocidade em função do aumento da TO, visível principalmente nas medições sobre o tórax. Quanto maior a velocidade do ar, mais forte é essa relação, pois no gráfico de velocidades do ar sem ventilador, e no que mostra as velocidades do ar sob a cabeça, essa correlação não é significativa. Realizando a análise estatística constata-se que a correlação entre a velocidade média do ar e a temperatura operativa só é significativa quando o ventilador está ligado ( $r=0,25$ ,  $p<0,05$ ). Além disso, quando ele está ligado, verifica-se que a seleção da velocidade varia de acordo com a temperatura ambiente, aumentando conforme a temperatura sobe, como mostrado à direita do Gráfico 44:

Gráfico 44. Velocidade do ar e de acionamento em função da temperatura operativa do ambiente



Além dos resultados avaliados, observou-se que o acionamento dos ventiladores ocorreu, principalmente, na chegada ao posto de trabalho e que muitas vezes, após aclimação e estabilização da taxa metabólica, eles eram desligados. Assim, o uso do equipamento durante o experimento provavelmente foi maior do que o registrado, já que era solicitado o preenchimento dos questionários 30 minutos após a chegada ao posto de trabalho. Esse uso pontual foi também indicado no questionário final, verificando-se que os usuários apontaram esse como o motivo principal para o acionamento dos ventiladores: refrescar ao chegar, conforme mostra o Gráfico 45. Esse uso no momento da chegada foi sugerido durante o experimento com o intuito de conscientizar os usuários sobre o efeito do equipamento e incentivar seu uso antes do acionamento do ar condicionado, já que esse era um elemento novo ao qual não estavam habituados. Alguns usuários comentaram ter dificuldade de definir como se sentiam termicamente por não terem o costume de refletir sobre o assunto. Apesar disso, comentaram que puderam perceber que o ventilador permitia, de fato, a rápida redução do desconforto por calor. Por conta disso, o segundo motivo para o acionamento citado foi para reduzir a sensação de calor, como mostra o Gráfico 45. Esse foi também o efeito mais reconhecido pelos usuários na questão 4, pois um grande número de pessoas concordou com a afirmação de que o ventilador reduz a sensação de calor, como mostra o Gráfico 46. O terceiro motivo de acionamento coincide com os votos de preferência do movimento do ar: o ventilador permite o ajuste, o que aumenta a satisfação dos usuários. Por outro lado,

o Gráfico 46 mostra que houve menor concordância com a afirmação de que o ventilador melhora a qualidade do ar, indicando que pouca melhora foi percebida, nesse aspecto.

Gráfico 45. Motivos apontados para acionamento dos ventiladores

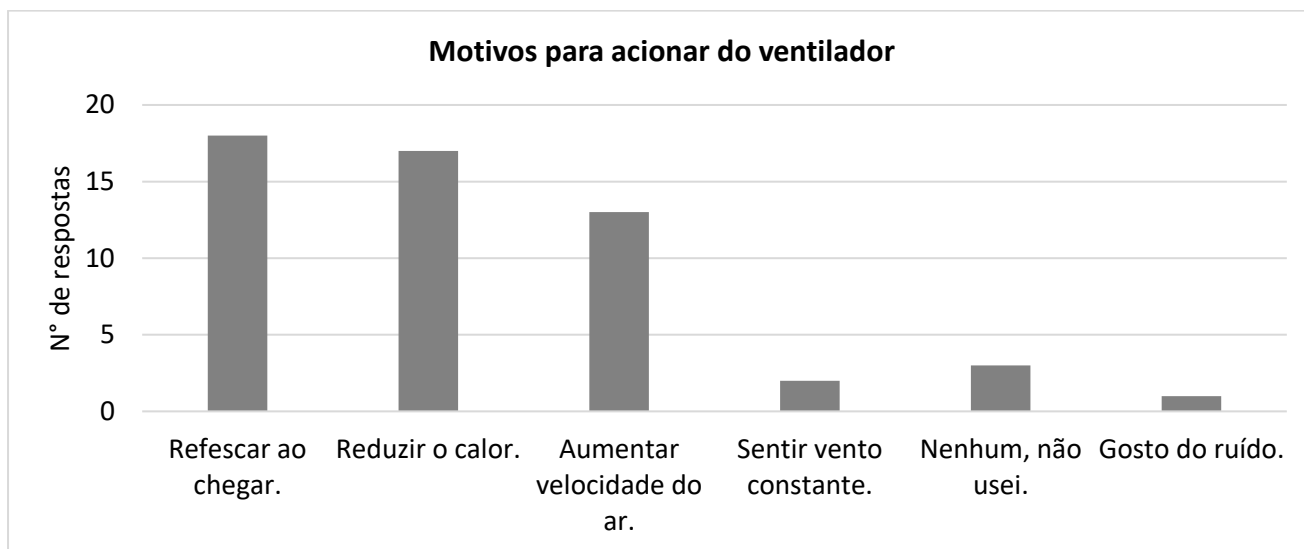
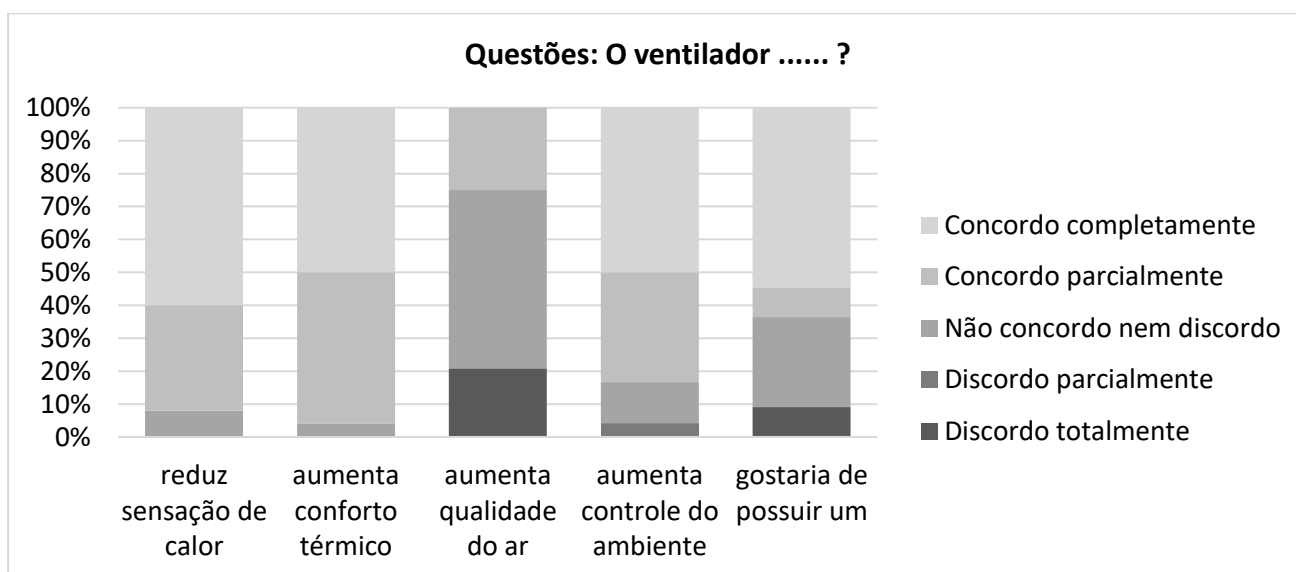


Gráfico 46. Avaliação do efeito e satisfação com o ventilador



A maioria dos usuários concordou total ou parcialmente que os ventiladores permitem aumentar o controle das condições do ambiente. Entretanto, apenas metade dos usuários gostaria de possuir mais controle do ambiente. Como formas de aumentar o controle, os usuários podiam selecionar: controle individual das janelas, dos equipamentos de ar condicionado ou possuir um ventilador. Todas as opções receberam o mesmo número de votos, e a maioria dos usuários que queriam mais controle, assinalaram todas as opções. Assim, metade dos usuários indicou não precisar do ventilador para aumentar seu controle, porém, mais da metade indicou que gostaria de possuir um ventilador de mesa. Dessa forma, nota-se que nem todos os usuários que perceberam os benefícios do ventilador os associaram ao aumento da controlabilidade do ambiente.

Relacionando o acionamento dos sistemas à variação de temperatura externa diária do ar é possível verificar que houve um incremento no percentual de ventiladores acionado conforme a temperatura externa aumentou, como mostra o Gráfico 47. Porém, após 26 °C o percentual de

ventiladores ligados se tornou constante e, quando o acionamento do ar condicionado predominou (ultrapassa 60%), houve um decréscimo no percentual de pessoas com o ventilador ligado. Porém, considerando o acionamento em relação à variação da temperatura interna operativa, percebe-se que houve uma relação direta, conforme a temperatura interna aumentou, cresceu o número de ventiladores ligados, como mostra o Gráfico 48. Como o ar condicionado (AC) reduz bruscamente a temperatura, a elevação de TO no gráfico para temperaturas acima de 27,5 °C, provavelmente corresponde às condições onde o AC está desligado, já que essa foi sua temperatura média de ativação. Também é possível verificar que a partir dessa temperatura, o percentual de ventiladores ligados estabiliza em torno de 80%. Esse resultado se assemelha ao apresentado no estudo de Nicol (2001).

Gráfico 47. Tendência de acionamento dos sistemas em relação à temperatura externa média do ar

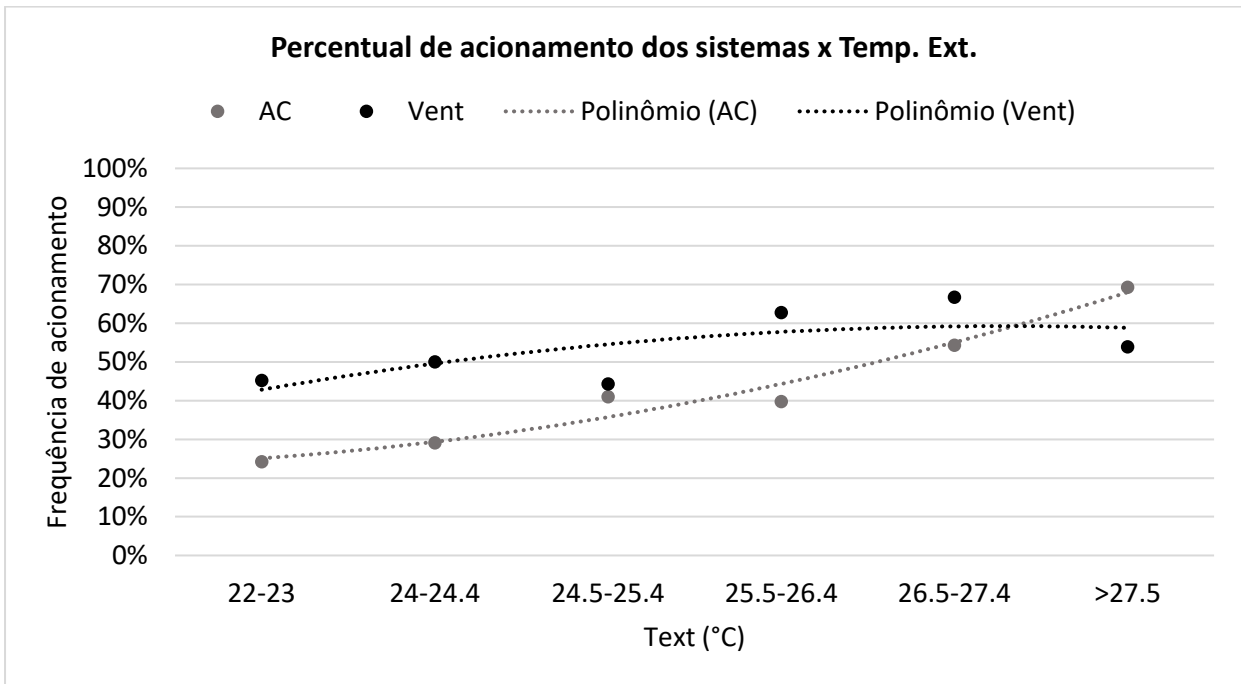
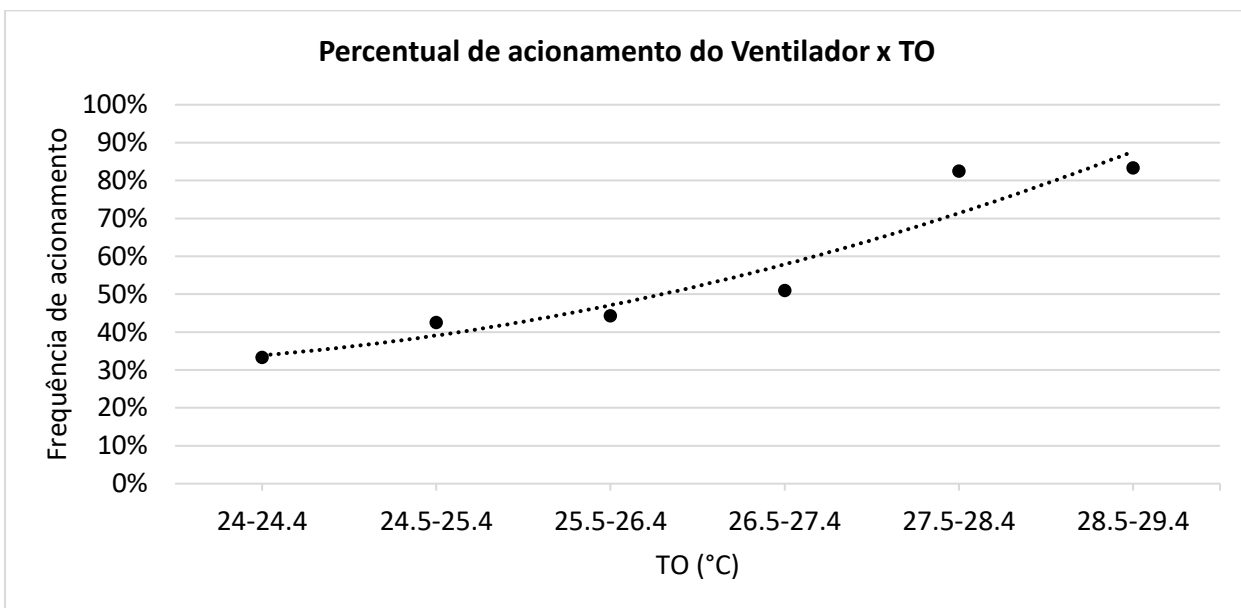


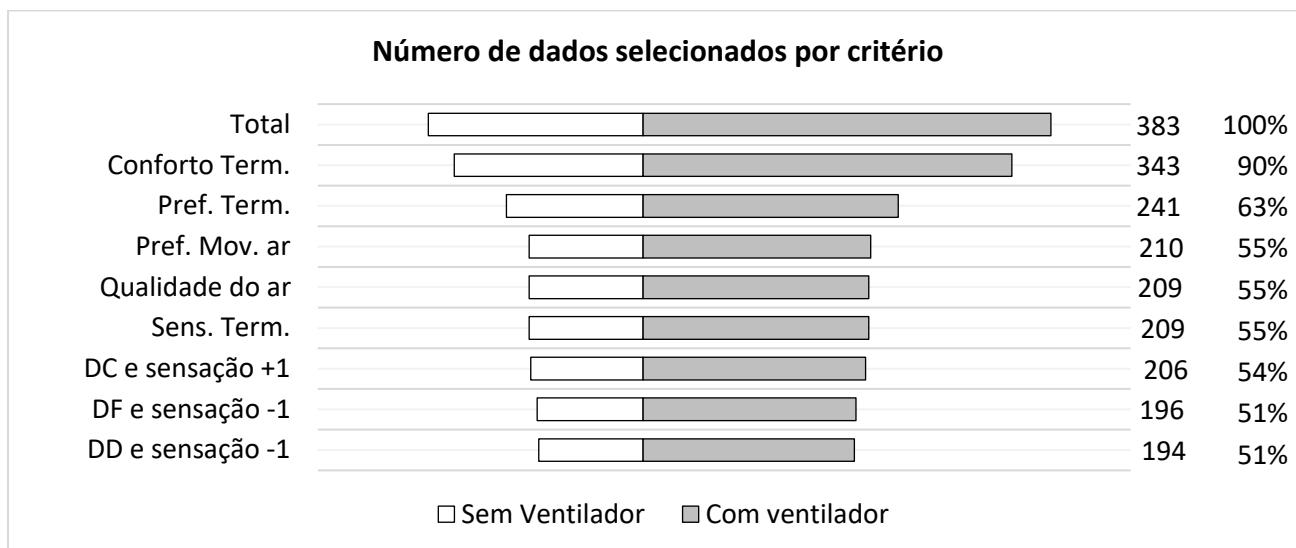
Gráfico 48. Tendência de acionamento dos ventiladores em relação à temperatura interna operativa



#### 4.6. Condições de conforto e satisfação térmica

Conforme indicado no item 3.5.4., para analisar as condições de satisfação térmica dos usuários foi proposta a seleção das condições do ambiente a partir das percepções e preferências térmicas dos usuários. Assim, o Gráfico 49, indica o número total de respostas resultante da aplicação de cada um dos filtros propostas, de forma cumulativa.

