

Universidade de São Paulo
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Departamento de Tecnologia da Arquitetura

Carolina Abrahão Alves

**A produção recente de edifícios residenciais em
São Paulo:
desempenho e conforto térmico
no contexto urbano e climático em transição**

São Paulo
2019

Carolina Abrahão Alves

A produção recente de edifícios residenciais em
São Paulo:
desempenho e conforto térmico no contexto urbano e
climático em transição

Versão corrigida

Tese apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutora em Ciências.

Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura

Orientadora Profa. Dra. Denise Helena Silva Duarte

Coorientadora: Profa. Dra. Joana Carla Soares Gonçalves

EXEMPLAR REVISADO E ALTERADO EM RELAÇÃO À VERSÃO ORIGINAL SOB RESPONSABILIDADE DA AUTORA E ANUÊNCIA DA ORIENTADORA.

A versão original, em formato digital, ficará arquivada na Biblioteca da Faculdade.

São Paulo, 27 de maio de 2019.

São Paulo

2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação
Serviço Técnico de Biblioteca
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo

Alves, Carolina Abrahão

A produção recente de edifícios residenciais em São Paulo: desempenho e conforto térmico no contexto urbano e climático em transição / Carolina Abrahão Alves; orientadora Denise Helena Silva Duarte. coorientador Joana Carla Soares Gonçalves - São Paulo, 2019.

245 p.

Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. Área de concentração: Tecnologia da Arquitetura.

1. Conforto Térmico. 2. Desempenho Térmico. 3. Simulação Computacional Termodinâmica. 4. Edifícios Residenciais. I. Duarte, Denise Helena Silva, orient. II. Gonçalves, Joana Carla Soares, coorient. III. Título.

À minha família, com carinho.

Agradecimentos

À minha orientadora, Profa. Dra. Denise Helena Silva Duarte, por todo o aprendizado, por não medir esforços para ajudar a todos e enriquecer os trabalhos; pelo rico convívio, pela compreensão e pela amizade.

À minha coorientadora, Profa. Dra. Joana Carla Soares Gonçalves, pelo compartilhamento de conhecimentos, pelo carinho e por toda a atenção dispensada.

A todo o time do Labaut:

- O técnico Ranieri Higa, pela contribuição, principalmente no trabalho de medições;
- Os professores que, como um conjunto, contribuem para o conhecimento na área de conforto ambiental;
- Aos alunos, colegas de jornada. Em especial aos amigos ligados à orientadora/supervisora Prof. Dra. Denise Helena Silva Duarte: Paula Shinzato, Carolina dos Santos Gusson, Luciana Schwandner Ferreira, Melissa Belato Fortes, Fernanda Panotim Tsuda, Priscila Weruska Stark da Silva e Augusto Longarine. Agradeço particularmente à Carolina dos Santos Gusson pela cessão de dados medidos em campo.

Aos voluntários e suas famílias que gentilmente permitiram a realização de levantamentos em suas residências.

Ao Prof. Dr. Leonardo M. Monteiro, pelo suporte oferecido em momentos importantes.

Ao Prof. Dr. Fábio L. T. Gonçalves (IAG/USP) por todo o apoio relacionado a aspectos climáticos.

Ao Prof. Dr. Alberto Hernandez Neto (POLI/USP), pela ótima conversa e demais consultas ligadas às simulações computacionais de desempenho térmico.

À biblioteca da FAU/USP pelo suporte essencial para o acesso a materiais importantes para o estudo.

À Fapesp, pelo apoio financeiro (processo nº 2016/02825-5) que possibilitou a aquisição do software de simulação computacional termodinâmica "Tas".

À Universidade de São Paulo, onde pude me graduar, realizar meu mestrado e este doutorado.

A todos os professores, que de alguma maneira contribuíram para a minha formação e para o meu aprendizado.

Aos colegas de trabalho pela paciência e compreensão.

A todos os amigos, de longe e de perto, de cujo convívio muitas vezes precisei me ausentar.

Ao Alexandre pelo carinho, pela força e por todo o apoio e toda a ajuda nessa longa jornada.

À minha família, em especial, aos meus pais.

Resumo

ALVES, Carolina Abrahão. **A produção recente de edifícios residenciais em São Paulo: desempenho e conforto térmico no contexto urbano e climático em transição.** 2019. 257p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

O objeto deste trabalho é o desempenho térmico da produção recente de edifícios residenciais multifamiliares em São Paulo, lançados entre 2005 e 2014, considerando o contexto urbano e climático em transição, visando às condições de conforto térmico. O objetivo é quantificar, por meio de estudos paramétricos com simulações computacionais termodinâmicas, o efeito de elementos, tanto intrínsecos quanto externos, aos edifícios sobre as condições de conforto térmico no clima atual e, em um segundo momento, no futuro (cerca de 50 anos à frente) identificando as melhores estratégias de projeto e operação para o conforto térmico. A hipótese é de que algumas práticas de projeto e operação correntes nos edifícios residenciais multifamiliares, que incluem o uso da varanda como ambiente interno da unidade e a vedação envidraçada de maiores proporções, tudo isso conjugado com as pequenas dimensões das unidades e os decorrentes prejuízos à ventilação natural, fazem com que esse estoque edificado, operando em modo naturalmente ventilado, apresente um desempenho térmico insatisfatório para o conforto térmico, e que isso vai ocorrer em uma parcela considerável do tempo de uso. No entanto, a varanda, valorizada nos edifícios residenciais multifamiliares verticais recentes, quando usada de fato como elemento de transição, consegue ser o vetor de melhoria do conforto térmico interno através da promoção de diferentes possibilidades de operação, incluindo sombreamento e ventilação. O estudo parte de uma leitura de grandes temas relacionados, passa por estudos de casos reais de apartamentos residenciais e estudos de clima urbano e realiza simulações computacionais termodinâmicas de desempenho térmico de uma unidade residencial considerada representativa da produção recente do mercado imobiliário de edifícios verticais multifamiliares. O método é indutivo, por meio de levantamentos de dados e elaboração de um modelo representativo (Ap Base) para as simulações computacionais, e dedutivo, por meio de comparações entre os diversos resultados obtidos pelas simulações computacionais nas diferentes configurações propostas. Dos estudos de simulação computacional depreende-se que, para os padrões construtivos de unidades residenciais em edifícios verticais praticados pelo mercado, alcançar o conforto ambiental em modo de operação naturalmente ventilado será um desafio de maiores dimensões nos cenários de aquecimento global e urbano vislumbrados. A diminuição de massa térmica aliada ao aumento das superfícies envidraçadas não sombreadas e reduzidas possibilidades de ventilação nos ambientes são os principais fatores que contribuem para o aquecimento em edificações. A presença da varanda, por sua vez, é positiva quando ela assume diversas possibilidades de configuração, atuando e sendo ocupada como um ambiente de transição de fato e não como um dos cômodos internos à residência; deste modo ela pode ser vetor das melhores práticas de operação na busca do conforto térmico. Portanto, os resultados comprovam a hipótese inicial, destacando-se que elementos que possibilitem a operação das aberturas, em especial aquelas ligadas à varanda, a saber, envidraçamento externo, porta entre varanda e estar e elemento sombreador externo, precisam estar disponíveis para serem operados pelo usuário, que deve estar apto a perceber as melhores possibilidades de operação e realizá-las.

Palavras-chave: Conforto térmico. Desempenho térmico. Simulação computacional termodinâmica. Edifícios residenciais. Mudanças climáticas. Ilha de calor urbana.

Abstract

ALVES, Carolina Abrahão. **The recent residential building production in São Paulo: performance and thermal comfort in the urban and climate transition context.** 2019. 257p. Thesis (Doctoral) - Faculty of Architecture and Urbanism, University of São Paulo, São Paulo, 2019.

The objective of this work is the thermal performance of the recent multifamily residential building production in São Paulo, launched between 2005 and 2014, considering the urban and the transition climate contexts aiming at the thermal comfort conditions. The objective is to quantify, through parametric studies using thermodynamic computational simulations, the effect of both intrinsic and external elements on the thermal comfort conditions in the current climate and, in a second moment, in the future about 50 years ahead, identifying the best design and operation strategies for the thermal comfort. The hypothesis is that some current design and operation practices in multifamily residential buildings, which include the use of the balcony as an interior environment and the large glass enclosures combined with the apartment's small area and the insufficient natural ventilation possibilities, result in poor thermal comfort performance of this free running building stock in a considerable part of its lifespan. However, the balcony, valued in the recent multi-family residential buildings, when in fact used as a transition space, can be the vector of internal thermal comfort improvements by promoting different operation possibilities, including shading and ventilation. This study starts from a broader context, observing real residential apartments' study cases, going into urban climate studies and performing thermodynamic simulations of a residential apartment considered representative of the recent vertical multifamily building production of the local real estate market. The method is inductive, through data surveys and elaboration of a representative model (Ap Base) for the simulations, and deductive, through comparisons between the several results obtained by the simulations in the different configurations proposed. From the simulation studies, it can be concluded that, for the building standards of residential apartments in vertical buildings practiced by the market, achieving thermal comfort in free running mode will be a major challenge in the envisioned global and urban heating scenarios. The decrease of the thermal mass coupled with the unshaded large glazed surface area and reduced ventilation possibilities are the main factors for the building heating. The balcony, in turn, is positive when it assumes several configuration possibilities, acting and being occupied as a transitional environment in fact and not as an interior room; in this way it can be a vector of the best operating practices in the search for thermal comfort. Therefore, the results confirm the initial hypothesis, emphasizing that elements allowing the opening operation, especially the ones connected to the balcony, namely external glazing, door between balcony and living room and external shade element, must be available to be operated by the user, who must be able to perceive the best possible operation and perform it.

Keywords: Thermal comfort. Thermal performance. Thermodynamic simulations. Residential building. Climate change. Urban heat island.