Gráfico 49. Seleção dos dados conforme critérios de preferência e conforto térmico



Dessa forma, dos 383 questionários coletados, em 194 as condições atendem a todos os requisitos estabelecidos. Isso é, 50,6% das respostas, aproximadamente, indicaram que as condições do ambiente no momento de preenchimento eram totalmente confortáveis e satisfatórias do ponto de vista térmico. Em relação à disponibilidade do ventilador, os critérios aplicados resultam na redução proporcional dos dois lados do gráfico, mantendo a proporção de respostas praticamente igual à inicial, onde 66% dos questionários foram aplicados quando os equipamentos estavam disponíveis e 34% sem ventiladores. Os valores médios de temperatura, umidade, velocidade ar, CLO e MET das condições ideias são próximos ao das condições gerais do levantamento. Isso é, não há diferenças marcantes entre os valores da Tabela 16 e da Tabela 21, mostrada a seguir. A variável que apresentou maior diferença foi a velocidade média do ar, principalmente, no valor máximo que de 1,5 passou a ser 1,07 m/s. O valor médio, desvio padrão e a mediana são também ligeiramente inferiores.

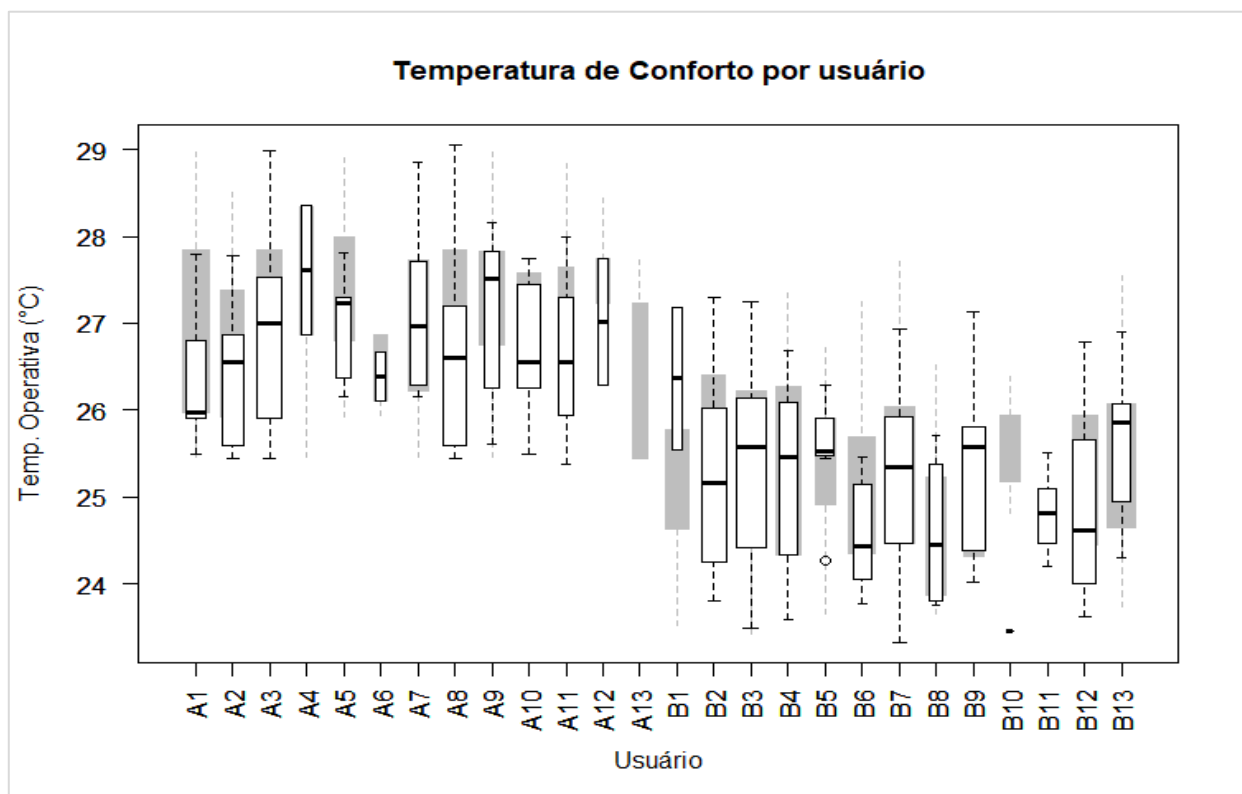
Tabela 21. Síntese das condições de satisfação térmica

	<b>Tar</b>	<b>Tr</b>	<b>TO</b>	<b>SET</b>	<b>UR</b>	<b>Va</b>	<b>MET</b>	<b>CLO</b>
	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(%)	(m/s)	(met)	(clo)
<b>Máximo</b>	29,5	28,5	29,1	32,0	86	1,07	0,93	2,0
<b>Média</b>	25,8	25,8	25,8	25,1	58	0,17	0,52	1,1
<b>Desv. P.</b>	1,5	1,1	1,2	1,9	8	0,19	0,15	0,1
<b>Mediana</b>	25,8	25,9	25,9	25,0	59	0,10	0,61	1,0
<b>Mínimo</b>	22,4	23,3	23,3	21,0	43	0,00	0,34	1,0

#### 4.6.1. Influência das variáveis pessoais sob as condições de satisfação térmica

As condições do ambiente que geraram satisfação plena podem variar em função das características pessoais e antropométricas dos usuários. O Gráfico 50, apresentado a seguir, indica as temperaturas consideradas satisfatórias para cada usuário, dos dois escritórios. As hachuras em cinza indicam a variação de TO a que o usuário esteve exposto durante o levantamento, e a largura das barras varia com relação à quantidade de respostas coletadas. O gráfico mostra que há grande variabilidade de preferência entre usuários, mas que há uma diferença maior entre as temperaturas de conforto do escritório A e B. Essa diferença, porém, acompanha as condições de exposição, que também divergem entre escritórios. Assim, é verificada diferença significativa entre as temperaturas operativas médias de conforto térmico nos dois escritórios: 26,5 °C em A e 25,1 °C em B. Porém, não é possível deduzir que elas se relacionam a uma diferença de perfis dos usuários de cada escritório, já que há também diferença significativa entre as temperaturas internas operativas verificadas durante cada um dos levantamentos. A análise de dependência pelo método do qui-quadrado indica que a TO de conforto tem dependência significativa com as condições externas médias ( $p < 0,01$ ), e também com a identificação do escritório ( $p = 0,05$ ). Assim, para reduzir essa influência das condições externas durante os levantamentos, as condições de conforto térmico serão analisadas separadamente, em A e B.

Gráfico 50. Temperaturas operativas consideradas confortáveis para cada usuário



Verifica-se também, pelo Gráfico 50, que para o usuário 13 do escritório A nenhuma das temperaturas operativas do ambiente atendeu aos critérios propostos. Também para o usuário 10 do escritório B, pouquíssimas condições atenderam aos requisitos, apenas as temperaturas mais baixas. Por outro lado, os usuários A4 e B11 consideraram adequadas praticamente todas as condições a que estiveram expostos. De modo geral, os usuários consideram confortáveis temperaturas levemente inferiores às que estiveram expostos, dado que as barras das condições preferidas estão abaixo das barras em cinza, porém isso não ocorre com todos os usuários. Para o usuário um do escritório B, as condições que atendem os critérios listados se concentram em temperaturas mais altas, próximas às

preferidas pelos usuários do escritório A. Apesar dessa variação entre usuários, não foi encontrada relação significativa de dependência entre a temperatura operativa de conforto térmico e a identidade dos usuários. Isso é, a individualidade não é um fator que define a temperatura considerada confortável. Analisando a correlação dos fatores antropométricos e pessoais dos usuários em cada escritório, com as temperaturas operativas, nota-se que não há correlação significativa com quase nenhum das variáveis, como mostra a Tabela 22:

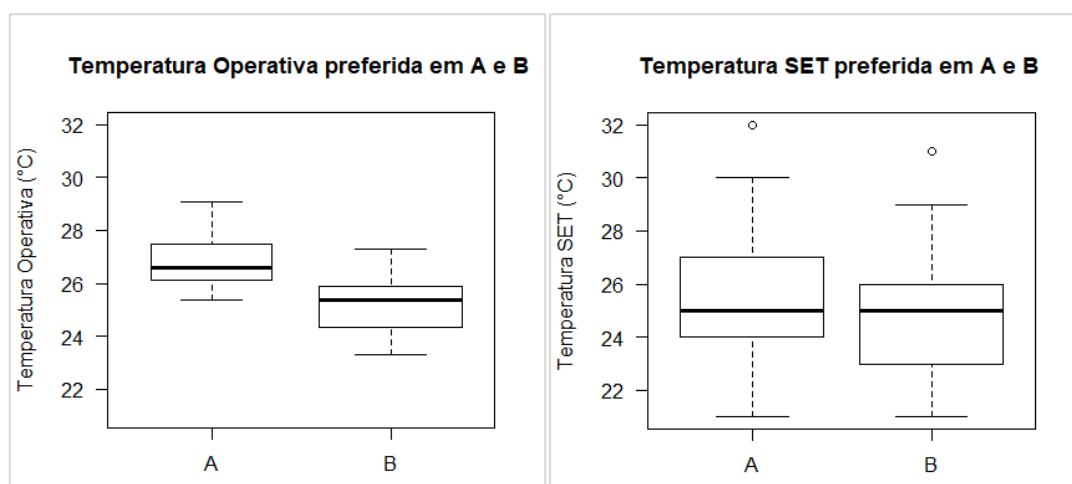
Tabela 22. Significância da correlação linear entre temperaturas de conforto e as variáveis pessoais

Variáveis pessoais	Valor de p			
	TO		SET	
	A	B	A	B
<b>CLO</b>	0,5	0,65	<0,01	<0,01
<b>MET</b>	0,8	0,28	0,05	<0,01
<b>Faixa etária</b>	0,7	0,6	0,96	<0,01
<b>IMC</b>	0,67	0,36	0,05	<0,05
<b>Gênero</b>	0,19	0,62	<0,01	=0,1
<b>Tempo de ocupação</b>	0,87	<0,10	<0,05	0,12
<b>Pref. Prévia modo de operação</b>	0,2	NA	<0,01	NA

É verificada correlação significativa apenas entre o tempo de ocupação e as TO de conforto térmico no escritório B, onde as pessoas que ocupam o espaço há mais tempo tendem a preferir temperaturas mais altas. Porém, como mostrado no Gráfico 6, a maioria dos usuários do escritório B ocupa o espaço a mais de 1 ano, tornando essa tendência pouco expressiva. Com relação à preferência prévia ao modo de operação, não há significância estatística em A, e em B não é possível comparar, pois 100% dos usuários preferem ar condicionado, de forma, não há variação.

Por outro lado, quando as mesmas análises são realizadas em relação às temperaturas SET, a maioria dos fatores apresenta correlação significativa, como mostra a Tabela 22. Comparando as temperaturas operativas (TO) e SET de conforto térmico dos escritórios A e B, como mostra o Gráfico 51, verifica-se que há maior diferença entre as medianas das temperaturas operativas. No caso das temperaturas SET, as medianas coincidem, predomina a temperatura SET de 25 °C nos dois escritórios. Já as temperaturas médias não são as mesmas, a temperatura média SET de conforto em A é de 25,7 °C e em B 24,7 °C. O Gráfico 51 também mostra que a amplitude de variação das temperaturas SET de conforto térmico é maior do que a variação das temperaturas operativas.

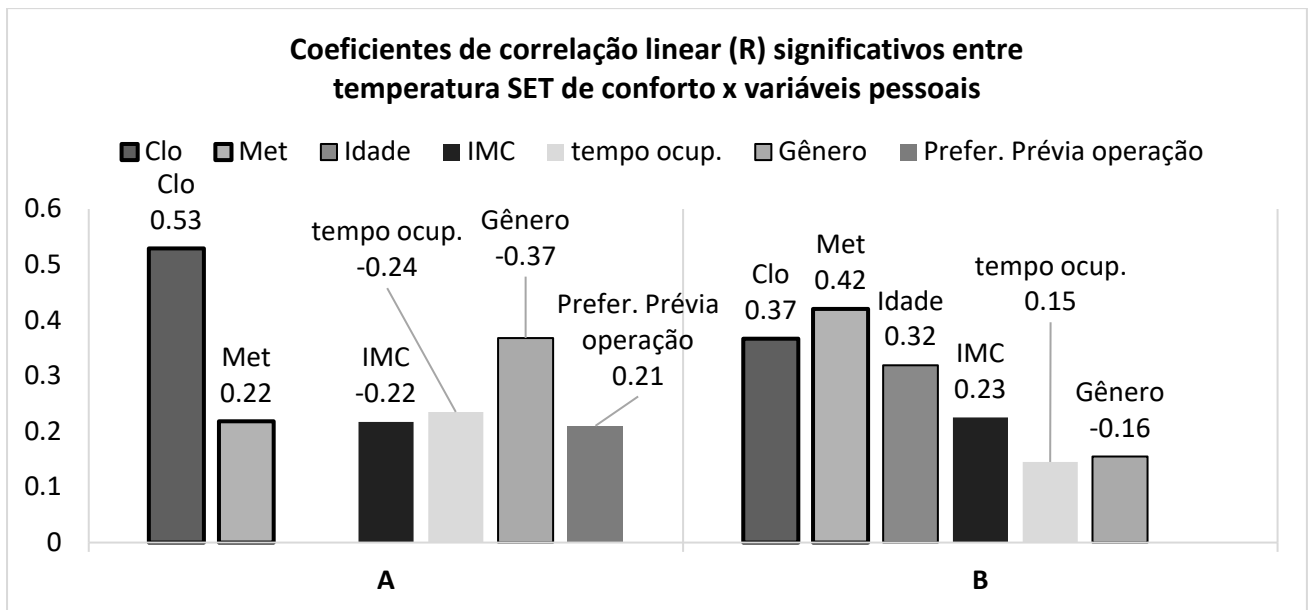
Gráfico 51. Temperaturas SET confortáveis para cada usuário





Apesar de menor, a diferença entre as médias SET é significativa e existe uma relação de dependência entre a temperatura e o escritório. Porém, diferente da temperatura operativa, há também dependência entre a temperatura de conforto e a identidade do usuário, indicando que a individualidade é significativa. A Tabela 22 mostra que há correlação significativa com o isolamento da vestimenta, a taxa metabólica, o IMC e o gênero, nos dois escritórios. Além de, correlação significativa com a idade, no escritório B e, com a preferência prévia de modo de operação e o tempo de ocupação no A. Isso decorre principalmente, do fato de o cálculo de SET incluir um maior número de fatores ambientais, além de dois fatores pessoais: o isolamento da vestimenta (CLO) e a taxa metabólica (MET). As variáveis com as quais a temperatura SET não tem correlação significativa apresentaram baixa variabilidade, como é o caso da faixa etária dos usuários do escritório A e o tempo de ocupação no escritório B.