Lista de Ilustrações

Figura 1. Fluxograma esquemático da tese.	5
Figura 2. Distribuição anual do número de unidades residenciais lançadas (apartamentos e casas em condomínio). Fonte: EMBRAESP, 2015. Para este trabalho foi selecionado o período de 2005 a 2014.	7
Figura 3. Palácio Gustavo Capanema. Fonte: ANDRADE, 2007 (foto Nelson Kon).	10
Figura 4. Brises na fachada norte do Palácio Gustavo Capanema. Fonte: CORBELLA e YANNAS, 2009.	10
Figura 5. Edifícios no Parque Guinle. Fonte: FRACALOSSO, 2011b (foto de Nelson Kon).	10
Figura 6. Interior de unidade residencial no Parque Guinle. Fonte: FRACALOSSO, 2011b (foto de Nelson Kon).	10
Figura 7. Edifício Pedregulho. Fonte: FRACALOSSO, 2011a (foto cortesia de Nabil Bonduki).	10
Figura 8. Edifício Sul-Americano. Fonte: FRACALOSSO, 2013 (foto de Nelson Kon).	10
Figura 9. Brises da torre do edifício Sul-Americano. Fonte: FRACALOSSO, 2013 (foto de Nelson Kon).	10
Figura 10. Marquises com sombreamento em brises verticais do edifício Sul-Americano. Fonte: FRACALOSSO, 2013 (foto de Nelson Kon).	10
Figura 11. Edifício Residencial União, em Recife, do arquiteto Acácio Gil Borsoi. Fonte: SILVA, 2004.	11
Figura 12. Edifício Residencial Califórnia, Recife, arquiteto Acácio Gil Borsoi. Fonte: SILVA, 2004.	11
Figura 13. Edifício Residencial Caetés, Recife, arquiteto Acácio Gil Borsoi. Fonte: SILVA, 2004.	11
Figura 14. Topo do Edifício Copan. Fonte: BARATTO, 2014b.	11
Figura 15. Edifício Copan em vista de baixo para cima. Fonte: BARATTO, 2014a.	11
Figura 16. Edifício Lausanne, no bairro de Higienópolis, São Paulo. Fonte: acervo pessoal.	11
Figura 17. Residência Olivo Gomes, na cidade de São José dos Campos/SP. Fonte: acervo pessoal.	11
Figura 18. Centro Ambiental Balbina, do arquiteto Severiano Porto. Fonte: HENRIQUES, 2016.	11
Figura 19. Hospital Sarah Brasília projetado pelo arquiteto Lelé. Fonte: GUERRA, MARQUES, 2015 (foto: Nelson Kon)	12
Figura 20. Cortes esquemáticos do sistema de ventilação dos edifícios do Hospital Sarah Brasília. Fonte: LIMA, 2012	12
Figura 21. Fonte: População e demografia. População por situação de domicílio. Censo Demográfico 1940/2000. IBGE, 2012.	14
Figura 22. Evolução anual do preço do m ² de Área Total, em dólar e em real, considerando-se as unidades residenciais lançadas no período de 1995 a 2014. O gráfico revela a grande valorização imobiliária que ocorreu no período. Obs: os empreendimentos têm seus preços em R\$ convertidos para US\$ no mês de seu lançamento, utilizando-se como referencial o valor do câmbio comercial, para venda, do primeiro dia útil do mês em questão, feita pela cotação do dólar comercial para venda. Fonte: EMBRAESP, 2015.	14
Figura 23. Variação da população nos distritos do Município de São Paulo de 1991 a 2000. Fonte: CEF, 2003.	21
Figura 24. Macrozoneamento de São Paulo. Mapa 05 do PDE de 2002 (Lei nº 13.430, e 13 de setembro de 2002. (Legenda ampliada).	21
Figura 25. Mapa de Política de Desenvolvimento Urbano: Mapa 10 do Plano Diretor de 2002. (Legenda ampliada).	22
Figura 26. Número de empreendimentos habitacionais lançados, distribuídos por tipologia (vertical e horizontal).	23

Figura 27. Número de unidades habitacionais lançadas, distribuídas por tipologia (vertical e horizontal)	23
Figura 28. Concentração de lançamentos verticais na cidade de São Paulo: empreendimento Jardim das Perdizes no Bairro da Barra Funda, zona oeste. Fonte: Acervo pessoal (fev/2016).	23
Figura 29. Edifícios novos no bairro Jaguaré. Fonte: Acervo pessoal (Fev/2016)	23
Figura 30. Concentração de lançamentos verticais na cidade de São Paulo: Vila Leopoldina, zona oeste. Fonte: GOOGLE Earth.	24
Figura 31. Concentração de lançamentos verticais na cidade de São Paulo: Jardim Anália Franco, zona leste. Fonte: GOOGLE Earth.	24
Figura 32. Concentração de lançamentos verticais na cidade de São Paulo: Vila Andrade, próximo ao Morumbi, zona sul. Fonte: GOOGLE Earth.	24
Figura 33. Número de novas unidades lançadas no período distribuídas por região da cidade de São Paulo.	27
Figura 34. Total de unidades em empreendimentos lançados distribuídas pelo número de dormitórios em cada uma delas.	27
Figura 35. Unidades lançadas distribuídas por região e por número de dormitórios em cada uma delas.	27
Figura 36. Total de unidades em empreendimentos lançados distribuídas por suas áreas.	28
Figura 37. Unidades lançadas distribuídas por região e por suas áreas.	28
Figura 38. Exemplo de edifício em construção no bairro de Pinheiros na cidade de São Paulo (dez/2016): vedação externa em bloco de concreto. Fonte: acervo pessoal.	30
Figura 39. Exemplo de edifício em construção no bairro Vila Madalena na cidade de São Paulo (dez/2016): vedação externa em bloco de concreto. Fonte: acervo pessoal.	30
Figura 40. Exemplo de apartamento com a varanda envidraçada e totalmente integrada ao estar (a porta entre os ambientes foi removida). Fonte: cedido por Ana Elisa Presoto.	30
Figura 41. Edifícios da Incorporadora Idea!Zarvos. Da esquerda para a direita: Simpatia 236, Itacolomi 445, Fidalga 772. Fonte: Página eletrônica da Idea!Zarvos.	33
Figura 42. Edifícios da Incorporadora Idea!Zarvos. Da esquerda para a direita: Pop Madalena e Azul. Fonte: Página eletrônica da Idea!Zarvos.	33
Figura 43. Edifícios da Incorporadora Huma. Da esquerda para a direita: Huma Klabin e Huma Itaim. Fonte: Página eletrônica da Huma Incorporadora	33
Figura 44. Edifícios da Mobly Incorporadora. Da esquerda para a direita: Cotoxó 926, Mourato, 473 e Amoreira. Fonte: Página eletrônica da Mobly Incorporadora.	33
Figura 45. Anomalia de temperatura média global. Fonte: WMO (2016 p. 25).	36
Figura 46. Matriz elétrica brasileira do ano de 2015 (BRASIL, 2016b, p.34).	37
Figura 47. Proporção, em porcentagem do total, de população brasileira urbana e rural de 1950 a 2050 (UNDESA, 2014).	41
Figura 48. Estudo de variações médias da condição de conforto de 3 residências na cidade de São Paulo, conforme aquecimento progressivo do clima e efeito do evento de onda de calor. Gráficos gerados a partir dos resultados de ALVES, 2014; ALVES <i>et al.</i> 2014a; 2014b; 2015a; 2015b e 2016.44	44
Figura 49. Diagramas explicativos do Urban Weather Generator. Fonte: Bueno <i>et al.</i> (2013).	48
Figura 50. Edifícios residenciais verticais inseridos na morfologia da cidade de São Paulo. Fonte: Google Earth.	49
Figura 51. Carta solar latitude 24°S. Fonte: FROTA, SCHIFFER, 2001.	49
Figura 52. Distribuição da radiação solar (W/m^2) em plano vertical total diário: mês mais frio e mês mais quente. Fonte: software Climaticus 2011, versão beta.	49

Figura 53. Orientação e velocidade dos ventos na cidade de São Paulo. Dados originados do arquivo climático do Projeto SWERA (Fonte dos dados: Aeroporto de Congonhas; ano 1984). Rosas dos ventos elaboradas utilizando o software WRPLOT View Freeware 8.0.2	50
Figura 54. Diretrizes para a Zona Bioclimática 3 (ABNT, 2005)	50
Figura 55. Temperaturas médias anuais para o período 1933-2017. As barras verticais indicam o desvio padrão de cada média. Fonte: (IAG, 2017)	51
Figura 56. Temperaturas médias máximas (a) e médias mínimas (b) para o período 1933-2017. As barras verticais indicam o desvio padrão de cada média. Fonte: (IAG, 2017)	51
Figura 57. Vista aérea da localização das estações meteorológicas temporárias Paulista e Bela Vista.	56
Figura 58. Imagem de visão de céu da estação Paulista.	56
Figura 59. Imagem de visão de céu da estação Bela Vista.	56
Figura 60. Estação IAG/USP, no Parque da Água Funda. Fonte: Página no Facebook da Estação Meteorológica do IAG/USP (ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO IAG-USP, 2012).	58
Figura 61. Imagem aérea da Estação IAG/USP, no Parque da Água Funda. Fonte: elaborado sobre imagem do Google Earth (GOOGLE, 2013).	58
Figura 62. Estação Mirante de Santana, vista do observador. Fonte: Google Earth (GOOGLE, 2013).	58
Figura 63. Imagem aérea da Estação Mirante de Santana. Fonte: elaborado sobre imagem do Google Earth (GOOGLE, 2013).	58
Figura 64. Imagem aérea do Aeroporto de Congonhas. Fonte: Google Earth (GOOGLE, 2013).	58
Figura 65. Mancha urbana de parte da RMSP, com a localização das estações de medição: na área central adensada e estações meteorológicas fixas existentes. Fonte: elaborado sobre imagem do Google Earth (GOOGLE, 2013).	59
Figura 66. Representação da temperatura do ar em todo o período de medição para o estudo da ilha de calor de São Paulo: 6 a 26 de abril de 2016.	60
Figura 67. Período de 7 a 10 de abril/2016. a) temperatura do ar medida pelas estações meteorológicas, sendo duas delas pontuais, localizadas na malha urbana adensada (Paulista e Bela Vista) e as outras três, fixas, (Mirante de Santana, Congonhas e IAG/USP), localizadas onde a malha urbana é menos densa. b) Diferença de temperatura (ΔT) entre as das estações meteorológicas da malha urbana adensada (temperatura média das estações Paulista e Bela Vista) e cada uma das demais estações levantadas.	60
Figura 68. Média dos valores de ΔT entre a malha urbana adensada e as demais estações em cada horário do período de medições (de 06 a 26 de abril de 2016).	61
Figura 69. Radiação total média dos dias de medição registrada nas estações temporárias Paulista e Bela Vista	61
Figura 70. Coeficientes entre a maior variação de temperatura e a malha urbana adensada com relação a cada estação meteorológica para os dados medidos na cidade de São Paulo e propostos por Crawley.	63
Figura 71. Fluxograma das simulações computacionais de desempenho térmico.	64
Figura 72. Representação esquemática dos mecanismos de transferência de calor em um edifício (fonte: EDSL Documentation).	65
Figura 73. Apartamento Base. Esquerda superior: planta da unidade; direita superior: elevação do edifício com destaque para o 8º pavimento, onde se localiza o Ap Base estudado; esquerda inferior: descrição das janelas da unidade; direita inferior: planta esquemática do edifício com localização do apartamento estudado.	66
Figura 74. Apartamento Varanda. Esquerda: planta da unidade; direita: elevação do edifício com destaque para os 1º e 14º pavimentos, principais unidades estudadas; esquerda inferior: descrição	

da porta entre a varanda e o estar; direita inferior: planta esquemática do edifício com localização do apartamento estudado.	68
Figura 75. Modelo adaptativo da norma norte-americana ASHRAE 55 (2013). Fonte: ASHRAE, 2017.	69
Figura 76. Representação gráfica dos dados de temperatura do ar °C do arquivo climático SWERA dos meses do ano com temperatura mais elevada e respectivas linhas de tendência: janeiro, fevereiro e março.	70
Figura 77. Representação gráfica dos dados de temperatura do ar °C do arquivo climático SWERA dos meses do ano com temperatura mais baixa e suas respectivas linhas de tendência: junho, julho e agosto.	70
Figura 78. Representação dos dados de temperatura do ar °C e umidade relativa do ar do arquivo climático SWERA dos dias selecionados como "período de calor": 9 a 11/fev.	71
Figura 79. Representação dos dados de temperatura do ar °C e umidade relativa do ar do arquivo climático SWERA dos dias selecionados como "período frio": 17 a 19/jul.	71
Figura 80. Trajetória solar anual nas diferentes orientações do Ap Base.	73
Figura 81. Carta Solar Latitude 24°, com ângulos de incidência solar.	73
Figura 82. Ângulos e máscara de sombreamento na janela devido à espessura da parede. O sombreamento foi representado para a fachada orientação norte.	74
Figura 83. Ângulos e máscara de sombreamento do brise "N - brise assimétrico".	74
Figura 84. Ângulos e máscara de sombreamento do brise "N - brise horizontal".	75
Figura 85. Ângulos e máscara de sombreamento do brise "S - sombreamento total".	75
Figura 86. Ângulos e máscara de sombreamento do brise "E - brise menor".	76
Figura 87. Ângulos e máscara de sombreamento do brise "E - brise maior".	76
Figura 88. Ângulos e máscara de sombreamento do brise "W - brise menor".	77
Figura 89. Ângulos e máscara de sombreamento do brise "W - brise maior".	77
Figura 90. Espessura das paredes externas para simulações computacionais e respectivos valores do Coeficiente Global de Transmissão Térmica (U), em W/m ² °C.	78
Figura 91. Varandas pequena (0,8m) e grande (2,0m) e respectivos sombreamentos na porta da varanda.	79
Figura 92. Subdivisão do ambiente do Estar nas configurações com inserção de varanda.	79
Figura 93. Imagem de visão de céu com lente olho de peixe, no nível da rua, nos locais onde foram realizadas as medições na Paulista e na Bela Vista e respectivos Fatores de Visão de Céu (FVC).	83
Figura 94. Volumetria proposta para visão de céu.	84
Figura 95. Imagem do fator de visão de céu do modelo proposto para cálculo do FVC (FVC=0,3).	84
Figura 96. Modelo tridimensional no software Tas com edifícios no entorno.	84
Figura 97. Sombreamento ocasionado pelo entorno nas diferentes orientações solares para a unidade residencial localizada no 14º pavimento.	84
Figura 98. Sombreamento ocasionado pelo entorno nas diferentes orientações solares para a unidade residencial localizada no 8º pavimento.	84
Figura 99. Sombreamento ocasionado pelo entorno nas diferentes orientações solares para a unidade residencial localizada no 1º pavimento.	85
Figura 100. Subdivisão do ambiente do Estar nas configurações de apartamento: Ap Base, Ap Varanda Sombreadora e Ap Varanda Envidraçada (Integrada e com Porta Estar/Varanda Fechada).	87
Figura 101. Ângulos e máscara de sombreamento do brise na superfície envidraçada da varanda, orientação norte.	89
Figura 102. Ângulos e máscara de sombreamento do brise na superfície envidraçada da varanda, orientação leste.	90

Figura 103. Arquivos climáticos gerados pela incorporação do efeito da ilha de calor urbana através do equacionamento proposto por Crawley (CRAWLEY, 2018): representação de 1 ano completo para cada arquivo climático. _____	95
Figura 104. Arquivos climáticos gerados pela incorporação do efeito da ilha de calor urbana através do equacionamento proposto por Crawley (CRAWLEY, 2018): representação de 1 dia (8/abril). ___	96
Figura 105. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos de orientação solar do ambiente do estar. _____	97
Figura 106. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de orientação solar do ambiente do estar. _____	97
Figura 107. Parâmetros externos (radiação global, nebulosidade e temperatura do ar) e parâmetros internos do ambiente do estar (temperatura radiante e ganhos solares das orientações leste e oeste dos períodos (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul). _____	99
Figura 108. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos de brises nas 4 principais orientações solares. _____	100
Figura 109. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de inserção de brises nas 4 principais orientações solares. _____	100
Figura 110. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos de espessura das paredes externas. _____	102
Figura 111. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de espessura das paredes externas. _____	103
Figura 112. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos de diferentes WWR. _____	104
Figura 113. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de diferentes WWR. _____	104
Figura 114. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos de inserção de varandas. _____	105
Figura 115. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de inserção de varandas. _____	106
Figura 116. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudo do desempenho dos ambientes derivados da subdivisão do estar dentro do estudo de inserção de varanda. _____	108
Figura 117. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos das configurações Ap Base e Ap com Varanda Envidraçada Integrada sem e com carga térmica. _____	109
Figura 118. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos das configurações Ap Base e Ap com Varanda Envidraçada Integrada sem e com carga térmica. _____	109
Figura 119. Avaliação dos percentuais de horas anuais e mensais (fevereiro e julho) em conforto, de acordo com o modelo adaptativo da norma ASHRAE 55, para as configurações Ap Base e Ap com Varanda Envidraçada Integrada sem e com carga térmica. _____	110
Figura 120. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos de taxa de ventilação. _____	111
Figura 121. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de taxa de ventilação. _____	112
Figura 122. Avaliação dos percentuais de horas anuais e mensais (fevereiro e julho) em conforto de acordo com o modelo adaptativo da norma ASHRAE 55 para estudos de taxa de ventilação. ____	112
Figura 123. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos de operação da janela do estar. _____	114

Figura 124. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de operação da janela do estar.	115
Figura 125. Avaliação dos percentuais de horas anuais e mensais (fevereiro e julho) em conforto, de acordo com o modelo adaptativo da norma ASHRAE 55 para estudos de operação da janela do estar.	115
Figura 126. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos de cenários climáticos.	117
Figura 127. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de cenários climáticos.	117
Figura 128. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos de sombreamento do entorno na orientação norte.	121
Figura 129. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de sombreamento do entorno na orientação norte.	121
Figura 130. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos de sombreamento do entorno na orientação sul.	122
Figura 131. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de sombreamento do entorno na orientação sul.	122
Figura 132. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos de sombreamento do entorno na orientação leste.	123
Figura 133. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de sombreamento do entorno na orientação leste.	123
Figura 134. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos de sombreamento do entorno na orientação oeste	124
Figura 135. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de sombreamento do entorno na orientação oeste	124
Figura 136. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos das diferentes configurações de apartamentos em cenário futuro (Futuro Intermediário + ICU) e urbanizado, orientação norte.	127
Figura 137. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos das diferentes configurações de apartamentos em cenário futuro (Futuro Intermediário + ICU) e urbanizado, orientação norte.	127
Figura 138. Avaliação dos percentuais de horas anuais e mensais (fevereiro e julho) em conforto de acordo com o modelo adaptativo da norma ASHRAE 55 para estudos das diferentes configurações de apartamentos em cenário futuro (Futuro Intermediário + ICU) e urbanizado, orientação norte.	128
Figura 139. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos das diferentes configurações de apartamentos em cenário futuro (Futuro Intermediário + ICU) e urbanizado, orientação sul.	129
Figura 140. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos das diferentes configurações de apartamentos em cenário futuro (Futuro Intermediário + ICU) e urbanizado, orientação sul.	129
Figura 141. Avaliação dos percentuais de horas anuais e mensais (fevereiro e julho) em conforto de acordo com o modelo adaptativo da norma ASHRAE 55 para estudos das diferentes configurações de apartamentos em cenário futuro (Futuro Intermediário + ICU) e urbanizado, orientação sul.	130
Figura 142. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos das diferentes configurações de apartamentos em cenário futuro (Futuro Intermediário + ICU) e urbanizado, orientação leste.	131
Figura 143. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos das diferentes configurações de apartamentos em cenário futuro (Futuro Intermediário + ICU) e urbanizado, orientação leste.	131