Gráfico 52. Coeficientes de correlação entre a temp. SET preferida e demais variáveis pessoais



Comparando os fatores de correlação (R) apresentados no Gráfico 52, nota-se que, conforme esperado, o isolamento da vestimenta (CLO) é um dos fatores de correlação mais significativo com a temperatura SET de conforto, por estar incluso no cálculo da temperatura. Porém, a taxa metabólica (MET) que também é incluída se sobressai apenas em B. O gênero tem fator de correlação mais forte com a temperatura SET de conforto em A, sendo fraco em B. O sinal negativo da correlação entre SET e gênero indica que as mulheres (valor numérico=0) preferem temperatura mais altas do que os homens (valor numérico=1). Além disso, a idade tem correlação mais forte em B, onde há maior variabilidade, não sendo significativo em A por conta da predominância de uma única faixa etária.

#### 4.6.2. Influência dos sistemas sobre as temperaturas de satisfação térmica.

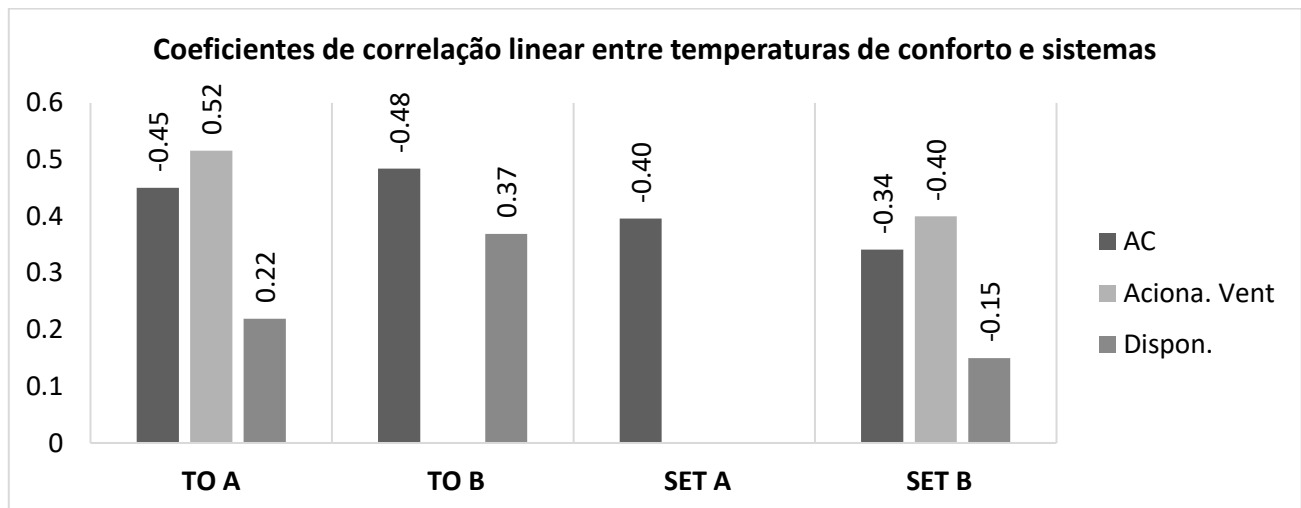
Além dos fatores pessoais, foi também analisada a correlação entre as temperaturas de conforto e satisfação com os sistemas em uso no momento de resposta. A Tabela 22 mostra que a velocidade do ventilador selecionada não tem correção com a temperatura operativa ou SET de conforto. Porém, o acionamento do ar condicionado tem correlação significativa com a temperatura operativa e SET nos dois escritórios. Já o acionamento do ventilador apresenta correlação significativa com a temperatura operativa de conforto no escritório A e a temperatura SET de conforto do escritório B, nos demais casos não há correlação significativa. A disponibilidade do ventilador apresenta correlação significativa com as temperaturas de conforto nos mesmos casos em que o acionamento do ventilador, mas também com a

temperatura operativa de conforto em B. Isso é, a existência ou não do ventilador no ambiente influencia mais a condição térmica de conforto do que o fato de ele estar ligado ou não. Porém, o acionamento do ar condicionado e do ventilador são os fatores com correlação linear mais forte com as temperaturas de conforto, como mostra o Gráfico 53. Os coeficientes negativos do acionamento do AC com relação às temperaturas médias de conforto são coerentes, já que o sistema resfria o ar, quanto menor a temperatura, maior a tendência de o ar condicionado estar ligado. Já o número de ventilador ligados aumenta, no escritório A, conforme a temperatura operativa é maior, e em B, conforme a temperatura SET é menor. No escritório A, na maior parte do tempo o ar condicionado estava desligado, resultando em temperaturas mais elevadas do que em B, que geraram grande demanda de uso do ventilador, como visto antes. O aumento da velocidade do ar tem grande impacto no cálculo de SET, reduzindo o valor. Isso é, a temperatura SET é inversamente proporcional à velocidade do ar, e, por conta disso, o aumento do número de ventiladores acionados em B, aumenta a reduz a temperatura SET média do ambiente, gerando uma correlação negativa.

Tabela 23. Significância da correlação linear entre temperaturas de conforto térmico e o acionamento ou disponibilidade dos sistemas

	Valor de p			
	Temperatura Operativa (TO)		Temperatura SET	
	A	B	A	B
<b>Velocidade selec. do ventilador</b>	0,8	0,12	0,8	0,9
<b>Acionamento do AC</b>	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
<b>Acionamento do ventilador</b>	<0,05	0,78	0,3	<0,05
<b>Disponibilidade do ventilador</b>	<0,05	<0,05	0,7	=0,1

Gráfico 53. Coeficientes de correlação entre temperaturas preferidas e sistemas

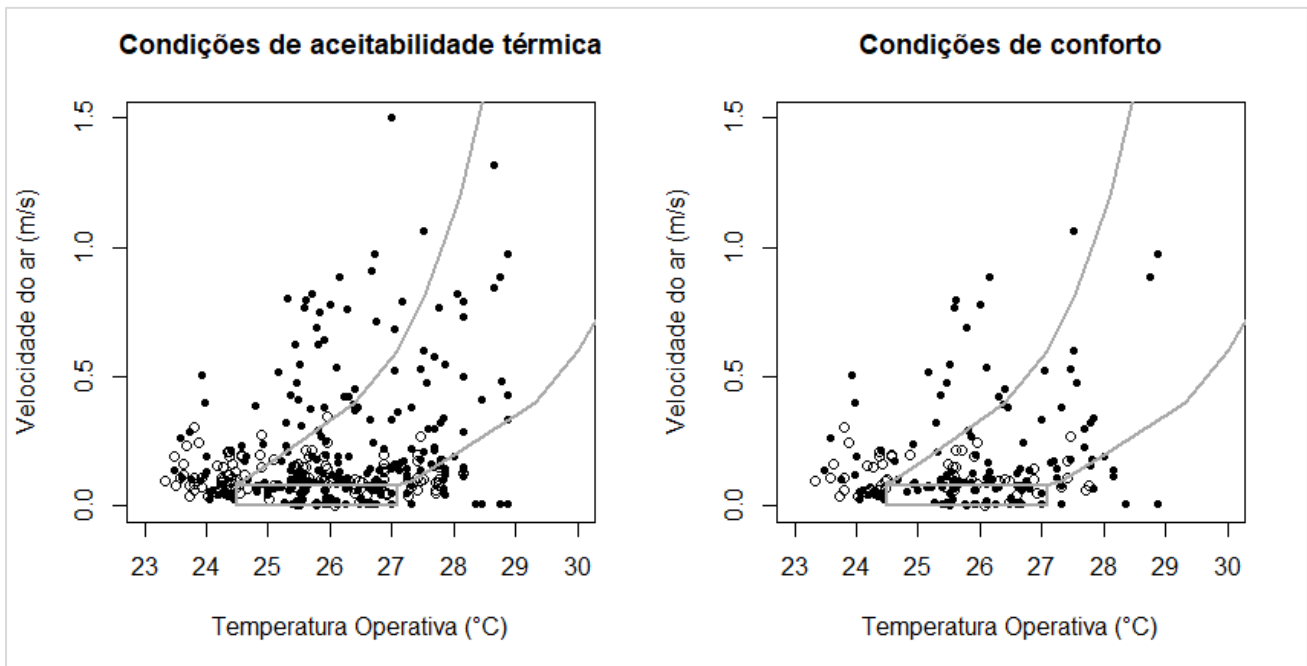


#### 4.6.3. Condições de conforto térmico e modelos preditivos

Os modelos de conforto térmico inclusos nas normas internacionais e na revisão da norma nacional NBR 16401-2 (ABNT, 2017) visam prever se as condições do ambiente gerarão satisfação térmica para a maioria dos usuários. Segundo a NBR 16401-2 (2017), o modelo mais adequado para previsão da satisfação dos usuários em ambientes com ar condicionado e velocidade intensificada do ar é o modelo SET, conforme comentado no item 3.5.3. Os limites de aceitabilidade do modelo são calculados

a partir das condições médias de CLO, MET e UR, que nesse levantamento foram: 0,51 clo, 1,05 met e 59% de umidade relativa. O Gráfico 54 apresenta a aplicação desse modelo às condições do levantamento, na esquerda, são mostradas as condições que coincidem com aceitabilidade térmica, segundo os usuários, e, na direita, as condições de conforto térmico, conforme critérios estabelecidos no item 4.6. Os pontos com preenchimento branco correspondem às condições onde os usuários não tinham acesso aos ventiladores e os pontos pretos, às condições com ventiladores de mesa.

Gráfico 54. Aplicação do modelo de SET – condições de aceitabilidade e conforto térmico



Nota-se, por esses gráficos, que muitos pontos se encontram fora da zona de conforto térmico prevista pelo modelo, definida pelas linhas em cinza. Apenas 47,8 e 48,6% das condições consideradas aceitáveis e plenamente confortáveis se encontram dentro dos limites propostos pelo modelo. Ocorre, principalmente, aceitabilidade e conforto térmico com velocidades do ar mais elevadas do que as previstas, principalmente para temperaturas operativas inferiores a 27°C. Há também algumas condições, sob temperaturas superiores a 27°C, onde são aceitas velocidades do ar mais baixas do que as previstas. Esse resultado coincide com o de outros estudos apresentados no referencial teórico (item 2.2), onde os usuários com ventiladores pessoais selecionaram e preferiram velocidades do ar mais altas do que as previstas no modelo SET em temperaturas abaixo de 28 °C. O gráfico mostra, porém, que há diversos pontos brancos fora da zona do gráfico, isso é, há condições sem ventilador que foram consideradas aceitáveis ou confortáveis, mas, sob velocidades mais altas do que o previsto pelo modelo, principalmente. Há em torno de 30% de condições com ventiladores fora da zona de aceitabilidade prevista e 20% sem ventilador. Isso indica que o previsto pelo método não tem bom alinhamento com o indicado pelos usuários, principalmente, quando eles possuíam ventiladores, mas não somente. O limite inferior de temperatura operativa indicado pelo método é também superior em até 1°C ao aceito e considerável satisfatório pelos usuários.

Apesar do modelo adaptativo ser indicado na NBR 16401-2 (ABNT, 2017) apenas para a análise de ambientes sem ar condicionado, De Vecchi (2015) indica que é adequada a aplicação desse modelo para ambientes que operam em modo misto, como é o caso dos escritórios estudados. Os limites de temperatura operativa para garantir 80 ou 90% dos usuários satisfeitos são, nesse modelo, calculados a partir da temperatura média predominante do ar externo ( $T_{mpa}$ ). Nos gráficos Gráfico 55 e Gráfico 56 a seguir, é apresentada a aplicação do método às condições de aceitabilidade e satisfação térmica, conforme

votos dos usuários. Os dados foram separados entre as condições com e sem disponibilidade de ventiladores.

Gráfico 55. Aplicação do modelo Adaptativo – condições de aceitabilidade térmica

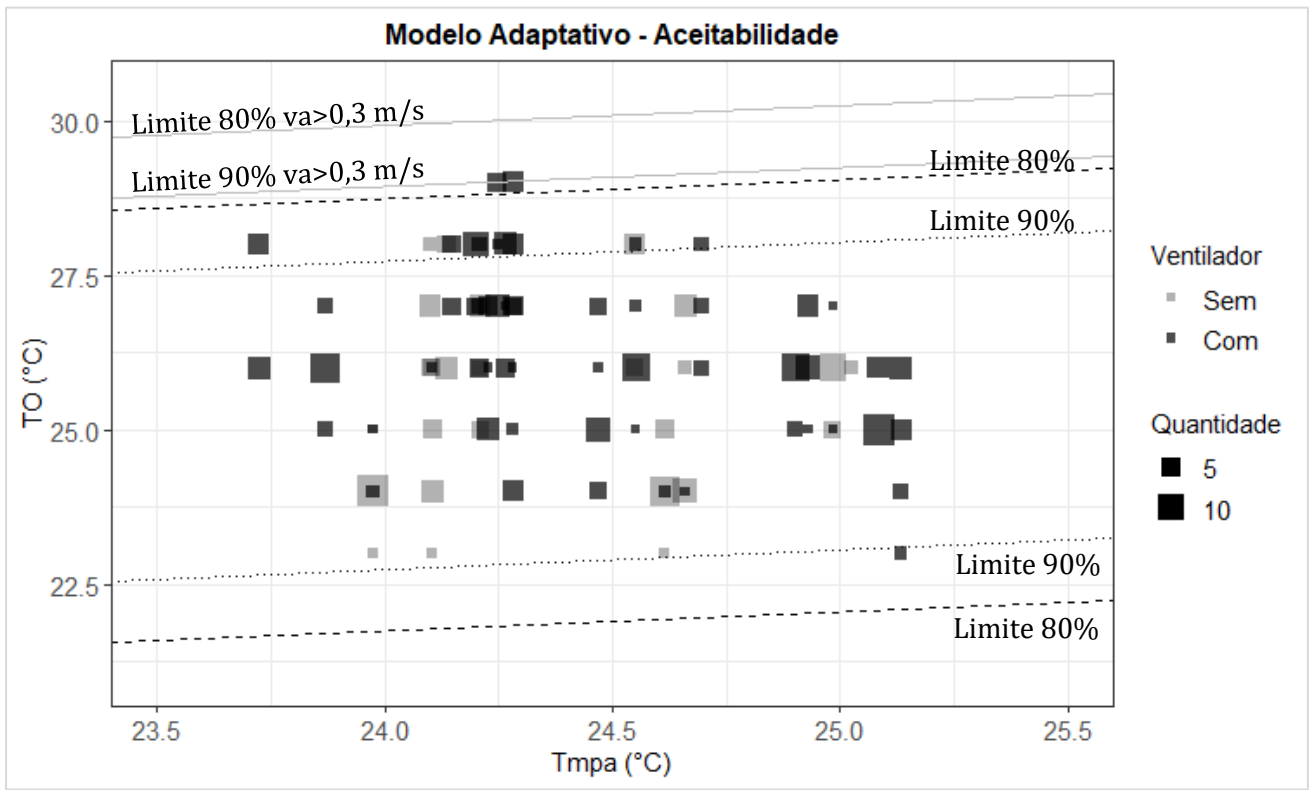
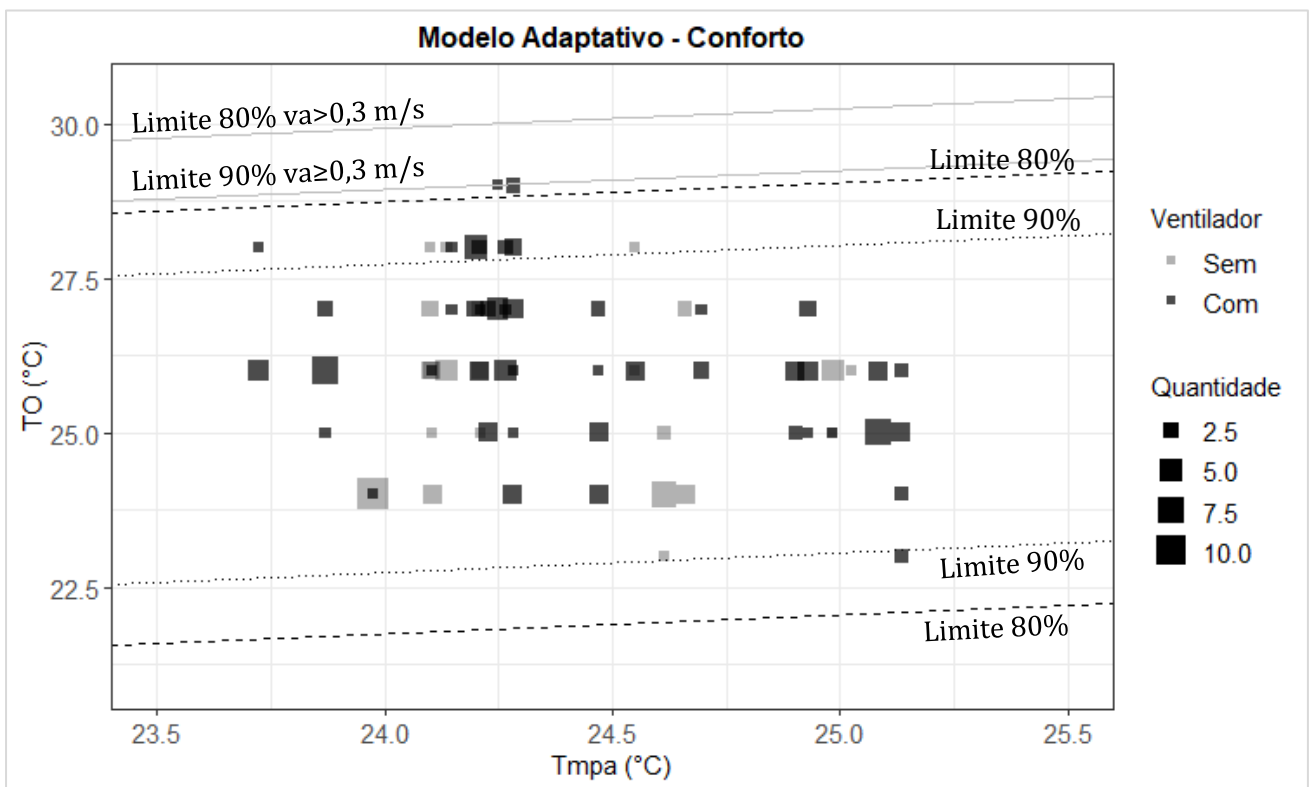


Gráfico 56. Aplicação do modelo Adaptativo – condições de conforto e preferência térmica



Verifica-se que a maioria das condições está dentro dos limites estabelecidos para garantir que 80% dos usuários estejam satisfeitos. Além disso, considerando a expansão do limite superior em 1,2 °C para os casos em que a velocidade média do ar está entre 0,3 m/s e 0,6 m/s, praticamente 100% dos dados se encontram dentro os limites previstos pelo modelo para que 80% dos usuários estejam satisfeitos. Considerando o limite mais restritivo do modelo, para que 90% dos usuários estejam satisfeitos, o percentual de atendimento é apenas 6% menor para as condições de aceitabilidade e 3% para as condições de satisfação plena, considerando extensão do limite superior. Isso indica que o modelo tem bom ajuste à aceitabilidade e mais ainda às condições de pleno conforto e satisfação. Porém, os filtros propostos para identificação das condições de plena satisfação são mais restritivos do que o modelo adaptativo, dado que o percentual de condições dentro dos limites dos dois gráficos, são muito próximos. Considerando os limites para satisfação de 90% dos usuários, os poucos dados não incluídos na zona de aceitabilidade do modelo correspondem a condições onde os usuários possuíam ventiladores.

A tabela 24 apresenta um resumo dos percentuais das condições de atendimento previstas pelos modelos, indicados pelos usuários e as coincidências entre eles: os percentuais indicados pelos usuários que estão dentro das zonas previstas pelos modelos.

*Tabela 24. Síntese resultados dos modelos de predição e votos reais dos usuários*

<b>Modelos</b>	<b>Previsto</b>	<b>Aceitabilidade</b>	<b>Conforto e satisfação</b>
SET	48%	47,6%	48,5%
Adaptativo 80% satisfação	99%	99,5%	99,5%
Adaptativo 90% satisfação	94,5%	95%	96%
	<b>Real</b>	99%	50,7%

Os dois modelos, adaptativo e SET, se propõem a prever as condições aceitáveis ou confortáveis, não considerando a preferência térmica e outros fatores propostos no item 4.6. Assim, seria esperado que as condições de satisfação plena fossem mais restritivas do que as zonas dos modelos. O modelo SET é o que mais se aproxima da previsão do percentual de condições de satisfação e conforto, havendo 2% de diferença entre os percentuais. Apesar disso, das condições de plena satisfação, apenas 49% estão dentro dos limites de aceitabilidade indicados pelo modelo SET, mostrando que apesar da proximidade de percentuais, os dados não coincidem. O modelo adaptativo apresentou muito maior alinhamento com a opinião dos usuários e capacidade de previsão de suas preferências térmicas, principalmente se considerados os limites para que 80% dos usuários estivessem satisfeitos. Por outro lado, verificou-se que as condições fora das zonas preditas pelos modelos correspondem principalmente às condições onde os usuários tinham acesso aos ventiladores. Esse resultado é esperado, pois, conforme comentado no referencial teórico, os modelos consideram intensificação da velocidade do ar ambiente e não apenas sobre um ponto do corpo.

O cálculo das temperaturas SET de levantamento ajustadas à baixa velocidade do ar nos permitem, como comentado, avaliar o efeito de refrigeração do ventilador (CE). O CE representa em Kelvin qual a redução da sensação de temperatura é gerada pelo aumento da velocidade do ar. Por conta da predominância das baixas velocidades do ar, 60% das condições durante o levantamento têm CE igual a zero. Porém, nos demais casos, quando a velocidade do ar é superior a 0,15 m/s, o CE médio é de 1,35 K com desvio padrão de  $\pm 1$  K. O efeito máximo alcançado é de 6,2 K quando a temperatura operativa é de 29 °C, o usuário está com 2 met de taxa metabólica, e a velocidade média do ar é de 1,3 m/s gerada pelo acionamento do ventilador. Outra forma de avaliar o efeito do ventilador é a partir do método proposto por Zhang, Arens e Zhai (2015), calculando o potencial de redução da sensação térmica, denominado: “cooling power” (CP). Para isso, são comparadas as temperaturas que geram neutralidade

térmica sem o sistema personalizado às de neutralidade térmica com o sistema personalizado. A temperatura operativa média de neutralidade com ventiladores de mesa nesse estudo resulta em 26,1 °C, enquanto a temperatura de neutralidade sem ventiladores é de 25,4 °C. Dessa forma, os ventiladores permitem elevar a temperatura média de neutralidade térmica em 0,7 K. Aplicando o mesmo cálculo às temperaturas operativas de neutralidade mínimas e máximas, são encontrados os CP de 1,1 e 1,3 K, respectivamente.

*Tabela 25. Síntese resultados dos resultados dos coeficientes de performance.*

	<b>Médio</b>	<b>Máximo</b>
CE	1,35 K	6,2 K
CP	0,7 K	1,3 K

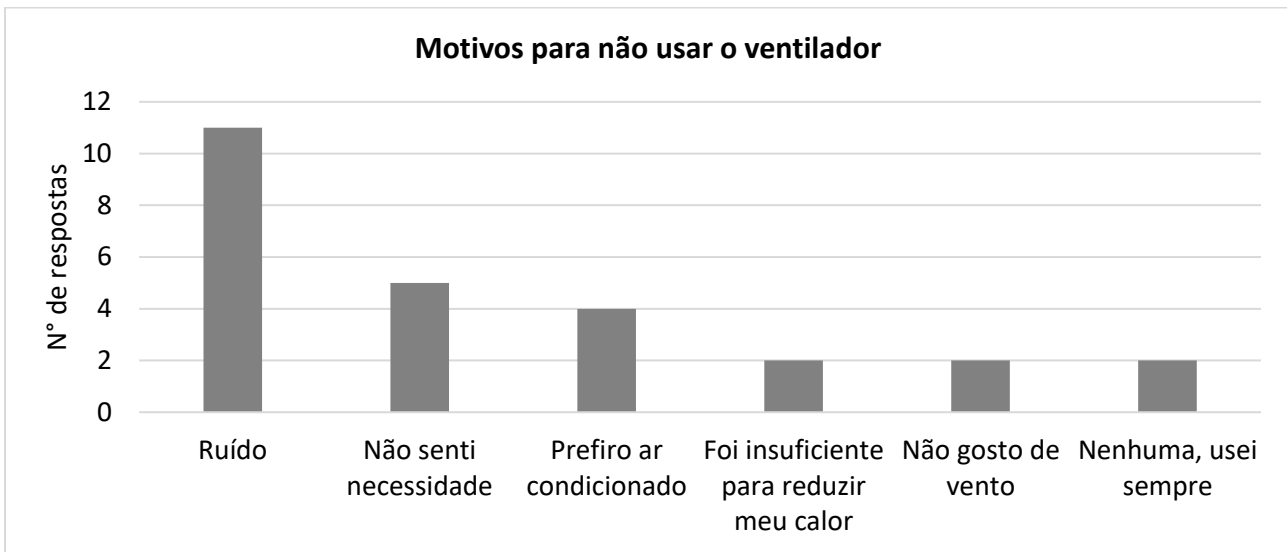
Em conclusão, como mostra a Tabela 25, o potencial de redução da sensação calculado por CE no geral é superior a CP. Isso é, a diferença de sensação estimada com base à temperatura SET superestima o efeito produzido pelo aumento da velocidade do ar, já que a neutralidade térmica indicada pelos usuários é gerada sob condições mais próximas. O valor médio de CE se equipara a CP apenas quando considerados os valores máximos de temperatura de neutralidade térmica.

#### 4.7. Barreiras ao uso dos ventiladores

Durante o período em que os usuários tinham acesso aos ventiladores, observou-se baixo uso do equipamento, mesmo quando as temperaturas internas estavam elevadas. O ventilador estava ligado em apenas 53% das respostas do questionário principal. Um dos motivos evidenciado no referencial teórico para que os usuários evitassem ligar o ventilador foi a sensação de ressecamento nos olhos. Porém, avaliando os votos dos usuários, nota-se que não foi percebida intensificação dessa sensação com os ventiladores. Apenas quatro das respostas do escritório A e oito das respostas do escritório B indicaram incremento da sensação de seca dos olhos com o uso dos ventiladores. No escritório B, o percentual foi maior por conta do usuário 8, que teve acesso a ventiladores durante todo o período de medição e comentou que, por usar lentes de contato, sente maior efeito de ressecamento quando direciona o vento direto para seu rosto. Porém, como mostrado no item 4.5.2, o ventilador disponibilizado teve pouco efeito sobre a face, e a maior parte dos votos indicando aumento de seca dos olhos ocorreu quando o usuário utilizava seu próprio ventilador. Como seu ventilador permite a rotação vertical e direcionamento do ar para seu rosto, a velocidade do ar que sobre seu rosto com esse ventilador é muito maior. A velocidade desse ponto medida no experimento foi de 0,2 m/s quando o usuário estava com seu ventilador, porém, com o ventilador disponibilizado no experimento, essa velocidade chegou a apenas 0,08 m/s.

Segundo os usuários, conforme respostas fornecidas no questionário final, a principal barreira ao uso do ventilador foi o ruído emitido por ele, como mostra o Gráfico 57.

Gráfico 57. Motivos apontados como barreiras ao uso dos ventiladores



Para verificar a adequação do nível de ruído sonoro produzido pelo equipamento aos níveis de conforto acústico, foi realizada a medição do nível de pressão sonora produzido pelo equipamento. Para isso, foi utilizado um decibelímetro digital da marca Minipa, modelo: MSL-1325A. O equipamento permite a medição do nível de pressão sonora em três faixas e tempos de ponderação. Para medição da situação avaliada, foi selecionada a menor faixa, que permite leituras de 40 a 70 dB(A), e o menor intervalo de ponderação: 125 ms, para aumentar a precisão da leitura. Antes de iniciar as medições, foi verificado que o equipamento estava calibrado e a sala de medição possuía nível de ruído ambiente inferior a 40 dB(A). O equipamento foi posicionado a 40 cm de distância horizontal do ventilador e 40 cm de distância vertical, que representaria a altura aproximada da cabeça de um usuário sentado à frente do ventilador. O ventilador foi posicionado sobre uma mesa e acionado nas três velocidades para medição. Os valores médios encontrados foram indicados na Tabela 26 para cada velocidade de acionamento. Além disso, na tabela é indicada a avaliação desses níveis frente à norma aplicável de acústica. A NBR 10152 (ABNT, 2017b) indica que deve ser mantido 45 dB(A) de o nível de pressão sonora médio em salas de projeto ou administração de um escritórios, e que o nível máximo aceitável é de 50 dB(A). Comparando os valores normativos aos medidos, verifica-se que o ventilador, na primeira velocidade, gera uma pressão sonora inferior à média que deve ser mantido no ambiente, indicando que esse valor é adequado. Na segunda velocidade de acionamento é alcançado o limite médio de pressão sonora, indicando que o valor é adequado, apesar de ser limítrofe. Já no caso da velocidade três, a média encontrada ultrapassa a média indicada pela norma e é atingido o valor indicado como máximo aceitável. Assim, entende-se que nessa velocidade, o nível de pressão sonora gerado é superior ao desejado e, apesar de não apresentar risco aos usuários, não é adequado como condição constante.

Tabela 26. Síntese resultados dos resultados dos coeficientes de performance.

Velocidade do ventilador	Medido	NBR 10152 - 2017		
		Avaliação	Limites NBR 10152 - 2017	
			Médio	Máximo
1	43 dB(A)	Adequado	45 dB(A)	50 dB(A)
2	45 dB(A)	Limite Adequado		
3	50 dB(A)	Inadequado		

Assim, a medição realizada confirma que a escolha das velocidades pode ter sido influenciada pelo nível de pressão sonora, que no caso da velocidade 3 não é adequado para uso constante. Além disso, a medição associada ao resultado da questão apresentado no Gráfico 57 indicam que a predominância de acionamento da velocidade 1 se relaciona ao fato dessa velocidade emitir menos ruído.

O segundo motivo citado foi a falta de necessidade, o que é consistente com os demais resultados apresentados. No geral, os usuários estavam confortáveis e não sentiam necessidade de modificar as condições ambientes, como visto no item 4.4. Outro motivo indicado por quatro usuários foi a preferência pelo ar condicionado, porém, apenas 2 usuários indicaram que o ventilador não foi suficiente para reduzir sua sensação térmica. Assim, a preferência pelo ar condicionado não ocorreu pelo baixo poder de resfriamento do ventilador, mas por outros motivos. As variações entre usuários e preferências pessoais são múltiplas. Há quem não goste de vento, porém, há também os que quiseram manter o vento constante, conforme Gráfico 45. Há inclusive usuários que acharam o ruído do ventilador agradável, ou que comentaram que acionavam o ventilador para reduzir o sono. Apesar das variações, um dado observado que não foi indicado nesse gráfico é que a não familiaridade com o equipamento também foi uma barreira, um dos usuários comentou, por exemplo, que usaria mais o ventilador se lembrasse que o tinha disponível. Os dados encontrados podem indicar que o tempo de adaptação ao novo elemento não foi suficiente para que os usuários se habituassem à sua presença e o incorporassem ao seu cotidiano.