Figura 144. Avaliação dos percentuais de horas anuais e mensais (fevereiro e julho) em conforto de acordo com o modelo adaptativo da norma ASHRAE 55 para estudos das diferentes configurações de apartamentos em cenário futuro (Futuro Intermediário + ICU) e urbanizado, orientação leste.	132
Figura 145. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos das diferentes configurações de apartamentos em cenário futuro (Futuro Intermediário + ICU) e urbanizado, orientação oeste.	133
Figura 146. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos das diferentes configurações de apartamentos em cenário futuro (Futuro Intermediário + ICU) e urbanizado, orientação oeste.	133
Figura 147. Avaliação dos percentuais de horas anuais e mensais (fevereiro e julho) em conforto de acordo com o modelo adaptativo da norma ASHRAE 55 para estudos das diferentes configurações de apartamentos em cenário futuro (Futuro Intermediário + ICU) e urbanizado, orientação oeste.	134
Figura 148. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de dias de frio (17 a 19/jul) para estudos de inserção de brise na varanda envidraçada na orientação norte.	138
Figura 149. Avaliação dos percentuais de horas mensais (julho) em conforto de acordo com o modelo adaptativo da norma ASHRAE 55 para estudos de inserção de brise na varanda envidraçada na orientação norte.	138
Figura 150. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de dias de calor (9 a 11/fev) para estudos de inserção de brise na varanda envidraçada na orientação leste.	140
Figura 151. Avaliação dos percentuais de horas mensais (fevereiro) em conforto de acordo com o modelo adaptativo da norma ASHRAE 55 para estudos de inserção de brise na varanda envidraçada na orientação leste.	140
Figura 152. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de dias de frio (17 a 19/jul) para estudos de diferentes taxas de renovação de ar na orientação norte.	142
Figura 153. Avaliação dos percentuais de horas mensais (julho) em conforto de acordo com o modelo adaptativo da norma ASHRAE 55 para estudos de diferentes taxas de renovação de ar na orientação norte.	142
Figura 154. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de dias de calor (9 a 11/fev) para estudos de diferentes taxas de renovação de ar, na orientação leste.	144
Figura 155. Avaliação dos percentuais de horas mensais (fevereiro) em conforto, de acordo com o modelo adaptativo da norma ASHRAE 55 para estudos de diferentes taxas de renovação de ar, na orientação leste.	144
Figura 156. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos de apartamento com a varanda com vidro externo aberto e sombreamento (brise) nas 4 orientações.	146
Figura 157. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de apartamento com a varanda com vidro externo aberto e sombreamento (brise) nas 4 orientações.	146
Figura 158. Avaliação dos percentuais de horas anuais e mensais (fevereiro e julho) em conforto de acordo com o modelo adaptativo da norma ASHRAE 55 para estudos de apartamento com a varanda com vidro externo aberto e sombreamento (brise) nas 4 orientações.	147
Figura 159. Avaliação dos percentuais de horas mensais (fevereiro e julho) em conforto de acordo com o modelo adaptativo da norma ASHRAE 55 para estudos de obtenção da melhor condição de conforto com operação das varandas e possibilidade de sombreamento com brise externo: orientação norte.	151
Figura 160. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de obtenção da melhor condição de conforto com operação das	

varandas e possibilidade de sombreamento com brise externo: orientação norte, 14º pavimento.	151
Figura 161. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de obtenção da melhor condição de conforto com operação das varandas e possibilidade de sombreamento com brise externo: orientação norte, 1º pavimento.	151
Figura 162. Avaliação dos percentuais de horas mensais (fevereiro e julho) em conforto, de acordo com o modelo adaptativo da norma ASHRAE 55 para estudos de obtenção da melhor condição de conforto, com operação das varandas e possibilidade de sombreamento com brise externo: orientação sul.	152
Figura 163. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de obtenção da melhor condição de conforto com operação das varandas e possibilidade de sombreamento com brise externo: orientação sul, 14º pavimento.	152
Figura 164. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de obtenção da melhor condição de conforto com operação das varandas e possibilidade de sombreamento com brise externo: orientação sul, 1º pavimento.	152
Figura 165. Avaliação dos percentuais de horas mensais (fevereiro e julho) em conforto, de acordo com o modelo adaptativo da norma ASHRAE 55 para estudos de obtenção da melhor condição de conforto, com operação das varandas e possibilidade de sombreamento com brise externo: orientação leste.	153
Figura 166. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de obtenção da melhor condição de conforto com operação das varandas e possibilidade de sombreamento com brise externo: orientação leste, 14º pavimento.	153
Figura 167. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de obtenção da melhor condição de conforto com operação das varandas e possibilidade de sombreamento com brise externo: orientação leste, 1º pavimento.	153
Figura 168. Avaliação dos percentuais de horas mensais (fevereiro e julho) em conforto, de acordo com o modelo adaptativo da norma ASHRAE 55 para estudos de obtenção da melhor condição de conforto, com operação das varandas e possibilidade de sombreamento com brise externo: orientação oeste	154
Figura 169. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de obtenção da melhor condição de conforto, com operação das varandas e possibilidade de sombreamento com brise externo: orientação oeste, 14º pavimento.	154
Figura 170. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de obtenção da melhor condição de conforto, com operação das varandas e possibilidade de sombreamento com brise externo: orientação oeste, 1º pavimento.	154
Figura 178. Esquema exemplificativo de varanda com possibilidades de fechamento: envidraçamento externo e brise operável e exemplos de configurações possíveis.	165
Figura A-187. Localização dos condomínios dos apartamentos selecionados e estações meteorológicas sobre foto aérea da cidade de São Paulo. Elaborado sobre base do Google Earth. (GOOGLE, 2013)	180
Figura A-188. Unidade Paraíso: implantação, características e fotos.	182
Figura A-189. Unidade Paraíso: Planta, caixilharia e ocupação.	183
Figura A-190. Unidade Barra Funda: implantação, características e fotos.	186
Figura A-191. Unidade Barra Funda: Planta, caixilharia e ocupação.	188
Figura A-192. Unidade Raposo Tavares: implantação, características e fotos.	189
Figura A-193: Unidade Raposo Tavares: Planta, caixilharia e ocupação.	190
Figura A-194. Unidade Campo Limpo: implantação, características e fotos.	192

Figura A-195. Unidade Campo Limpo: Planta, caixilharia e ocupação.	193
Figura A-196. Dados de Temperatura do ar medidos em todos os pontos e coletados das estações meteorológicas da cidade de São Paulo. O gráfico indica os principais pontos identificados que embasaram a seleção do período de uma semana para prosseguimento dos estudos e análises.	197
Figura A-197. Temperaturas médias diárias do período selecionado (20 a 25 de abril/2016) em todos os pontos medidos e também coletados de três estações meteorológicas da cidade de São Paulo.	198
Figura A-198. Dados de temperatura do ar (em °C) medidos na amostra selecionada de residências e coletados das estações meteorológicas.	200
Figura A-199. Dados de umidade relativa do ar (em %) medidos na amostra selecionada de residências e coletados das estações meteorológicas.	201
Figura A-200. Dados de velocidade do ar (em m/s) medidos internamente na amostra selecionada de residências.	202
Figura A-201. Dados de temperatura radiante média (em °C), calculados a partir da temperatura de globo medida na amostra selecionada de residências e coletados das estações meteorológicas.	203
Figura B-202. Gráficos de temperatura do ar externo e temperatura operativa para comparação entre dados medidos e simulados na unidade residencial Apartamento Paraíso. Arquivo climático Futuro Próximo + ICU; com inclusão de carga térmica interna e com taxas de ventilação definidas na parametrização da simulação.	211
Figura B-203. Gráficos de temperatura do ar externo e temperatura operativa para comparação entre dados medidos e simulados na unidade residencial Apartamento Paraíso. Arquivo climático Futuro Próximo + ICU; sem inclusão de carga térmica interna e com taxas de ventilação definidas na parametrização da simulação.	211
Figura B-204. Gráficos de temperatura do ar externo e temperatura operativa para comparação entre dados medidos e simulados na unidade residencial Apartamento Paraíso. Arquivo climático Futuro Próximo; com inclusão de carga térmica interna e com taxas de ventilação definidas na parametrização da simulação.	211
Figura B-205. Gráficos de temperatura do ar externo e temperatura operativa para comparação entre dados medidos e simulados na unidade residencial Apartamento Paraíso. Arquivo climático Futuro Próximo; sem inclusão de carga térmica interna e com taxas de ventilação definidas na parametrização da simulação.	211
Figura B-206. Gráficos de temperatura do ar externo e temperatura operativa para comparação entre dados medidos e simulados na unidade residencial Apartamento Paraíso. Arquivo climático Futuro Próximo + ICU; com inclusão de carga térmica interna e com operação para abertura de janelas.	212
Figura B-207. Gráficos de temperatura do ar externo e temperatura operativa para comparação entre dados medidos e simulados na unidade residencial Apartamento Paraíso. Arquivo climático Futuro Próximo + ICU; sem inclusão de carga térmica interna com operação para abertura de janelas.	212
Figura B-208. Gráficos de temperatura do ar externo e temperatura operativa para comparação entre dados medidos e simulados na unidade residencial Apartamento Paraíso. Arquivo climático Futuro Próximo; com inclusão de carga térmica interna e com operação para abertura de janelas.	212
Figura B-209. Gráficos de temperatura do ar externo e temperatura operativa para comparação entre dados medidos e simulados na unidade residencial Apartamento Paraíso. Arquivo climático Futuro Próximo; sem inclusão de carga térmica interna com operação para abertura de janelas.	212
Figura C-210. Gráficos de temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de ventilação cruzada no Tas a partir de resultados para o ambiente do estar, com abertura de mais de uma janela do modelo do Ap Base.	215

Figura C-211. Gráficos de temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de ventilação cruzada no Tas a partir de resultados para o ambiente do dormitório 2, com abertura de mais de uma janela no mesmo ambiente proposto no modelo do Ap Base.	215
Figura C-212. Fachada externa do estar	219
Figura C-213. Planta do Estar	219
Figura C-214. Avaliação do conforto utilizando o índice de conforto adaptativo da norma ASHRAE 55 (2017).	222