Por conta dessa limitação do estudo, foi realizada uma entrevista estruturada com cinco pessoas que trabalham em escritórios onde os usuários possuem ventiladores pessoais. As questões e resultados detalhados das entrevistas estruturadas são apresentados no apêndice E. As entrevistas avaliam, principalmente, ambientes similares aos do levantamento, escritórios com plantas abertas, com múltiplos usuários e modo misto de operação. Nesses ambientes, conforme mostra a Tabela 28 do apêndice E, todos os ventiladores foram adquiridos pelos próprios usuários, para solucionar desconfortos térmicos individuais ou coletivos. Em muitos casos, confirmando a afirmação de Boerstra (2010), o ventilador é utilizado para compensar a ineficiência do sistema de climatização e, nesses casos, a maioria dos usuários possui ventiladores. Em outros casos o ventilador vem para solucionar um desconforto individual, como ocorre no caso do usuário 8 do escritório B analisado. Nesse caso, pequenos grupos possuem ventiladores como é o caso do escritório S. No caso do escritório U, o ventilador é uma demanda individual, e por isso, os tipos de equipamento variam muito conforme a necessidade do usuário. Mas também há uma importante questão de acesso aos controles. No caso do escritório U, os ventiladores têm função principal de individualizar o controle para ajuste pessoal do ambiente, que não é possível de outra forma.

Assim, o ponto principal ressaltado nas entrevistas é que a presença do ventilador é demandada para solução de uma questão pessoal ou coletiva. Porém, ao ser resolvida, o equipamento deixa de ser utilizado, como ocorreu no caso dos escritórios que tiveram o sistema de ar condicionado reformado. Esse resultado indica que se não houver uma questão que gere demanda, isso é, os usuários se sentirem confortáveis termicamente no ambiente e com acesso suficiente aos controles, os ventiladores, mesmo se disponíveis, serão poucos utilizados.



## 5. CONCLUSÃO

Este trabalho analisou escritórios de planta aberta com múltiplos usuários, com modo misto de operação durante o verão, para verificar se a disponibilidade de ventiladores de mesa teria efeito positivo sobre o conforto térmico dos usuários. Foram avaliadas as condições do ambiente no momento de resposta ao questionário aplicado, de forma que a percepção dos usuários pudesse ser comparada às variáveis ambientais medidas. O estudo de campo foi realizado em dois períodos, um deles sob uso padrão do espaço e sistemas, e um segundo momento onde foram disponibilizados miniventiladores de mesa aos usuários. Foram coletadas 383 respostas, entre as quais havia ventiladores disponíveis em 60%.

Ao contrário do esperado para o período de verão, os usuários apresentaram alta aceitabilidade e conforto térmico durante todo o levantamento. A sensação predominante foi de neutralidade térmica, além disso, em 99% das respostas, a condição térmica do ambiente foi considerada aceitável e, em 90% das respostas, gerou “conforto” ou “muito conforto” térmico. Por conta disso, comparando as respostas dos usuários com e sem ventiladores, não foi encontrada diferença significativa. Foi encontrada diferença significativa apenas entre os votos médios de preferência sobre o movimento do ar dos usuários com e sem ventiladores. No período com ventiladores, aumentaram o número de votos indicando preferência pela não modificação do movimento do ar e redução da preferência de aumento da velocidade. Esse resultado indica que o principal efeito gerado pelos ventiladores foi o de aumentar o ajuste individual e incremento da velocidade do ar local, o que também foi indicado pelos usuários como um dos principais motivos de uso do equipamento.

Apesar desse resultado, o principal uso do ventilador observado e indicado pelos usuários foi no momento de chegada ao posto de trabalho, o que não coincidiu com o momento de preenchimento dos questionários. Dessa forma, o uso principal dos ventiladores não pode ser avaliado nos questionários. Entretanto, esse uso do ventilador é condizente com o indicado por estudos anteriores, pois ele gera rápido resfriamento e compensa a elevação da taxa metabólica e sensação de calor gerada pela exposição às condições externas. O baixo percentual de respostas com o ventilador ligado, 53%, coincide com o uso intermitente indicado por estudos de campo anteriores, e é, inclusive superior à frequência de uso identificada nesses estudos. O acionamento do ventilador é uma estratégia de adaptação, e talvez por conta de o modelo adaptativo considerar essa e outras possibilidades de adaptação e de modificação do ambiente realizadas pelos usuários, foi o modelo que melhor previu as condições preferidas por eles neste estudo. A zona de aceitabilidade térmica predita pelo modelo para que 80% dos usuários estivessem satisfeitos coincidiu com 99,5% das condições de conforto e aceitabilidade indicadas pelos usuários. Por outro lado, assim como indicado em estudos anteriores, o modelo SET teve baixa capacidade de previsão das condições de aceitabilidade e preferência dos usuários, principalmente no período com ventiladores, apesar de ser o mais indicado para as condições estudadas.

Foi verificada a tendência de incremento da frequência de uso do ventilador com o aumento da temperatura ambiente. Isso poderia indicar que o aumento da velocidade do ar melhorou a condição térmica dos usuários quando houve elevação da temperatura. Porém, o teste de hipótese indicou que a correlação linear entre essas variáveis é fraca. Nota-se que, quando a temperatura ambiente é mais alta, mais usuários acionam o ventilador, mas não necessariamente a velocidade do ar é proporcionalmente elevada. O ruído produzido pelo equipamento foi indicado como uma barreira ao incremento da velocidade do ar, pois as velocidades de ativação superiores produziam mais ruído, gerando desconforto acústico. Por outro lado, verificou-se que o uso do ventilador depende do modo de operação do ambiente, pois apenas nos ambientes naturalmente ventilados são atingidas temperaturas operativas superiores que aumentam a frequência de uso.

Verificou-se grande variação na escolha da velocidade e uso do ventilador entre usuários. Também houve variação entre as temperaturas médias operativas que satisfizeram as preferências de cada usuário. Porém, características pessoais tiveram pouca influência sobre as temperaturas médias preferidas pelos usuários. Foi encontrada correlação significativa apenas entre as variáveis pessoais e as temperaturas SET. Porém, o cálculo da temperatura SET inclui duas variáveis pessoais, tornando o resultado redundante. Por outro lado, a correlação com as características antropométricas não incluídas no cálculo de SET é fraca. O acionamento e disponibilidade dos sistemas apresentou coeficiente de correlação mais alto, além de ter sido identificada relação de dependência entre as temperaturas de conforto e preferência térmica e as condições a que os usuários foram expostos.

Comparando os dois momentos do estudo de campo, com e sem ventiladores, verificou-se redução da ativação do ar condicionado. Entretanto, a diferença foi significativa apenas no escritório B, onde as condições externas nos dois períodos também foram significativamente diferentes. Por conta disso, a presença dos ventiladores não pode ser analisada como uma variável isolada, já que as condições entre períodos não eram semelhantes, inviabilizando a análise.

A temperatura operativa de conforto predominante foi de 26 °C, coincidindo com o indicado como preferido pela maioria dos usuários em estudos anteriores de conforto térmico com ventiladores. Porém, a temperatura máxima de 29 °C também atendeu às preferências de alguns usuários, gerando conforto térmico por conta do uso dos ventiladores. Por outro lado, o efeito do ventilador nesse estudo foi inferior ao indicado em estudos anteriores. Foi atingido o incremento máximo de 1,3 K na temperatura de neutralidade e efeito de resfriamento, enquanto outras referências indicam o máximo de 3 K.

No geral, metade dos usuários considerou a disponibilidade de ventiladores de mesa vantajosa. O equipamento mostrou bom potencial, se comparados os votos de conforto térmico dos usuários nos períodos com e sem ventiladores, porém, os resultados tiveram baixa significância estatística. A amostra coletada foi pequena se comparada a outros estudos de campo da área, que costumam contar com mais de mil respostas. Esse fator pode ter afetado os resultados encontrados e, por conta disso, a expansão da amostra é sugerida para aumento do número de respostas, aumento da variabilidade de condições estudadas e de biotipo dos usuários. Entretanto, notou-se durante o estudo que, em ambientes com condicionamento artificial, o uso de ventiladores não é visto como uma alternativa para a melhoria do conforto térmico durante o verão. Ainda que seja uma alternativa efetiva para a redução da sensação de calor e apresente um consumo energético muito inferior ao do ar condicionado, culturalmente, ele não é visto como uma alternativa ao acionamento do ar condicionado. O ventilador é utilizado como uma solução pontual à ineficácia do ar condicionado ou à impossibilidade de ajuste local quando as preferências dos usuários são muito divergentes. Por outro lado, quando não há uma questão a ser solucionada, o uso e presença do ventilador se torna menos necessária.

Entretanto, as diferenças entre as respostas prévias e posteriores ao estudo sobre o modo de condicionamento preferido pelos usuários mostram que a conscientização ambiental pode ter um papel importante. No escritório A, os usuários estão familiarizados com os temas de eficiência energética e impacto ambiental, o que se reflete na operação do ambiente, já que a ventilação natural foi mais utilizada, mesmo sob altas temperaturas. Por esse motivo, houve menos mudança entre as preferências do modo de condicionamento prévio e posterior no escritório A do que no B. No escritório B, metade dos usuários consideraram que a ventilação natural poderia ser uma boa solução ao final do estudo, apesar de todos os usuários terem indicado preferência pelo AC no início do estudo. No geral, estamos pouco acostumados a refletir sobre nossas preferências térmicas, observar o que nos gera mais desconforto e saber quais sistemas preferimos. Ao introduzir um equipamento novo, é necessária grande disposição dos usuários para testá-lo, ao invés de manter seus hábitos cotidianos. Nesse estudo, percebeu-se que a disposição dos usuários em participar e tentar novas soluções pode influenciar suas respostas. Os usuários que não

estavam muito dispostos responderam os questionários menos vezes e se dispuseram menos a utilizar o ventilador. Entretanto, outros usuários se interessaram pelo estudo e ao final indicaram que o efeito dos ventiladores os surpreendeu positivamente. De qualquer modo, testes como este abrem as opções, geram reflexão e permitem melhores chances de escolha aos usuários. De certa forma, obrigam as pessoas a conhecer melhor suas preferências e suas sensações térmicas. Assim, foi avaliado que a disponibilidade de novos equipamentos tem efeito positivo, principalmente se vinculada a uma ação de conscientização das pessoas, para que elas conheçam os efeitos de cada equipamento e seu impacto ambiental frente ao uso do ar condicionado e outros sistemas.

### 5.1. Limitações do estudo

Durante o estudo realizado, foram identificadas algumas limitações. A entrevista estruturada foi aplicada para complementar os resultados após a identificação de que o tempo de exposição dos usuários ao equipamento foi uma das limitações do estudo, afetando o uso do equipamento. Porém, outras limitações não puderam ser abordadas ou solucionadas, e as principais delas são elencadas a seguir:

1. O tamanho da amostra coletada foi pequeno, o que afeta a significância estatística dos resultados encontrados. Foi verificado que as condições externas tiveram grande influência sobre os resultados do estudo, por conta da alta variabilidade. Em outros estudos semelhantes, em câmara climática, números similares de pessoas são utilizados, de 20 a 30 pessoas. Porém, nesses casos, os questionários são preenchidos com uma frequência muito maior, de 10 a 20 minutos de intervalo. Dessa forma, ainda que o número de usuários seja pequeno, o número de respostas é alto. Por outro lado, em estudos de campo, a alta frequência de aplicação de questionários não é viável, pois impossibilita a rotina de trabalho. Em um trabalho de campo recente, aplicado para avaliar o uso de uma cadeira com ventiladores acoplados em escritório, foram aplicados 3 questionários por dia (KIM et al., 2018), mostrando que a frequência utilizada neste trabalho está adequada. Porém, a pesquisa de Kim et al. (2018) se estendeu por meses, de forma a aumentar o número de respostas e condições analisadas de forma expressiva.
2. Outra limitação encontrada neste trabalho se relaciona à medição da velocidade do ar. O termo anemômetro utilizado é unidirecional, o que dificultou medição da velocidade do ar próxima ao usuário, pois a identificação de todas as fontes de vento seria necessária. Além disso, a turbulência gerada pelo ventilador dificultou a leitura dos dados que, além de apresentarem alta variação, não era registrada pelo equipamento.
3. O modelo de ventilador disponibilizado aos usuários na pesquisa apresentou duas principais limitações: não permitir a rotação vertical e produzir um nível sonoro inadequado. Apesar do tamanho do equipamento ter sido uma vantagem, por se adequar facilmente ao espaço disponível, o ajuste de velocidades, que também foi um dos critérios de escolha do equipamento, acabou sendo pouco utilizado. Por conta do ruído produzido pelo aparelho, que aumentava com a ativação das velocidades mais altas, o ventilador foi usado, principalmente, na primeira velocidade, o que pode ter alterado os resultados do estudo. Além disso, como mostrado, a impossibilidade de rotação vertical limitou o direcionamento do ar, impedindo que ele atingisse a face dos usuários, ponto indicado por estudos anteriores como o ponto principal para gerar resfriamento do corpo.
4. A não familiaridade dos usuários com os ventiladores também foi um limitante. Os usuários não estavam acostumados a ter um ventilador disponível e podem ter utilizado menos o equipamento por falta de costume.

5. O critério de definição do momento de aplicação do questionário limitou o estudo dos efeitos e uso do ventilador. Ao solicitar o preenchimento dos questionários após estabilização da taxa metabólica e aclimação, o estudo não permitiu analisar o momento em que os usuários mais utilizaram o equipamento, que foi na chegada ao posto de trabalho.

## 5.2. Sugestões para trabalhos futuros

1. Neste estudo, verificou-se que a temperatura de funcionamento do ar condicionado variou entre 23 °C e 24 °C, principalmente. Porém, a temperatura de 26 °C foi aceita e preferida pela maioria dos usuários. Assim, seria interessante a realização de um estudo que estendesse o *setpoint* do ar condicionado e estudasse o conforto e aceitabilidade dos usuários, com e sem a disponibilidade de ventiladores. Esse estudo poderia fornecer dados para a revisão de normativas nacionais com relação às diretrizes de configuração dos sistemas de climatização.
2. Um tema recorrente no referencial teórico revisado é a automação dos sistemas de refrigeração com intuito de reduzir o consumo, mantendo o conforto térmico dos usuários. Conforme discutido, sistemas de automação que incluam ventiladores de mesa e proponham automação parcial, conciliando otimização de consumo com as preferências térmicas dos usuários, precisam ser estudados e desenvolvidos.
3. Outra sugestão baseada na revisão do referencial teórico seria a avaliação do desempenho dos ventiladores associados a outros sistemas personalizados no Brasil. Os principais sistemas citados nas referências, e que apresentam bom desempenho em climas quentes, são painéis radiantes de refrigeração e sistemas com ventiladores acoplados a cadeiras de escritório. Seria interessante a aplicação de estudos com esses sistemas no território nacional, pois a maioria é aplicada no exterior, e diferenças socioculturais e climáticas poderiam ter grande impacto.
4. Outro tema mencionado neste trabalho foi o da conscientização ambiental. Sugere-se a realização de estudos que comparem os efeitos de campanhas de conscientização ambiental sobre o uso dos sistemas de condicionamento e o conforto térmico dos usuários.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **3º Projeto de revisão NBR 16401-2 Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários Parte 2: Parâmetros de conforto térmico.**, 2017. a. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/140624\\_REVISÃO\\_ABNT\\_NBR\\_16401\\_2\\_versao\\_2017.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/140624_REVISÃO_ABNT_NBR_16401_2_versao_2017.pdf)>
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152 - Acústica - Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações.**, 2017. b.
- ABRAVA. **O uso do ar-condicionado e o consumo de energia elétrica.** 2017. Disponível em: <<http://abrava.com.br/?p=11091>>. Acesso em: 8 nov. 2018.
- AKIMOTO, T. et al. Personalized hvac system in a sustainable office building - Field measurement of productivity and air change effectiveness. In: INDOOR AIR QUALITY ( IAQ ), BUILDING RELATED DISEASES AND HUMAN RESPONSE 2006, Lisboa. **Anais...** Lisboa
- ANTONIADOU, P.; PAPADOPOULOS, A. M. Occupants' thermal comfort: State of the art and the prospects of personalized assessment in office buildings. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 153, p. 136–149, 2017.
- ARENS, E. A. et al. Thermal comfort and perceived air quality of a PEC system. **12th International Conference on Indoor Air Quality and Climate**, [s. l.], v. 2, p. 865–870, 2011.
- ASHRAE. **Standard 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**, American Society of Heating Refrigerating and Airconditioning Engineers, 2013.
- ASHRAE. **Standard 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**, 2017.
- BOERSTRA, A. Personal control in future thermal comfort standards? In: (Network for Comfort and Energy Use in Buildings, Ed.)ADAPTING TO CHANGE: NEW THINKING ON COMFORT 2010, Windsor, Inglaterra. **Anais...** Windsor, Inglaterra.: Network for Comfort and Energy Use in Buildings, 2010.
- BOERSTRA, A. C. et al. Comfort and performance impact of personal control over thermal environment in summer: Results from a laboratory study. **Building and Environment**, [s. l.], v. 87, p. 315–326, 2015. a.
- BOERSTRA, A. C. et al. Comfort and performance impact of personal control over thermal environment in summer: Results from a laboratory study. **Building and Environment**, [s. l.], v. 87, p. 315–326, 2015. b.
- BOGDAN, A. et al. The effect of personalized ventilation on work productivity. **International Journal of Ventilation**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 91–102, 2012.
- BOGDAN, A. et al. Sensitivity of personalized ventilation air terminal device geometry with regard to a human thermal sensation. **Science and Technology for the Built Environment**, [s. l.], v. 23, n. 7, p. 1105–1112, 2017.
- BRAGER, G.; PALIAGA, G.; DE DEAR, R. Operable windows, personal control and occupant comfort. **ASHRAE Transactions**, [s. l.], v. 110, n. 2, p. 17–35, 2004. Disponível em: <[http://escholarship.org/uc/item/4x57v1pf%0Ahttp://www.escholarship.org/help\\_copyright.html#ruse](http://escholarship.org/uc/item/4x57v1pf%0Ahttp://www.escholarship.org/help_copyright.html#ruse)>
- BRAGER, G.; ZHANG, H.; ARENS, E. Evolving opportunities of providing thermal comfort. **Taylor & Francis**, [s. l.], v. 43, n. 3, p. 1–14, 2015. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09613218.2011.556008>>

CANDIDO, C. et al. Air movement acceptability limits and thermal comfort in Brazil's hot humid climate zone. **Building and Environment**, [s. l.], v. 45, n. 1, p. 222–229, 2010. a.

CANDIDO, C. et al. Air movement acceptability limits and thermal comfort in Brazil's hot humid climate zone. **Building and Environment**, [s. l.], v. 45, n. 1, p. 222–229, 2010. b.

CHENG, X. et al. A pilot study of online non-invasive measuring technology based on video magnification to determine skin temperature. **Building and Environment**, [s. l.], v. 121, p. 1–10, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.05.021>>

CHLUDZIŃSKA, M.; BOGDAN, A. The effect of temperature and direction of airflow from the personalised ventilation on occupants' thermal sensations in office areas. **Building and Environment**, [s. l.], v. 85, p. 277–286, 2015.

DALEWSKI, M.; MELIKOV, A. K.; VESELY, M. Performance of ductless personalized ventilation in conjunction with displacement ventilation: Physical environment and human response. **Building and Environment**, [s. l.], v. 81, p. 354–364, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.07.011>>

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

DE DEAR, R.; BRAGER, G. **RP-884 Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference**, 1998. a.

DE DEAR, R.; BRAGER, G. **Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference**ASHRAE Transactions. [s.l: s.n.].

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

DE VECCHI, R. **Avaliação de conforto térmico em edificações comerciais que operam sob sistemas mistos de condicionamento ambiental em clima temperado e úmido**. 2015. Universidade Federal de Santa Catarina, [s. l.], 2015.

DE VECCHI, R. et al. Thermal comfort in office buildings: Findings from a field study in mixed-mode and fully-air conditioning environments under humid subtropical conditions. **Building and Environment**, [s. l.], v. 123, p. 672–683, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.07.029>>

DHUMANE, R. et al. Portable personal conditioning systems: Transient modeling and system analysis. **Applied Energy**, [s. l.], v. 208, n. July, p. 390–401, 2017.

DHUMANE, R. et al. Enhancing the Thermosiphon-Driven Discharge of a Latent Heat Thermal Storage System used in a Personal Cooling Device. **International Journal of Refrigeration**, [s. l.], v. 88, p. 599–613, 2018. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0140700718300501>>

EL-FIL, B.; GHADDAR, N.; GHALI, K. Optimizing performance of ceiling-mounted personalized ventilation system assisted by chair fans: Assessment of thermal comfort and indoor air quality. **Science and Technology for the Built Environment**, [s. l.], v. 22, n. 4, p. 412–430, 2016.

FANG, Z. et al. Experimental investigation on thermal comfort model between local thermal sensation and overall thermal sensation. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 158, p. 1286–1295, 2018. a.

FANG, Z. et al. Experimental investigation on thermal comfort model between local thermal sensation and overall thermal sensation. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 158, p. 1286–1295, 2018. b. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.099>>

FANGER, P. O. **Thermal Comfort: analysis and applications in environmental engineering**. Copenhagen, Dinamarca: McGraw-Hill, 1970.

FIALA, D.; LOMAS, K. J.; STOHRER, M. Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions. **Int J Biometeorol**, [s. l.], v. 45, n. 3, p. 143–159, 2001. Disponível em:

<<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cmedm&AN=11594634&site=ehost-live>>

GAO, C. et al. Personal cooling with phase change materials to improve thermal comfort from a heat wave perspective. **Indoor Air**, [s. l.], v. 22, n. 6, p. 523–530, 2012.

GAO, N.; NIU, J.; ZHANG, H. Coupling CFD and human body thermoregulation model for the assessment of personalized ventilation. **HVAC and R Research**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 497–518, 2006.

GONG, N. et al. The preference for local air movement in the facial region during long-term exposure in the tropics. In: INDOOR AIR QUALITY ( IAQ ), BUILDING RELATED DISEASES AND HUMAN RESPONSE 2006, Lisboa. **Anais...** Lisboa

GOTO, T. et al. Long-term field survey on thermal adaptation in office buildings in Japan. **Building and Environment**, [s. l.], v. 42, n. 12, p. 3944–3954, 2007.

HABCHI, C. et al. Effect of shifts from occupant design position on performance of ceiling personalized ventilation assisted with desk fan or chair fans. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 117, p. 20–32, 2016.

HALVONOVÁ, B.; MELIKOV, A. K. Performance of Ductless Personalized Ventilation in Conjunction with Displacement Ventilation: Impact of Workstations Layout and Partitions. **HVAC&R Research**, [s. l.], v. 16 (1), n. January, p. 75–95, 2010. a.

HALVONOVÁ, B.; MELIKOV, A. K. Performance of Ductless Personalized Ventilation in Conjunction with Displacement Ventilation: Impact of disturbances due to walking person(s). **Building and Environment**, [s. l.], v. 45, p. 427–436, 2010. b.

HE, M. et al. The influence of personally controlled desk fan on comfort and energy consumption in hot and humid environments. **Building and Environment**, [s. l.], v. 123, p. 378–389, 2017. a.

HE, Y. et al. Comfort, Energy Efficiency and Adoption of Personal Cooling Systems in Warm Environments: A Field Experimental Study. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 14, n. 11, p. 1408, 2017. b. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1660-4601/14/11/1408>>

HE, Y. et al. Cooling ceiling assisted by desk fans for comfort in hot-humid environment. **Building and Environment**, [s. l.], v. 122, p. 23–34, 2017. c.

HE, Y. et al. Control behaviors and thermal comfort in a shared room with desk fans and adjustable thermostat. **Building and Environment**, [s. l.], v. 136, n. March, p. 213–226, 2018.

HOOF, J. Van. Thermal comfort: research and practice. **Frontiers in Bioscience**, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 765, 2010. Disponível em: <<http://www.bioscience.org/2010/v15/af/3645/list.htm>>

HOYT, T.; ARENS, E.; ZHANG, H. Extending air temperature setpoints : Simulated energy savings and design considerations for new and retro fit buildings. **Building and Environment**, [s. l.], v. 88, p. 89–96, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.09.010>>

HUIZENGA, C.; HUI, Z.; ARENS, E. A model of human physiology and comfort for assessing complex

thermal environments. **Building and Environment**, [s. l.], v. 36, n. 6, p. 691–699, 2001.

IEA. **Energy Technology Perspectives 2017**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.iea.org/buildings/>>.

INDRAGANTI, M.; OOKA, R.; RIJAL, H. B. Thermal comfort in offices in India: Behavioral adaptation and the effect of age and gender. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 103, p. 284–295, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.05.042>>

INMET. **Dados Meteorológicos da Estação de Observação de Superfície Automática**. 2018.

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report Summary for Policymakers**. Geneva, Switzerland.

ISHIGURO, R. et al. Airflow control for personal air-conditioning in a partly unoccupied zone using a multi-flow ceiling cassette type packaged air-conditioner. **International Journal of Ventilation**, [s. l.], v. 9, n. 4, p. 393–403, 2011.

ISO 7730. **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**, International Standard, 2005.

JIANG, L.; YAO, R. Modelling personal thermal sensations using C-Support Vector Classification (C-SVC) algorithm. **Building and Environment**, [s. l.], v. 99, p. 98–106, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.01.022>>

KACZMARCZYK, J. et al. Human response to five designs of personalized ventilation. **HVAC and R Research**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 367–384, 2006.

KACZMARCZYK, J.; MELIKOV, A. K.; FANGER, P. O. Human response to personalized ventilation and mixing ventilation. **Indoor air**, [s. l.], v. 14 Suppl 8, n. Suppl 8, p. 17–29, 2004.

KALMÁR, F. An indoor environment evaluation by gender and age using an advanced personalized ventilation system. **Building Services Engineering Research and Technology**, [s. l.], v. 38, n. 5, p. 505–521, 2017.

KALMÁR, F.; KALMÁR, T. Alternative personalized ventilation. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 65, p. 37–44, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.05.010>>

KARJALAINEN, S. Thermal comfort and gender: A literature review. **Indoor Air**, [s. l.], v. 22, n. 2, p. 96–109, 2012.

KIM, J. et al. Occupant comfort and behavior: High-resolution data from a 6-month field study of personal comfort systems with 37 real office workers. **Building and Environment**, [s. l.], v. 148, n. September 2018, p. 348–360, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132318307078>>

KIM, J.; SCHIAVON, S.; BRAGER, G. Personal comfort models – A new paradigm in thermal comfort for occupant-centric environmental control. **Building and Environment**, [s. l.], v. 132, n. January, p. 114–124, 2018. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132318300350>>

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**, Verlag Justus Perthes, 1928.

KOSTIAINEN, T. et al. Modeling of Subjective Responses to Indoor Air Quality and Thermal Conditions in Office Buildings. **HVAC&R Research**, [s. l.], v. 14, n. 6, p. 905–923, 2008. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10789669.2008.10391046>>



LAMBERTS, R. et al. **Towards a Brazilian Standard on Thermal Comfort**, 2013. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/node/406>>

LIU, S. et al. A tracking cooling fan using geofence and camera-based indoor localization. **Building and Environment**, [s. l.], v. 114, p. 36–44, 2017.

LUO, M. et al. The underlying linkage between personal control and thermal comfort: psychological or physical effects? **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 111, p. 56–63, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778815303698>>

LUO, M. et al. Thermal comfort evaluated for combinations of energy-efficient personal heating and cooling devices. **Building and Environment**, [s. l.], v. 143, n. June, p. 206–216, 2018. a. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.07.008>>

LUO, M. et al. Human metabolic rate and thermal comfort in buildings: The problem and challenge. **Building and Environment**, [s. l.], v. 131, n. January, p. 44–52, 2018. b. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132318300052>>

MAKHOUL, A.; GHALI, K.; GHADDAR, N. Desk fans for the control of the convection flow around occupants using ceiling mounted personalized ventilation. **Building and Environment**, [s. l.], v. 59, p. 336–348, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.08.031>>

MAULA, H. et al. The effect of cooling jet on work performance and comfort in warm office environment. **Building and Environment**, [s. l.], v. 104, p. 13–20, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.04.018>>

MAYANK. **Top 10 Table Fans In India 2018 – Best Reviews & Price List**. 2018. Disponível em: <<https://reviewfantasy.com/top-10-best-table-fans-in-india.html>>. Acesso em: 8 nov. 2018.

MELIKOV, A. K. Personalized ventilation. **Indoor Air, Supplement**, [s. l.], v. 14, n. SUPPL. 7, p. 157–167, 2004.

MELIKOV, A. K. et al. Human response to local convective and radiant cooling in a warm environment. **HVAC and R Research**, [s. l.], v. 19, n. 8, p. 1023–1032, 2013.

MELIKOV, A. K. Advanced air distribution: Improving health and comfort while reducing energy use. **Indoor Air**, [s. l.], v. 26, n. 1, p. 112–124, 2016.

MELIKOV, A. K.; CERMAK, R.; MAJER, M. Personalized ventilation: Evaluation of different air terminal devices. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 34, n. 8, p. 829–836, 2002.

MISHRA, A. K.; LOOMANS, M. G. L. C.; HENSEN, J. L. M. Thermal comfort of heterogeneous and dynamic indoor conditions — An overview. **Building and Environment**, [s. l.], v. 109, p. 82–100, 2016.

MOKHTARI YAZDI, M.; SHEIKHZADEH, M. Personal cooling garments: a review. **Journal of the Textile Institute**, [s. l.], v. 105, n. 12, p. 1231–1250, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/00405000.2014.895088>>

NAGASHIMA, K. et al. Thermal regulation and comfort during a mild-cold exposure in young Japanese women complaining of unusual coldness. **Journal of Applied Physiology**, [s. l.], v. 92, n. 3, p. 1029–35, 2002. Disponível em: <<http://jap.physiology.org/content/92/3/1029.short%5Cnhttp://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11842036>>

NICOL, J. F. Characterising occupant behavior in buildings: Towards a stochastic model of occupant use

of windows, lights, blinds heaters and fans. **7th International IBPSA Conference**, [s. l.], p. 1073–1078, 2001.

OLESEN, B. W. Revision of EN15251 standard related to criteria for the indoor environment . **7th Windsor Conference: The changing context of comfort in an unpredictable world**, [s. l.], n. April, p. 12–15, 2012.

PANTELIC, J.; RAPHAEL, B.; THAM, K. W. A preference driven multi-criteria optimization tool for HVAC design and operation. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 55, p. 118–126, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.04.021>>

PARKINSON, T.; DE DEAR, R. Thermal pleasure in built environments : spatial alliesthesia from air movement. [s. l.], 2016.

PASUT, W. et al. Enabling energy-efficient approaches to thermal comfort using room air motion. **Building and Environment**, [s. l.], v. 79, p. 13–19, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.04.024>>

PASUT, W. et al. Energy-efficient comfort with a heated / cooled chair : Results from human subject tests. **Building and Environment**, [s. l.], v. 84, p. 10–21, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.10.026>>

RUPP, R.; VÁSQUEZ, N. G.; LAMBERTS, R. A review of human thermal comfort in the built environment. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 105, p. 178–205, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.047>>

SAKOI, T. et al. Cooling clothing utilizing water evaporation. In: INDOOR AIR 2014 - 13TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDOOR AIR QUALITY AND CLIMATE 2014, **Anais...** [s.l: s.n.]

SCHIAVON, S. et al. Thermal comfort, perceived air quality, and cognitive performance when personally controlled air movement is used by tropically acclimatized persons. **Indoor Air**, [s. l.], v. 27, n. 3, p. 690–702, 2017.

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

SCHIAVON, S.; MELIKOV, A. K. Introduction of a cooling-fan efficiency index. **HVAC and R Research**, [s. l.], v. 15, n. 6, p. 1121–1144, 2009.

SCHIAVON, S.; MELIKOV, A. K.; SEKHAR, C. Energy analysis of the personalized ventilation system in hot and humid climates. **Energy & Buildings**, [s. l.], n. May, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.11.009>>

SEKHAR, S. C. et al. Findings of personalized ventilation studies in a hot and humid climate. **HVAC and R Research**, [s. l.], v. 11, n. 4, p. 603–620, 2005.