Lista de tabelas

Tabela 1. Variação da temperatura média mensal na cidade de São Paulo ao longo dos anos. Dados de 1933 a 2014 medidos pela Estação Meteorológica do IAG/USP-Parque de Ciência e Tecnologia da USP. Elaboração da autora. _____	52
Tabela 2. Variação da umidade relativa média mensal na cidade de São Paulo ao longo dos anos. Dados de 1933 a 2014 medidos pela Estação Meteorológica do IAG/USP-Parque de Ciência e Tecnologia da USP. Elaboração da autora. _____	52
Tabela 3. Dados climatológicos da cidade de São Paulo: Normais Climatológicas de 1981-2010. Fonte: INMET, 2018. _____	53
Tabela 4. Média dos dados de temperatura medidos nos edifícios Bela Vista e Paulista (região densamente urbanizada da cidade de São Paulo) entre os dias 6 e 26 de abril / 2016. _____	59
Tabela 5. Características termofísicas dos materiais empregados na simulação computacional termodinâmica. _____	67
Tabela 6. Componentes construtivos. _____	67
Tabela 7. Valor de A em função da Var. (ISO, 1998) _____	68
Tabela 8. Leitura dos dados de Temperatura do ar °C mensais do arquivo climático SWERA. _____	70
Tabela 9. Cargas térmicas consideradas para o Apartamento Base. _____	80
Tabela 10. Arquivos climáticos gerados pela incorporação do efeito da ilha de calor urbana através do equacionamento proposto por Crawley (CRAWLEY, 2018): Temperaturas do ar médias anuais. _____	94
Tabela 11. Temperaturas médias, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os meses de fevereiro e julho para estudos de orientação solar. _____	96
Tabela 12. Temperaturas médias, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os meses de fevereiro e julho para estudos de inserção de brises nas 4 principais orientações solares. _____	99
Tabela 13. Redução de TO devido à inserção de brise nas orientações leste e oeste. Para o cálculo foram consideradas as diferenças entre temperaturas médias para cada horário ao longo do ano de simulações, entre a situação sem brise e com brise. _____	100
Tabela 14. TO médias, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os meses de fevereiro e julho para estudos de espessura das paredes externas. _____	101
Tabela 15. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os para os meses de fevereiro e julho para estudos de diferentes WWR. _____	102
Tabela 16. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os para os meses de fevereiro e julho para estudos de inserção de varandas. _____	104
Tabela 17. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os para os meses de fevereiro e julho para as configurações Ap Base e Ap com Varanda Envidraçada Integrada sem e com carga térmica. _____	108
Tabela 18. Valores anuais de TO para estudos de taxa de ventilação. _____	110
Tabela 19. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os para os meses de fevereiro e julho para estudos de operação da janela do estar. _____	113
Tabela 20. Temperatura do ar dos arquivos climáticos. _____	116
Tabela 21. TO no ambiente interno (estar) resultantes das simulações com os diferentes arquivos climáticos. _____	116
Tabela 22. Temperatura do ar externa e TO do estar nos dias 6/fev e 18/jul, às 6h e às 16h para os diferentes cenários climáticos. _____	117
Tabela 23. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os para os meses de fevereiro e julho para estudos de sombreamento do entorno na orientação norte. _____	119

Tabela 24. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os para os meses de fevereiro e julho para estudos de sombreamento do entorno na orientação sul.	120
Tabela 25. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os para os meses de fevereiro e julho para estudos de sombreamento do entorno na orientação leste	121
Tabela 26. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os para os meses de fevereiro e julho para estudos de sombreamento do entorno na orientação oeste	122
Tabela 27. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os para os meses de fevereiro e julho para estudos das diferentes configurações de apartamentos em cenário futuro (Futuro Intermediário + ICU) e urbanizado, orientação norte.	126
Tabela 28. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os para os meses de fevereiro e julho para estudos das diferentes configurações de apartamentos em cenário futuro (Futuro Intermediário + ICU) e urbanizado, orientação sul.	128
Tabela 29. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os para os meses de fevereiro e julho para estudos das diferentes configurações de apartamentos em cenário futuro (Futuro Intermediário + ICU) e urbanizado, orientação leste	130
Tabela 30. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os para os meses de fevereiro e julho para estudos das diferentes configurações de apartamentos em cenário futuro (Futuro Intermediário + ICU) e urbanizado, orientação oeste.	132
Tabela 31. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os para o mês de julho para estudos de inserção de brise na varanda envidraçada na orientação norte.	136
Tabela 32. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os para o mês de fevereiro para estudos de inserção de brise na varanda envidraçada na orientação leste.	138
Tabela 33. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os para o mês de julho para estudos de diferentes taxas de renovação de ar na orientação norte.	140
Tabela 34. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os para o mês de fevereiro para estudos de diferentes taxas de renovação de ar na orientação leste.	142
Tabela 35. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os para os meses de fevereiro e julho para estudos de apartamento com a varanda com vidro externo aberto e sombreamento (brise) nas 4 orientações.	145
Tabela 36. Tabela síntese da 1ª fase de simulações.	153
Tabela 37. Tabela síntese da 2ª fase de simulações.	155
Tabela B-38. Cargas térmicas consideradas na simulação computacional do apartamento Paraíso.	215
Tabela B-39. Valor de A em função da Var. (ISO, 1998)	217
Tabela C-40. Taxas de renovações de ar por hora resultantes das aberturas de janelas propostas nos ambientes do estar e do dormitório 2 dados de ventos do arquivo climático nos dias 9 a 11/fev.	223
Tabela C-41. Taxas de renovações de ar por hora resultantes das aberturas de janelas propostas nos ambientes do estar e do dormitório 2 dados de ventos do arquivo climático nos dias 17 a 19/jul.	224
Tabela C-42. Dados de radiação solar horária incidente (W) na latitude 23,5oSul no solstício de verão (22/dezembro), orientação Norte e ganhos de calor correspondente às superfícies externas do estar	227
Tabela C-43. Dados de temperatura do ar obtidos do arquivo climático.	228

Lista de abreviaturas e siglas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AR - *Assessment Report*

ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*

CCST - Centro de Ciência do Sistema Terrestre

CEF – Caixa Econômica Federal

CEN - *Comité Européen de Normalisation*

COE – Código de Obras e Edificações

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

EMBRAESP – Empresa Brasileira de Estudos de Patrimônio

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FAU – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

FVC – Fator de Visão de Céu

IAG – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICU – Ilha de calor urbana

IEA – *International Energy Agency*

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*

IPTU - Imposto Predial e Territorial Urbano

LABAUT - Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética da FAU USP

LABEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

LABSOLAR - Laboratório de Energia Solar da UFSC

LPUOS – Lei de parcelamento, uso e ocupação do solo

MEC - Ministério da Educação e da Cultura

NASA - *National Aeronautics and Space Administration*

NBR – Norma Brasileira

NOAA - *National Oceanic and Atmospheric Administration*

PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas

PD – Plano Diretor

tor de desenvolvimento integrado

PDE – Plano diretor estratégico

RCP - *Representative Concentration Pathway*

R/h – Renovações de ar por hora

RMSP – Região Metropolitana de São Paulo

SWERA - *Solar and Wind Energy Resource Assessment*

TMY – *Test Meteorological Year*

TO – Temperatura Operativa

U - Coeficiente Global de Transmissão Térmica

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UNDESA – *United Nations Department of Economic and Social Affairs*

UNEP - *United Nations Environment Programme*

USP – Universidade de São Paulo

UWG - *Urban weather generator*

WMO – *World Meteorological Organization*

Sumário

1	Introdução e motivação da pesquisa	1
1.1	Objeto, Objetivo e Hipótese.....	2
1.2	Método.....	3
1.3	Estrutura do Trabalho	5
2	Arquitetura e mercado imobiliário na cidade de São Paulo: estoque edificado recente – o <i>boom</i> imobiliário e a emergência da verticalização na cidade de São Paulo.....	7
2.1	A contextualização da produção arquitetônica para um melhor desempenho térmico....	8
2.2	A produção de edifícios habitacionais verticais multifamiliares e o <i>boom</i> imobiliário.....	12
2.3	Contexto socioeconômico.....	13
2.4	A Legislação e sua influência sobre a morfologia urbana e o mercado imobiliário.....	16
2.4.1	O PDE de 2002, a LPUOS de 2004 e o COE de 1992	18
2.5	Leitura do mercado imobiliário residencial de São Paulo entre 2005 e 2014 e caracterização do padrão construído.....	22
2.6	Outras perspectivas.....	31
3	A arquitetura, o desempenho térmico dos edifícios e o contexto climático.....	35
3.1	Os efeitos de aquecimento, suas diferentes escalas e consequências.....	35
3.1.1	O aquecimento global	35
3.1.2	O aquecimento urbano	38
3.2	Aquecimento, desempenho dos edifícios e conforto térmico.....	40
3.3	Dados climáticos para simulações computacionais e os fenômenos de aquecimento urbano	45
3.4	A cidade de São Paulo no contexto climático em transição	48
4	Material e método	55
4.1	A ilha de calor urbana na cidade de São Paulo e o acoplamento do efeito em arquivos climáticos	55
4.1.1	Dados medidos de temperatura do ar	55
4.1.2	O acoplamento dos fenômenos de aquecimento urbano e global para a produção de arquivos climáticos.....	62
4.2	Simulações computacionais termodinâmicas.....	64
4.2.1	1ª Fase de Simulações.....	72
4.2.1.1	Fatores intrínsecos ao edifício: aspectos construtivos	72
4.2.1.2	Fatores intrínsecos ao edifício: uso e ocupação	80
4.2.1.3	Fatores externos ao edifício: clima e sombreamento pelo entorno.....	82
4.2.2	2ª Fase de Simulações.....	85
4.2.2.1	As configurações de estar / varanda nas diversas orientações: Ap Base, Ap Varanda Sombreadora e Ap Varanda Envidraçada: Integrada e Porta Estar/Varanda Fechada.....	86

4.2.2.2	Casos críticos: sombreamento e taxa de ventilação	87
4.2.2.3	Varanda com vidro aberto e sombreamento.....	90
4.2.2.4	Operação da varanda para o conforto térmico.....	91
5	Análise dos resultados.....	93
5.1	A ilha de calor urbana na cidade de São Paulo e o acoplamento do efeito em arquivos climáticos	93
5.2	Simulações computacionais termodinâmicas.....	95
5.2.1	1ª Fase de Simulações.....	95
5.2.1.1	Fatores intrínsecos ao edifício: aspectos construtivos	95
5.2.1.2	Fatores intrínsecos ao edifício: uso e ocupação	106
5.2.1.3	Fatores externos ao edifício: clima e sombreamento pelo entorno.....	114
5.2.2	2ª Fase de Simulações.....	124
5.2.2.1	As configurações de estar / varanda nas diversas orientações: Ap Base, Ap Varanda Sombreadora e Ap Varanda Envidraçada: Integrada e Porta Estar/Varanda Fechada.....	124
5.2.2.2	Casos críticos: sombreamento e taxa de ventilação	135
5.2.2.3	Varanda com vidro aberto e sombreamento.....	143
5.2.2.4	Operação da varanda para o conforto térmico.....	147
6	Conclusão, comprovação da hipótese e considerações finais	153
6.1	Planilha síntese das simulações	153
6.2	Considerações sobre a 1ª fase de simulações.....	156
6.3	Considerações sobre a 2ª fase de simulações.....	160
6.4	Comprovação da hipótese	161
6.5	Recomendações para projeto e operação	164
6.6	Limitações do estudo e trabalhos futuros.....	174
7	Referências bibliográficas	175
	Apêndice A -	187
	Apartamentos recentes do mercado imobiliário e seu desempenho térmico: estudos de caso	187
	Apêndice B -	215
	Simulação de uma unidade real e comparação dos resultados com as medições	215
	Apêndice C -	221
	Ventilação natural cruzada no software Tas.....	221

1 Introdução e motivação da pesquisa

A comunidade científica tem verificado alterações nos padrões de clima nos últimos anos. Ainda que exista certo grau de incerteza quanto às projeções das alterações, grande parte dos pesquisadores aceita sua relação com o aumento de emissões de gases de efeito estufa, resultado do modelo humano de ocupação do planeta, especialmente a partir do século XVII, com a revolução industrial e suas consequências, e que evoluiu até os dias atuais. No período de 1880 a 2012 a média global de temperaturas terrestre e oceânica combinadas aumentou 0,85°C (IPCC,2013).

A principal organização mundial que se dedica ao fenômeno é o IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), órgão cuja função é sistematizar o estado atual do conhecimento científico referente à mudança climática de causa antrópica e seus impactos. As constatações de seu último relatório de avaliação, o AR5 (*Fifth Assessment Report*), aumentam o grau de certeza da influência humana na mudança climática em curso e agravam as previsões de aquecimento, assim como o relatório especial "*Global Warming of 1.5°C*" (SR1.5), de 2018, sobre os impactos do aquecimento global de 1,5°C acima dos níveis dos níveis pré-industriais.

Uma das principais fontes de emissão de gases de efeito estufa no mundo é a geração de energia para as mais diversas funções. No cenário internacional, grande parte da geração de energia elétrica é feita a partir de matrizes fósseis, cuja queima libera gases de efeito estufa. Segundo o relatório anual da Agência Internacional de Energia (IEA, 2013), o objetivo climático de limitar o aumento da temperatura a 2°C está se tornando cada vez mais difícil e oneroso, à medida que os anos passam pois aproximadamente 80% das emissões de CO₂ admissíveis em 2035 já estão irremediavelmente determinadas pelas emissões das centrais elétricas, das fábricas, dos edifícios existentes, entre outros. Além disso, ainda que a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera se estabilize, o sistema climático deverá continuar em alteração, ajustando-se à perturbação radiativa (*radiative forcing*) dos gases e às alterações irreversíveis de cobertura do solo (OKE *et al.*, 2017; IPCC, 2018a). Um meio para adiar este cenário é a implementação rápida de tecnologias de maior eficiência energética, conferindo um prazo adicional para se atingir o tão necessário acordo mundial de redução das emissões de gases de efeito estufa.

O Brasil ocupa uma posição diferenciada no contexto energético mundial por possuir uma forte base hidráulica para produção energética, já que atualmente 65,2% da rede de energia elétrica brasileira ainda é baseada em hidroeletricidade (BRASIL, 2018). Essa matriz envolve questões ambientais e sociais polêmicas e sua emissão de gases de efeito estufa não é, ainda, completamente conhecida pela ciência (VIANNA *et al.*, 2009). Ainda assim, pode-se afirmar que suas emissões são bastante reduzidas se comparadas a outras fontes energéticas. Verifica-se, nos últimos anos, o aumento da participação das termelétricas no total da produção nacional, segundo a IEA (2014), porém, mesmo assim e ainda que o Brasil esteja passando por um período de transição com aumento de seu consumo energético, incluindo o acesso universal à eletricidade, o país continua a ter uma das menores intensidades de carbono no mundo.

O Brasil, recentemente, constituiu o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) com o objetivo de realizar a compilação de estudos nacionais sobre o assunto relacionados ao país. De acordo com o painel, o clima do Brasil ficará mais quente nas próximas décadas com aumento gradual das temperaturas médias em todas as suas regiões entre 1°C e 6°C até 2100 em comparação com os dados registrados no final do século XX (PBMC 2013a, 2013b, 2013c).

Para o clima da cidade de São Paulo, segundo Nobre *et al.* (2010) as projeções para a

região indicam aumento no número de dias e noites quentes e redução no número de dias e noites frios. Marengo (2006), por sua vez, através de simulações utilizando os cenários A2 e B2 do quarto relatório do IPCC indicou uma anomalia nas temperaturas do sudeste brasileiro para um padrão tipicamente tropical. Batista *et al.* (2016), do mesmo modo, reforçam a previsão de um padrão de aquecimento que deverá impactar a população da Região Metropolitana de São Paulo. As mudanças também indicam que eventos que usualmente não acontecem em São Paulo passem a ocorrer, como ondas de calor a exemplo daquela verificada nos meses de janeiro e fevereiro de 2014, quando se registraram temperaturas acima daquelas observadas nos últimos anos e umidade relativa abaixo dos valores historicamente encontrados.

Nesse contexto, existe um importante trabalho de adaptação e mitigação a ser realizado e os setores da construção civil, da arquitetura e do urbanismo podem prestar grandes contribuições. Adaptação diz respeito aos estudos dos impactos das mudanças climáticas e da previsão de suas prováveis consequências para as áreas urbanas, para os edifícios e para as pessoas que neles habitam; remete ao desempenho das construções frente às alterações dos principais parâmetros climáticos e à redução da sua vulnerabilidade a essas mudanças. Por outro lado, a mitigação das causas das mudanças climáticas, decorrentes das emissões de gases de efeito estufa, implica na redução dessas emissões pela diminuição do consumo de energia.

Para tanto, os edifícios não podem ser avaliados de forma isolada e o contexto urbano densamente construído das áreas mais centrais precisa ser levado em consideração na construção de bancos climáticos que incluam os efeitos do aquecimento urbano e pela consideração do entorno construído que interfere nas condições de ventilação, sombreamento, acumulação de calor, perda de radiação de onda longa, etc. A pesquisa propõe, portanto, um acoplamento de escalas de estudos climáticos urbanos e estudos avançados em desempenho e conforto térmico em edifícios, uma barreira importante a ser vencida na área de pesquisa.

Uma leitura da produção recente de unidades habitacionais em edifícios verticais na cidade de São Paulo (marcada pelo que se chamou de *boom* imobiliário devido à grande produção que se observa no período de estudo selecionado, que vai de 2005 a 2014) revela um padrão recorrente de distribuição de ambientes, além de tendência a reduzidas dimensões internas, limitadas possibilidades de operação de aberturas, assim como a ausência de elementos de sombreamento. As decisões projetuais têm reflexos no desempenho térmico das unidades produzidas, que podem ser ainda maiores no contexto climático delineado.

Os resultados da pesquisa trazem informações do interesse de projetistas, para o embasamento de futuras propostas de novos edifícios residenciais na cidade de São Paulo, considerando as atuais possibilidades construtivas e os contextos climáticos urbano atual e futuro. Informa os usuários dos edifícios sobre a importância de se utilizarem do potencial dos elementos que proporcionem controle para sombreamento e ventilação dos ambientes (quando disponíveis), assim como da própria varanda e fornece subsídios para escolha de melhores opções, a exemplo daquelas que proporcionem maiores possibilidades de operação dos fechamentos/aberturas.

1.1 Objeto, Objetivo e Hipótese

O objeto deste trabalho é o desempenho térmico de edifícios residenciais multifamiliares em São Paulo, lançados entre 2005 e 2014, considerando o contexto urbano e climático em transição, visando às condições de conforto térmico.

O objetivo é quantificar, por meio de estudos paramétricos de simulações termodinâmicas, o efeito de elementos, tanto intrínsecos quanto externos aos edifícios, sobre as condições de conforto térmico no clima atual e, em um segundo momento, no futuro cerca

de 50 anos à frente¹, identificando as melhores estratégias de projeto e operação para o conforto térmico. Para isso, incorpora, dentre outros aspectos da produção contemporânea, o aumento da proporção de superfícies envidraçadas nas fachadas, a crescente presença das varandas incorporadas aos espaços fechados do estar, as dimensões reduzidas das unidades residenciais, a precariedade dos sistemas de ventilação natural, etc.

O período selecionado é caracterizado por um aumento dos lançamentos de empreendimentos em São Paulo, especialmente habitacionais. Tendo em vista os fenômenos de aquecimento relacionados à escala global e à escala urbana, assim como um mercado imobiliário pouco apoiado em aspectos arquitetônicos e urbanísticos relacionados ao desempenho, este trabalho questiona qual é, de fato, o desempenho térmico dos edifícios residenciais multifamiliares disseminados na capital paulista recentemente, assim como qual é o papel de algumas decisões arquitetônicas no desempenho térmico e nas condições de conforto possíveis nesses edifícios, nos cenários climáticos atual e futuro.