SHAHZAD, S. et al. Energy and comfort in contemporary open plan and traditional personal offices. [s. l.], v. 185, p. 1542–1555, 2017.

SHETTY, S. S. et al. Personal thermal comfort management in existing office buildings using energy-efficient fans. **IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference)**, [s. l.], p. 7083–7088, 2016.

SILVA, A. S.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Algoritmos em linguagem R para análises de conforto térmico de acordo com os métodos da ASHRAE Standard 55**, 2018. Disponível em: <[https://github.com/labeee/package\\_thermalcomfort](https://github.com/labeee/package_thermalcomfort)>

SIMONE, A. et al. Thermal comfort assessment of danish occupants exposed to warm environments and preferred local air movement. **Indoor Air 2014 - 13th International Conference on Indoor Air Quality and Climate**, [s. l.], p. 411–418, 2014. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84924678156&partnerID=40&md5=c267f839f02c4ad091d122f8723cacf0>>

SKWARCZYNSKI, M. A.; DUDZINSKA, M. R.; SIMCZAK, A. Performance of new type of personalized ventilation air terminal devices. [s. l.], 2007.

SONG, W.; WANG, F.; WEI, F. Hybrid cooling clothing to improve thermal comfort of office workers in a hot indoor environment. **Building and Environment**, [s. l.], v. 100, p. 92–101, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.02.009>>

SUN, W.; CHEONG, K. W. D.; MELIKOV, A. K. Subjective study of thermal acceptability of novel enhanced displacement ventilation system and implication of occupants' personal control. **Building and Environment**, [s. l.], v. 57, p. 49–57, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.04.004>>

TAHERI, M. et al. A Comparative field study of space ventilation systems. In: INDOOR AIR 2014 - 13TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDOOR AIR QUALITY AND CLIMATE 2014, **Anais...** [s.l.: s.n.]

TAHERI, M. et al. A performance assessment of an office space with displacement, personal, and natural ventilation systems. **Building Simulation**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 89–100, 2016.

TANABE, S. I. et al. Evaluation of thermal comfort using combined multi-node thermoregulation (65MN) and radiation models and computational fluid dynamics (CFD). **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 34, n. 6, p. 637–646, 2002.

TOFTUM, J. et al. Human response to air movement—evaluation of ashrae's draft criteria (rp-843). **HVAC and R Research**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 187–202, 2003.

VENTISOL. **MINI VENTILADOR - MINI USB**. 2015. Disponível em: <<http://www.ventisol.com.br/produtos/categoria/ventiladores/subcategoria/ventilador-de-mesa/detalhes/mini-ventilador-miniusb.html>>. Acesso em: 8 nov. 2018.

VERHAART, J.; LI, R.; ZEILER, W. User interaction patterns of a personal cooling system: A measurement study. **Science and Technology for the Built Environment**, [s. l.], v. 24, n. 1, p. 57–72, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/23744731.2017.1333365>>

VESELÝ, M.; ZEILER, W. Personalized conditioning and its impact on thermal comfort and energy performance - A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 34, p. 401–408, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.024>>

VISCHER, J. C. The Concept of Workplace to Managers. [s. l.], v. 49, n. 2, p. 1–18, 2006.

WANG, Y. et al. Experimental investigation on the airflow characteristics of an attachment-based personalized ventilation method. **Building Services Engineering Research and Technology**, [s. l.], v. 37, n. 6, p. 710–729, 2016.

WANG, Z. et al. Individual difference in thermal comfort: A literature review. **Building and Environment**, [s. l.], v. 138, p. 181–193, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.04.040>>

WATANABE, S.; SHIMOMURA, T.; MIYAZAKI, H. Thermal evaluation of a chair with fans as an individually controlled system. **Building and Environment**, [s. l.], v. 44, n. 7, p. 1392–1398, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.05.016>>

WHO, W. H. O. **Body mass index - BMI**. [s.d.]. Disponível em: <<http://www.euro.who.int/en/health-topics/disease-prevention/nutrition/a-healthy-lifestyle/body-mass-index-bmi>>. Acesso em: 24 jan. 2019.

XIE, Y. et al. Influence of sinusoidal airflow and airflow distance on human thermal response to a personalized ventilation system. **Indoor and Built Environment**, [s. l.], v. 27, n. 3, p. 317–330, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1177/1420326X16674064>>

XU, Z. et al. Optimal coordination of air conditioning system and personal fans for building energy efficiency improvement &. **Energy & Buildings**, [s. l.], v. 141, p. 308–320, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.051>>

YAN, H. et al. Further development of a thermal comfort based fuzzy logic controller for a direct expansion air conditioning system. **Applied Energy**, [s. l.], v. 219, n. December 2017, p. 312–324, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.045>>

YANG, B.; SEKHAR, C.; MELIKOV, A. K. Ceiling mounted personalized ventilation system in hot and humid climate - An energy analysis. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 42, n. 12, p. 2304–2308, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.07.022>>

YANG, L.; YAN, H.; LAM, J. C. Thermal comfort and building energy consumption implications – A review. **Applied Energy**, [s. l.], v. 115, p. 164–173, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.062>>

YANG, W.; ZHANG, G. Air movement preferences observed in naturally ventilated buildings in humid subtropical climate zone in China. **International Journal of Biometeorology**, [s. l.], v. 53, n. 6, p. 563–573, 2009.

YU, Z. (Jerry) et al. Utility of cooling overshoot for energy efficient thermal comfort in temporarily occupied space. **Building and Environment**, [s. l.], v. 109, p. 199–207, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.09.020>>

ZHAI, Y. et al. Comfort under personally controlled air movement in warm and humid environments. **Building and Environment**, [s. l.], v. 65, p. 109–117, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.03.022>>

ZHAI, Y. et al. Selecting air speeds for cooling at sedentary and non-sedentary office activity levels. **Building and Environment**, [s. l.], v. 122, p. 247–257, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.06.027>>

ZHANG, H. et al. Thermal sensation and comfort models for non-uniform and transient environments: Part I: Local sensation of individual body parts. **Building and Environment**, [s. l.], v. 45, n. 2, p. 380–388, 2010. a.

ZHANG, H. et al. Thermal sensation and comfort models for non-uniform and transient environments: part II: Local comfort of individual body parts. **Building and Environment**, [s. l.], v. 45, n. 2, p. 389–398, 2010. b. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.015>>

ZHANG, H. et al. Thermal sensation and comfort models for non-uniform and transient environments, part III: Whole-body sensation and comfort. **Building and Environment**, [s. l.], v. 45, n. 2, p. 399–410, 2010. c. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.020>>

ZHANG, H. et al. Comfort, perceived air quality, and work performance in a low-power task – ambient conditioning system. **Building and Environment**, [s. l.], v. 45, n. 1, p. 29–39, 2010. d. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.02.016>>

ZHANG, H.; ARENS, E.; PASUT, W. Air temperature thresholds for indoor comfort and perceived air quality. **Building Research and Information**, [s. l.], v. 39, n. 2, p. 134–144, 2011.

ZHANG, H.; ARENS, E.; ZHAI, Y. A review of the corrective power of personal comfort systems in non-neutral ambient environments. **Building and Environment**, [s. l.], v. 91, p. 15–41, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.03.013>>

ZHANG, Y.; ZHAO, R. Overall thermal sensation, acceptability and comfort. **Building and Environment**, [s. l.], v. 43, n. 1, p. 44–50, 2008.

ZHAO, Y. et al. Thermal sensation and comfort models for non-uniform and transient environments, part IV: Adaptive neutral setpoints and smoothed whole-body sensation model. **Building and Environment**, [s. l.], v. 72, p. 300–308, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.11.004>>

## APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO PRINCIPAL

## Conforto térmico em ambientes de escritório com sistemas personalizado - Parte1

Você foi convidado a participar da pesquisa a seguir que integra uma tese da pós graduação do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Este estudo tem por objetivo avaliar o conforto térmico dos usuários em ambientes de trabalho com o uso de sistemas personalizados de intensificação da velocidade do ar.

Sua participação é totalmente voluntária, seus dados serão armazenados de forma anônima, nenhum participante será identificado de forma individual e os dados serão utilizados apenas para fins acadêmicos e educacionais.

Não há respostas certas ou erradas, por favor, responda conforme achar mais adequado e utilize os sistemas de controle da forma usual.

Clicando abaixo você confirma que compreendeu e está de acordo com as instruções acima.

NEXT

Never submit passwords through Google Forms.

### Perfil do usuário

Qual seu nome? \*

Your answer \_\_\_\_\_

Identifique o seu gênero: \*

- Feminino
- Masculino
- Other: \_\_\_\_\_

Identifique a sua faixa etária: \*

- menos de 20
- 20 a 25 anos
- 26 a 30 anos
- 31 a 40 anos
- 41 a 50 anos
- mais de 50

Indique seu peso aproximado (em kg) \*

Your answer \_\_\_\_\_

Indique sua altura aproximada (em m) \*

Your answer \_\_\_\_\_

**Histórico**

Há quanto tempo você trabalha neste edifício? \*

- menos de 1 ano  
 mais de 1 ano

De modo geral, nos dias quentes você prefere ficar em espaços com: \*

- Ar condicionado  
 Ventilação Natural apenas  
 Ventilação Natural com ventilador  
 Ar condicionado com ventilador

**Atividade**

Como você descreveria sua atividade, predominante, dos últimos 20 minutos: \*

- Sentado com poucos movimentos do corpo.  
 Sentado realizando movimentos constante dos braços e do torço.  
 De pé, relaxado.  
 Caminhando lentamente pelo ambiente.  
 Caminhando rapidamente pelo ambiente.

**Vestimenta**

Qual imagem melhor descreve sua vestimenta neste momento?



1



2



3



4



5

### Conforto térmico

Como você avalia o ambiente térmico neste momento? \*

- Aceitável.  
 Inaceitável.

Qual sua sensação térmica neste momento? \*

	Muito Frio	Frio	Levemente com frio	Neutro	Levemente com calor	Calor	Muito Calor
Sensação	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Como você avalia a temperatura neste momento? \*

	Muito Confortável	Apenas Confortável	Apenas Desconfortável	Muito desconfortável
Conforto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Você preferia a temperatura do ambiente, neste momento, estivesse: \*

	Mais quente	Como está	Mais fria
Preferência temperatura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

### Qualidade e Movimento do ar

Como você avalia a qualidade do ar neste momento (odor, pureza, etc.)? \*

- Aceitável.  
 Inaceitável.

Como você avalia o movimento do ar neste momento? \*

- Aceitável.  
 Inaceitável.

Você gostaria que o movimento do ar, neste momento, fosse: \*

	Maior	Como está	Menor
Preferência movimento do ar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



**Conforto localizado**

Você sente, desconforto por excesso de vento, neste momento, em alguma das seguintes partes do corpo:

	Cabeça	Tórax	Costas	Braços	Mãos	Pernas
Excesso de vento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Você sente desconforto por excesso de calor, neste momento, em alguma das seguintes partes do corpo:

	Cabeça	Tórax	Costas	Braços	Mãos	Pernas
Calor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Você sente desconforto por excesso de frio, neste momento, em alguma das seguintes partes do corpo:

	Cabeça	Tórax	Costas	Braços	Mãos	Pernas
Frio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Ventilador de mesa**

Neste momento, seu ventilador de mesa está: \*

Ligado  
 Desligado  
 Eu não possuo ventilador

**Uso atual do ventilador**

Em qual velocidade ele está operando nesse momento? \*

	1	2	3
Velocidade	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Para qual ou quais parte(s) do seu corpo o vento está direcionado no momento? \*

	Rosto	Pescoço	Mãos	Tórax (peito)	Não está direcionado para mim
Locais	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Comparado à situação com ventilador desligado, você sente que seus olhos estão: \*

	Mais ressecados	Iguais, não sinto alteração	Menos ressecados
Olhos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Comentários**

Caso queira, por favor, deixe seu comentário abaixo:

Your answer

## APÊNDICE B - QUESTIONÁRIO FINAL

### Avaliação do equipamento

Após este experimento, em qual condição você preferiria trabalhar durante os dias quentes (marque apenas uma opção para todo o conjunto):

	Sem ventilador	Com ventilador	Indiferente quanto ao ventilador
Apenas ar condicionado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Apenas ventilação natural	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Principalmente com ar condicionado e, ventilação natural eventualmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Principalmente com ventilação natural e, ar condicionado eventualmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Durante o experimento, quais os motivos que te levaram a utilizar o ventilador?

- Para sentir menos calor nos dias quentes.
- Para aumentar a velocidade do ar nos momentos de calor.
- Para sentir um vento constante.
- Para me refrescar ao chegar.
- Para me manter acordado(a).
- Porque gostei do ruído.
- Nenhuma, eu praticamente não o utilizei.
- Other: \_\_\_\_\_

Durante o experimento, quais os motivos que te levaram a não utilizar o ventilador?

- Produz muito ruído.
- Eu não gosto de vento.
- A velocidade mínima era muito alta e gerava desconforto.
- O ventilador não foi suficiente para reduzir minha sensação de calor.
- Prefiro ligar o ar condicionado quando sinto calor.
- Não senti necessidade, me sentia confortável.
- Nenhuma, eu utilizei o ventilador constantemente.
- Other: \_\_\_\_\_

Qual sua opinião sobre as afirmações a seguir:

	Concordo completamente	Concordo parcialmente	Não concordo nem discordo	Discordo parcialmente	Discordo totalmente
O ventilador reduziu minha sensação de calor.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
O ventilador aumentou meu conforto térmico.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
O ventilador aumentou a qualidade do ar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
O ventilador aumentou minha capacidade de controle das condições do ambiente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Eu gostaria de possuir um ventilador.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

### Controle do ambiente

Com relação ao controle das condições do ambiente, você: \*

- Gostaria de possuir mais controle
- Possui controle suficiente
- Gostaria de possuir menos controle

BACK

NEXT

Never submit passwords through Google Forms.

### Mais controle

De que forma você gostaria de ampliar seu controle sobre o ambiente?

- Possuir um ventilador.
- Poder controlar o acionamento e temperatura do ar condicionado segundo sua preferência.
- Poder abrir e fechar as janelas segundo sua preferência.
- Todas as anteriores.
- Other: \_\_\_\_\_

### Menos controle

Por quais motivos você gostaria de possuir menos controle?

- Considera que os controles geram discussões desagradáveis entre as pessoas.
- Considera que não sabe utilizar os controles de forma adequada.
- Considera que ter que controlar o ambiente te distrai de realizar o seu trabalho.
- Prefere que outra pessoa controle o ambiente.
- Todas as anteriores.
- Other: \_\_\_\_\_

### Comentários

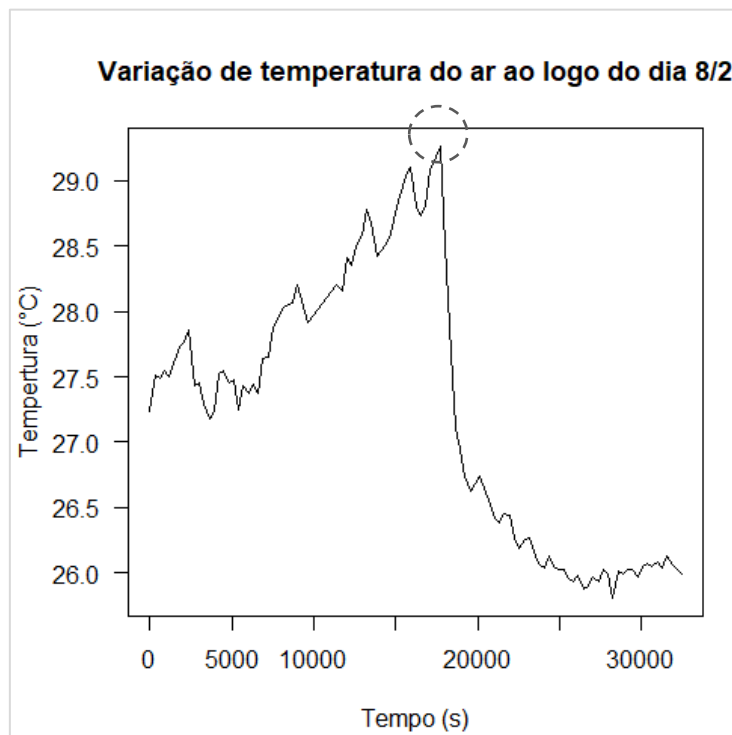
Caso queira, por favor, deixe seu comentário abaixo:

Your answer \_\_\_\_\_

## APÊNDICE C - ACIONAMENTO DO AR CONDICIONADO

O acionamento do ar condicionado gera uma queda abrupta de temperatura do ar e também reduz a umidade relativa. Assim, analisando as temperaturas do ar medidas ao longo de cada dia de levantamento, com os confortímetros Sensu, foi possível identificar o momento de acionamento do ar condicionado, pois é o momento que precede a queda abrupta de temperatura, como ilustra o Gráfico 58. Nesse gráfico, no ponto circulado ocorre o acionamento do ar condicionado.