Uma das tendências do mercado imobiliário atual é a presença da varanda que se pretende, não como ambiente de transição, mas como ambiente interno da unidade habitacional (fechamento totalmente envidraçado e emprego de mobiliário não necessariamente adequado ao uso externo). Sua apropriação desta maneira faz com que uma área que não seria inicialmente computada na área útil interna passe, na prática, a integrá-la e isso ocorre em um contexto de unidades com áreas cada vez mais reduzidas e com alto custo do metro quadrado. A isso somam-se os já citados aspectos relacionados a reduzidas dimensões das unidades habitacionais, a precariedade dos sistemas de ventilação natural além da difusão do vidro como elemento de vedação sem maiores estudos das consequências do seu emprego para o desempenho térmico.

Dado o cenário urbano e climático atual e vislumbrando um futuro não muito distante, de intensificação da urbanização e do aquecimento nos próximos 50 anos, a hipótese deste trabalho é de que algumas práticas de projeto e operação correntes nos edifícios residenciais multifamiliares, que incluem o uso da varanda como ambiente interno da unidade e a vedação envidraçada de maiores proporções, tudo isso conjugado com as pequenas dimensões das unidades e os decorrentes prejuízos à ventilação natural fazem com que esse estoque edificado, operando em modo naturalmente ventilado, apresente um desempenho insatisfatório para o conforto térmico, e que isso vai ocorrer em uma parcela considerável do tempo de uso, diferentemente do que acontecia com as gerações anteriores de edifícios residenciais em São Paulo (ALVES, 2014; ALVES et al. 2014a, 2014b, 2015a, 2015b e 2016). No entanto, a varanda, valorizada nos edifícios residenciais multifamiliares verticais recentes, quando usada de fato como elemento de transição, consegue ser o vetor de melhoria do conforto térmico interno através da promoção de diferentes possibilidades de operação, incluindo sombreamento e ventilação.

1.2 Método

Este estudo parte de uma leitura de grandes temas relacionados ao mercado imobiliário na cidade de São Paulo, projeto de arquitetura, desempenho térmico dos edifícios e o contexto climático. Passa por estudos de casos reais de apartamentos residenciais e estudos de clima urbano. Estuda o contexto climático e a inclusão desse contexto nas simulações computacionais e realiza simulações computacionais termodinâmicas de desempenho térmico de uma unidade

¹ Na meteorologia, as simulações de clima futuro (incluindo o estudo que subsidiou este trabalho) referem-se sempre a um período de alguns anos, e não um ano exato. Por isso, sempre que há referência a “50 anos à frente”, este trabalho se utiliza de expressões como “cerca de” ou “aproximadamente”.

residencial considerada representativa da produção recente do mercado imobiliário de edifícios verticais multifamiliares.

A etapa das simulações computacionais termodinâmicas foi dividida em 2: 1ª e 2ª fases de simulações. A 1ª fase de simulações utiliza-se de arquivo climático padrão para a cidade de São Paulo, considera a unidade habitacional desocupada e o entorno não verticalizado. Esta fase se divide em 2 grupos: fatores intrínsecos e externos ao edifício; nos fatores intrínsecos são abordados aspectos construtivos e de uso e ocupação; nos fatores externos, clima e sombreamento pelo entorno verticalizado. A 2ª fase de simulações utiliza-se de arquivo climático representativo do futuro (aproximadamente 50 anos à frente) com inserção do efeito da ilha de calor urbana e considera a unidade habitacional ocupada e o entorno verticalizado. Esta fase se inicia com o estudo das diferentes configurações de estar/varanda no Ap Base nas diversas orientações e nos 1º e 14º pavimentos; em seguida foram selecionados, dentre eles, os casos mais críticos e estudados possíveis parâmetros de sombreamento e ventilação diferenciados nessas situações; em seguida, tendo em vista, ainda, o grande desconforto por calor, foi estudada a incorporação de brises na varanda com ela aberta; por fim, foram conjugados parâmetros observados nas simulações anteriores, visando ao melhor conforto térmico para cada uma das 4 orientações principais, de modo que, na busca por melhores opções de operação da varanda para o conforto térmico, levou-se em consideração as diferentes orientações e os períodos de calor e frio (fevereiro e julho).

Foi utilizado o modelo de simulação computacional termodinâmica EDSL Tas (*Environmental Design Solutions Limited / Thermal Analysis Software*) versão 9.4.2. Desenvolveu-se um exemplo hipotético de apartamento cuja elaboração se baseou nos levantamentos sobre as unidades da produção recente do mercado imobiliário na cidade de São Paulo. O modelo resultante é uma unidade residencial hipotética, denominada “Apartamento Base” (ou Ap Base). Sobre esta unidade hipotética foram realizadas variações (1ª e 2ª fase de simulações) para fins de comparação dos resultados relacionados ao conforto térmico. As análises dos resultados são comparativas entre as propostas colocadas pelas simulações. A principal variável utilizada nas análises é a temperatura operativa (TO). Para a avaliação da condição de conforto utilizou-se o modelo de conforto adaptativo da norma ASHRAE 55 (2017).

O método é indutivo, por meio de levantamentos de dados e elaboração de um modelo representativo (Ap Base) para as simulações computacionais, e dedutivo, por meio de comparações entre os diversos resultados obtidos pelas simulações computacionais nas diferentes configurações propostas.

O método é explicado detalhadamente no capítulo 4. A Figura 1 traz uma representação esquemática dos passos deste estudo.

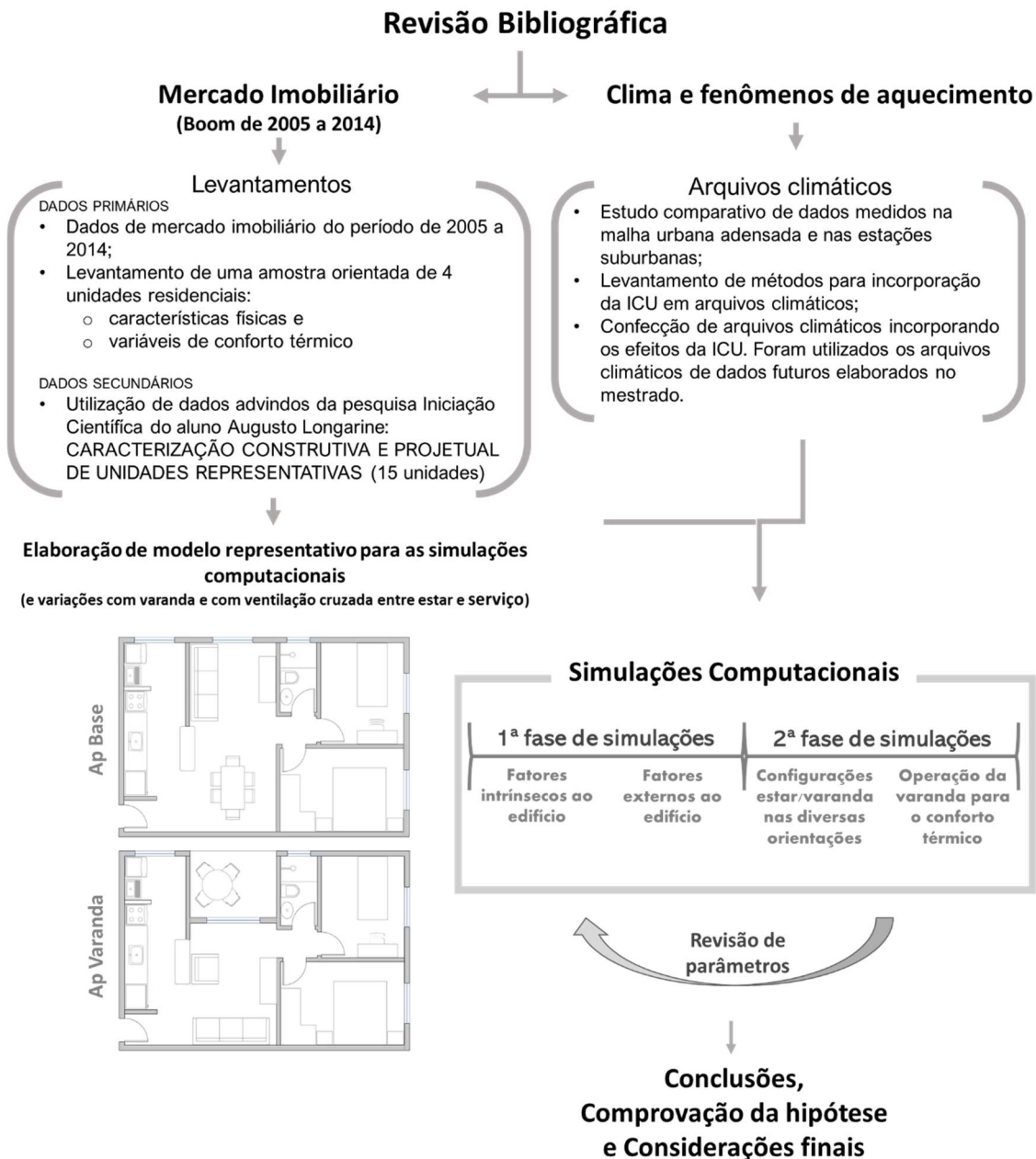


Figura 1. Fluxograma esquemático da tese.

1.3 Estrutura do Trabalho

O trabalho inicia-se pelo Capítulo 1, que expõe os itens relacionados à Introdução e motivação da pesquisa.

Realizou-se, inicialmente, uma leitura de padrões de empreendimentos residenciais através de dados do mercado, do estoque edificado na cidade de São Paulo no período de *boom* imobiliário que vai do ano de 2005 a 2014 (Capítulo 2. Arquitetura e mercado imobiliário na cidade de São Paulo: estoque edificado recente – o *boom* imobiliário e a emergência da verticalização na cidade de São Paulo). Complementarmente foi selecionada uma amostra orientada, não probabilística, desse estoque edificado, composta por 4 unidades residenciais para estudos mais detalhados, incluindo medições de variáveis ambientais (temperatura do ar, umidade relativa do ar, temperatura de globo, velocidade do ar) no interior de unidades

habitacionais selecionadas para esta pesquisa. Essa etapa do estudo foi importante para o aprofundamento do conhecimento de casos reais e está detalhada no Apêndice A - Apartamentos do mercado imobiliário recente e seu desempenho térmico: estudos de caso. Realizou-se também uma leitura sobre os efeitos de aquecimento, a saber, mudança climática global e dos efeitos microclimáticos urbanos (Capítulo 3. A arquitetura, o desempenho térmico dos edifícios e o contexto climático).