Gráfico 58. Variação de temperatura do ar por tempo no dia 8 de fevereiro no escritório A.



A partir da identificação do momento de acionamento em cada um dos dias de levantamento, foi produzida a tabela a seguir com a respectiva temperatura do ar e horário do dia.

Tabela 27. Momento de acionamento do ar condicionado.

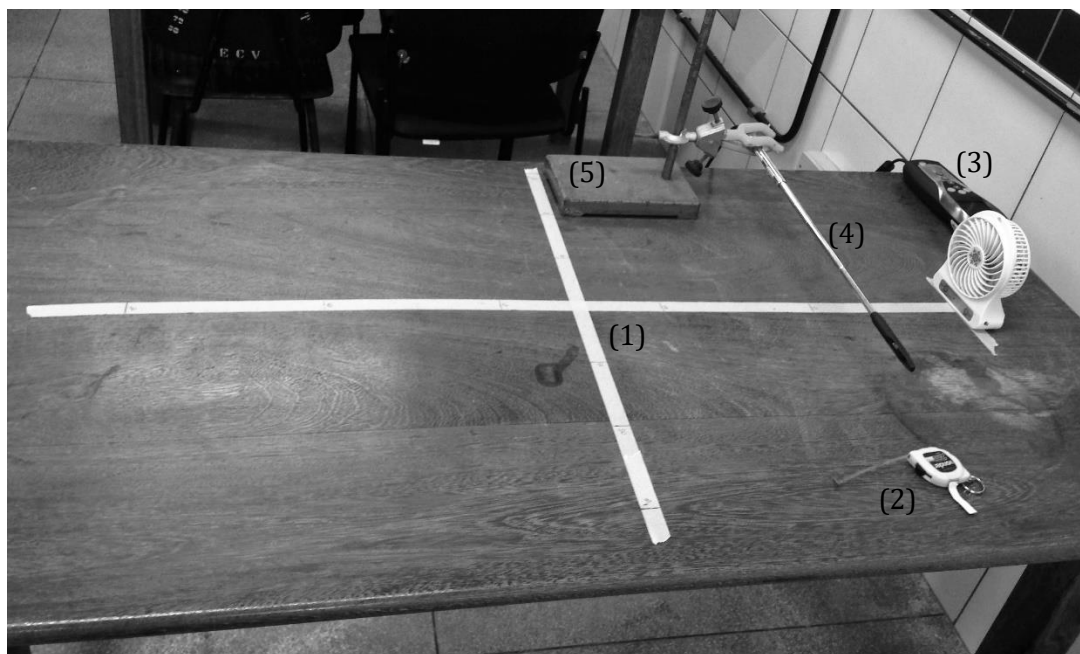
Escritório A		
Data	Temperatura (°C)	Horário (h)
23.1	30	12:24
24.1	30.3	12:42
25.1	27.7	15:14
26.1	não foi acionado	
29.1	28.8	13:09
30.1	28.8	15:33
31.1	não foi acionado	
1.2	não foi acionado	
2.2	28	13:00
5.2	não foi acionado	
6.2	não foi acionado	

7.2	29.2		13:29	
8.2	29.3		13:22	
9.2	28.7		09:45	
Escritório B	Ala Norte		Ala Sul	
Data	Temp. (°C)	Horário (h)	Temp. (°C)	Horário (h)
28.2	26.2	12:32	26.8	12:29
1.3	acionado antes do início do experimento			
2.3	acionado antes do início do experimento			
5.3	27.9	10:20	27.7	11:51
6.3	26.2	10:31	25.6	13:03
7.3	não foi acionado		26.4	14:54
8.3	não foi acionado		27	13:43
9.3	27.4	10:41	não foi acionado	
12.3	acionado antes do início do exp.		não foi acionado	
13.3	27.9	13:11	27.2	11:44
14.3	28.2	12:19	26.5	13:40
16.3	28.9	13:26	não foi acionado	

## APÊNDICE D - CAMPO DE VELOCIDADES DO VENTILADOR

O campo de velocidades do ventilador foi definido pela medição da velocidade do ar em pontos imaginários de uma malha retilínea em frente ao ventilador com sua ativação nas três velocidades de acionamento possíveis. A malha de pontos foi definida com espaçamento de 10cm de espaçamento no eixo x, considerando o zero com o eixo central do ventilador. No eixo, perpendicular ao ventilador, o espaço foi definido em 20cm, porém o ponto central, de intersecção entre eixos foi também medido. Os eixos foram desenhados sobre uma mesa com fita adesiva (Figura 20, item 1) e auxílio de uma trena (Figura 20, item 2). A altura inicial de medição foi 10cm, que corresponde, aproximadamente ao ponto central do ventilador, no eixo z. Assim, a largura total da malha é de 40cm (20 para cada lado do ventilador), 1 metro de distância máxima do ventilador e 20 cm de altura máxima. A velocidade do ar a 30 cm foi muito baixa, assim como as velocidades a mais de 20cm do eixo horizontal do ventilador.

Figura 20. Medição do campo de velocidades do ar.



O equipamento de medição utilizado foi um anemômetro de fio quente de alta precisão (Figura 20, item 3), da marca Testo, modelo 435, com resolução de 0,01m/s e faixa de medição de 0 a 20 m/s. Assim como o Airflow, ele possui um display digital (Figura 20, item 3) e um braço retrátil (Figura 20, item 4) para medição unidirecional da velocidade do ar. Para estabilizar o equipamento e manter a precisão do ponto de medição, foi utilizado um suporte metálico (Figura 20, item 5) com uma pinça para fixar o braço retrátil durante a medição. No levantamento houve grande dificuldade para definir os valores, o equipamento apresentava grande variação no registro, que deve ser decorrente da alta turbulência gerada pelo ventilador. Os valores registrados correspondem ao valor médio medido em 1 minuto. Nos gráficos a seguir, Gráfico 59, Gráfico 60 e Gráfico 61, as coordenadas dos pontos de medição são indicadas nos eixos x (distância em relação ao eixo central do ventilador), y (distância perpendicular da face frontal do ventilador) e z ( altura desde a base do ventilador) e o tamanho e cor dos pontos seguem a mesma escala que indica a velocidade do ar medida.

Gráfico 59. Velocidades do ar – seleção 1.

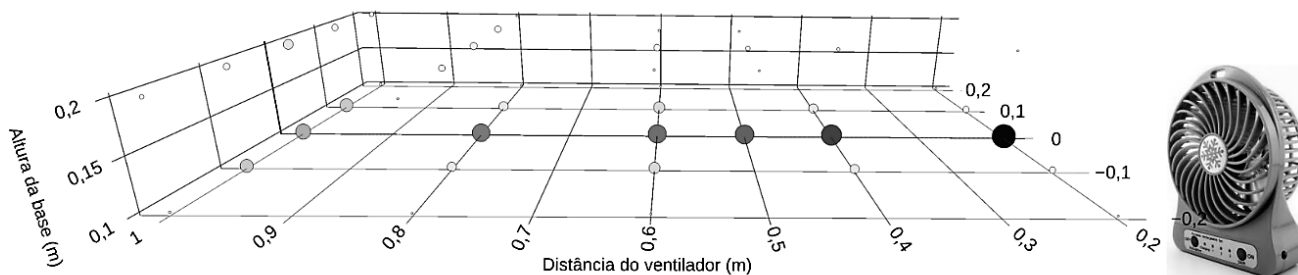


Gráfico 60. Velocidades do ar – seleção 2.

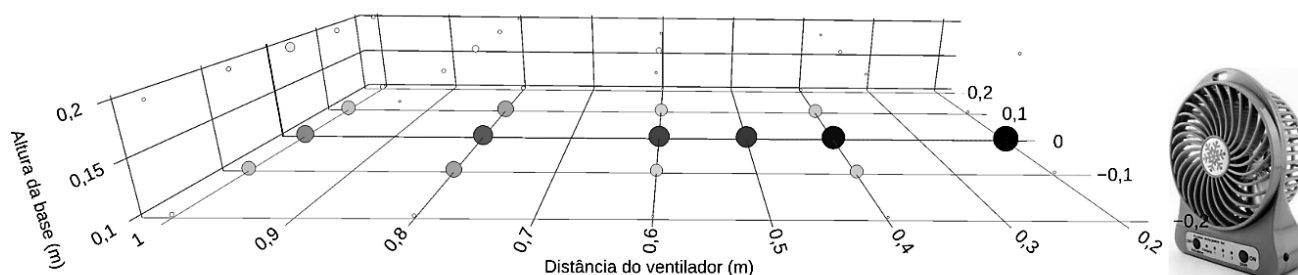
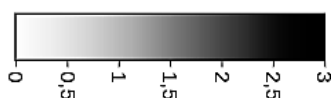
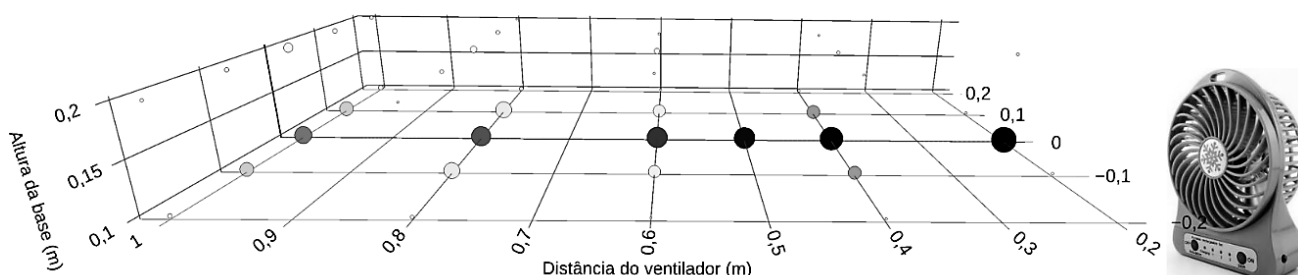


Gráfico 61. Velocidades do ar – seleção 3.



Legenda

Velocidade do ar (m/s)



## APÊNDICE E - ENTREVISTA ESTRUTURADA

Durante a busca de ambientes para aplicação do método proposto, foram encontrados alguns espaços de escritório em que os usuários já utilizavam ventiladores pessoais de tipos variados. Infelizmente, não foi possível realizar levantamento de campo nesses ambientes por inviabilidade de acesso, tempo e outras barreiras. Porém, uma entrevista estruturada foi aplicada a um usuário de cada um dos escritórios para que um panorama de uso dos ventiladores nesses ambientes de trabalho e suas motivações pudessem ser definidas para comparação com os resultados encontrados.

As Questões principais apresentadas foram:

1. Como é o seu espaço de trabalho?
2. Todos os usuários possuem ventilador no seu escritório?
3. Todos possuem o mesmo tipo de ventilador?
4. Quem adquiriu o ventilador?
5. Qual o motivo o leva a utilizar e/ou possuir um ventilador?
6. Você poderia, por favor, enviar uma foto do(s) ventilador(es)?

Os resultados são apresentados na tabela e imagens a seguir.

*Tabela 28. Resultados das entrevistas estruturadas.*

Escritório	S	C	G	U	F
Cidade/ Estado	Florianópolis/ SC	Florianópolis/ SC	São Paulo/ SP	São Paulo/ SP	São Paulo/ SP
Tipo de edifício	Comercial	Institucional	Comercial	Institucional	Industrial
Tipo de ambiente	Planta aberta	Planta aberta e salas indiv.	Planta aberta	Planta aberta e salas indiv.	Planta aberta
Modo de refrigeração	Condicionado	Condicionado	Condicionado	Modo misto	Modo misto
Controle	Central, com ajuste por setor do prédio	Central	Central com abertura de janelas perimetrais	Split e abertura de janelas com controle individual	Split e abertura de janelas com controle compartilhado
Quantos usuários possuem ventilador	5 de 1000	A maioria	Alguns	6 de 30	Todos
Adquirido por	Usuário	Usuário	Usuário	Usuário	Usuário
Variação dos ventiladores	Tipo e marca únicos	Tipo único marca variada	Tipo único marca variável	Tipos e marcas variadas	Tipo único
Tipo de ventilador	Mini 20cm Mesa 4 vel. USB	30 cm mesa vel. variável	Mini USB mesa	4 circuladores de ar no piso e 1 de pedestal e 1	Mini USB mesa

				Mini USB de mesa	
Número de Vel.	2	Mais de uma	1	Variado	1
Motivo	Desconforto constante de usuários apesar do constante ajuste da temperatura e posição das saídas de ar	Ineficiência do sistema de climatização	Desconforto causado por sistema ineficiente radiação solar próximo a janelas	Não há consenso no controle dos sistemas, o que gera desconforto a alguns usuários	Ineficiência do sistema de climatização, principalmente durante o verão
Uso	Um usuário constante, demais nos dias quentes	Constante	Durante grande parte do ano	Variado	Nos dias mais quentes
Obs.		Deixaram de usar os ventiladores após reforma do AC e as pessoas mudaram de lugar.	Deixaram de usar os ventiladores após reforma do AC.		

Figura 21. Fotos escritório S – usuários com ventiladores.

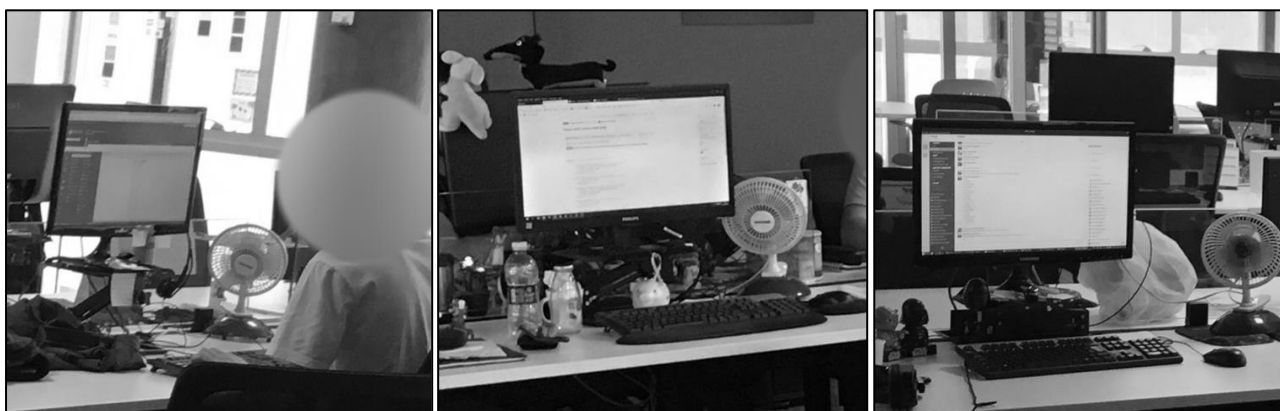


Figura 22. Foto escritório C – mesa com ventilador.



Figura 23. Foto escritório G – mesa com ventilador.



Figura 24. Foto escritório U – tipos de ventiladores.



Figura 25. Foto escritório F – mesa com ventilador.