O Capítulo 4 (Material e método) expõe os caminhos percorridos para os estudos desenvolvidos. Inicia-se pela leitura interpretativa de dados climáticos medidos na cidade de São Paulo visando à compreensão do efeito da ilha de calor na cidade e seu acoplamento a arquivos climáticos utilizando o método desenvolvido por Crawley (2018) e visando à simulação computacional. Para a construção de bancos climáticos que incorporam tanto os efeitos das mudanças climáticas quanto os do aquecimento urbano, partiu-se de arquivos previamente elaborados, que incorporam os efeitos das mudanças climáticas ao longo do tempo (ALVES, 2014; ALVES et al. 2014a, 2014b, 2015a, 2015b e 2016). Para esta etapa foram coletados dados de medições externas, de estações meteorológicas existentes na cidade de São Paulo e dados de estações meteorológicas móveis, medidos na malha urbana adensada da cidade, originados de outra pesquisa de doutorado do Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética (LABAUT) da FAU/USP (GUSSON, DUARTE, 2018). Em seguida, procederam-se a estudos para compreensão dos efeitos da localização das diferentes estações de medição nos dados de temperatura e também, a comparação do efeito observado através destes dados medidos e a aplicação do método desenvolvido por Crawley (2008) adaptado aos dados locais. Os itens seguintes abordam as simulações computacionais. Estas visaram a representar, da melhor maneira possível, os padrões construtivos contemporâneos na cidade de São Paulo, impondo sobre uma unidade fictícia considerada representativa, alterações sistemáticas de aspectos construtivos, de uso e ocupação e de entorno, assim como avaliar as possibilidades de desempenho oferecidas pela presença da varanda, incorporada ao modelo Ap Base, no seu desempenho térmico. As simulações computacionais foram divididas em duas grandes fases: na 1ª fase de simulações as alterações impostas à unidade habitacional foram avaliadas uma a uma, em simulações computacionais realizadas com um arquivo climático padrão, o edifício considerado isolado no espaço e não ocupado. Na 2ª fase de simulações, foram adotados parâmetros mais realistas para um futuro não muito distante, com entorno urbanizado e o apartamento ocupado por uma família de 3 pessoas e foram avaliados o desempenho das diversas configurações de apartamento no que diz respeito à inclusão da varanda e as opções de operação.

No Capítulo 5 (Análise dos resultados) foram expostos e interpretados os resultados, primeiramente da elaboração dos arquivos climáticos incorporando o efeito da ilha de calor urbana e, em seguida, de cada um dos conjuntos de simulações computacionais a que se procedeu. Para a exposição dos resultados foram utilizados gráficos e tabelas que buscaram representar da melhor maneira possível os resultados obtidos, além da exposição textual dos aspectos relacionados.

Para melhor compreensão de aspectos relacionados à simulação computacional foram realizados alguns estudos relacionados e expostos nos apêndices B e C (Apêndice B - Simulação de uma unidade real e comparação dos resultados com as medições e Apêndice C - Ventilação natural cruzada no software Tas).

Por fim, as principais conclusões foram reunidas e sintetizadas no Capítulo 6 (Conclusão, comprovação da hipótese e considerações finais), além da retomada da questão levantada na hipótese e últimas considerações.

As referências bibliográficas encontram-se listadas no Capítulo 7 (Referências bibliográficas).

2 Arquitetura e mercado imobiliário na cidade de São Paulo: estoque edificado recente – o *boom* imobiliário e a emergência da verticalização na cidade de São Paulo

O mercado imobiliário residencial do período escolhido para este estudo concentra-se no espaço de tempo em que ocorreu o que se chamou de “*boom*” imobiliário. O maior aumento no número de lançamentos é verificado a partir do ano de 2007, porém, por entender que a partir do ano de 2005, quando da regulamentação da Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo (LPUOS), que foi lançada em 2004, os empreendimentos já guardam características semelhantes, para esse trabalho foi selecionado o período de 2005 a 2014 (Figura 2).

O *boom* ocorreu por uma confluência de fatores, dentre eles destacam-se o déficit habitacional brasileiro, a capitalização de grande parte das empresas por abertura de seu capital na bolsa de valores e, principalmente, o incentivo vindo através de financiamentos à produção habitacional, incluindo o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), que procurou atender principalmente as classes baixa e média-baixa. Essa produção imobiliária recente teve a peculiaridade de produzir uma grande quantidade de unidades com ambientes compactos, atendendo a uma demanda latente que inclui variadas classes sociais (que, neste momento, passaram a reunir condições de adquirir um apartamento próprio) e não apenas a alta renda.

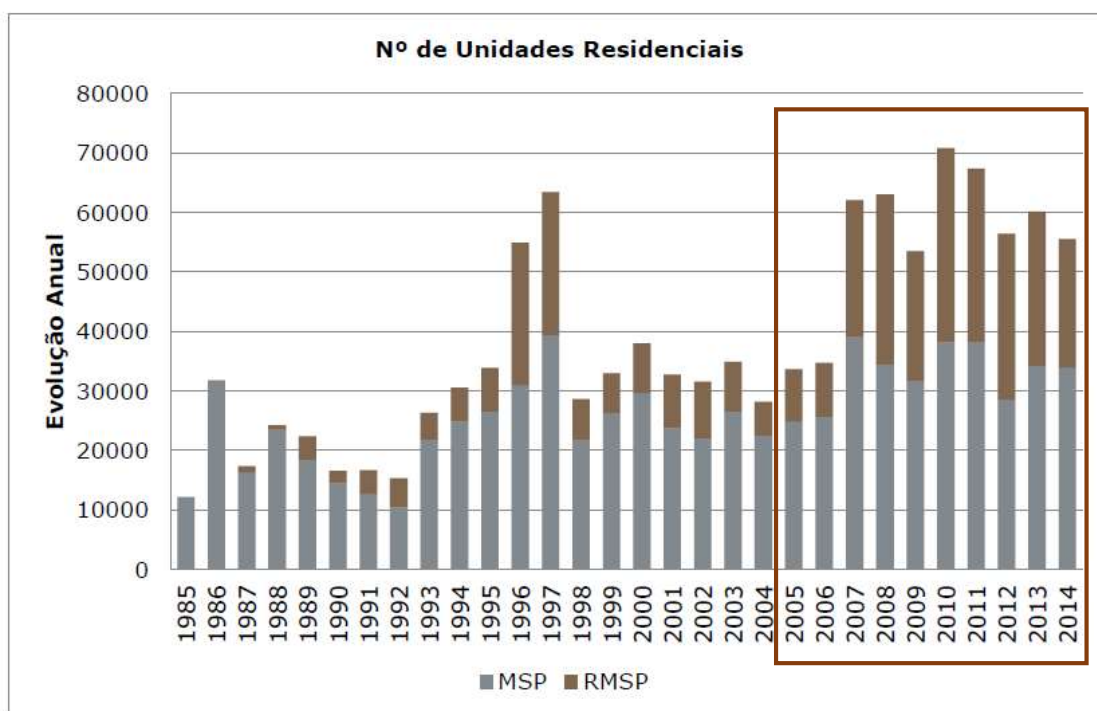


Figura 2. Distribuição anual do número de unidades residenciais lançadas (apartamentos e casas em condomínio). Fonte: EMBRAESP, 2015. Para este trabalho foi selecionado o período de 2005 a 2014.

2.1 A contextualização da produção arquitetônica para um melhor desempenho térmico

As pessoas passam a maior parte do seu tempo no interior de edifícios, seja repousando, trabalhando, realizando atividades cotidianas, etc. Daí a importância da qualidade e das possibilidades que os edifícios oferecem. Um dos fatores que influenciam fortemente o bem-estar e a satisfação em um ambiente são os estímulos sensoriais (térmico, acústico, luminoso, olfativo, tátil) e as condições de conforto decorrentes. Dentro desse contexto, este trabalho procura explorar os aspectos relacionados ao conforto térmico.

O clima e o local onde se implantam os edifícios oferecem tanto oportunidades quanto desafios para o desempenho térmico dos mesmos. A discussão sobre uma arquitetura adequada ao contexto no qual ela se insere, principalmente o contexto climático e com o menor consumo energético possível, pode ser verificado em textos clássicos, amplamente conhecidos como os de Olgyay (1973) e Givoni (1976). Porém, antes mesmo dessa questão se tornar um campo de estudos e retórica, as construções feitas pelas mais diversas populações humanas, a fim de se abrigar e realizar suas funções, já eram realizadas com estes preceitos (ROAF, 2009; BAY *et al.*, 2006), e mesmo, pode-se dizer, refletiam o ambiente em que se encontravam (HAWKES, 2006). Os edifícios tradicionais refletem séculos de experiência e até de pesquisas inconscientes da relação entre edifício e clima, além de representarem modelos mais holísticos de uma arquitetura adaptada ao seu local de implantação (HYDE, 2000).

A partir da década de 1930 o Brasil foi influenciado pelo movimento moderno que trouxe uma nova linguagem para a arquitetura e também procurou utilizar as possibilidades tecnológicas então existentes, principalmente o concreto armado que proporcionava, além de formas então inovadoras, grandes vãos e, conseqüentemente, grandes aberturas (BRUAND, 2002). O movimento moderno trouxe consigo, entre muitas outras coisas, uma preocupação com um melhor desempenho térmico e redução do consumo energético, para isso, lançando mão de estratégias como a busca pela orientação geográfica mais adequada, emprego de elementos de sombreamento como brises e marquises e utilização de vegetação em jardins projetados (CORBELLA, YANNAS, 2009). Muitos dos edifícios produzidos nessa época e com esse viés se localizam na cidade do Rio de Janeiro, por ter sido esse o local de atuação de alguns dos principais expoentes do modernismo, como Oscar Niemeyer, Lúcio Costa e Affonso Eduardo Reidy, assim como o local onde esses arquitetos tiveram a oportunidade de trabalhar e absorver os conceitos do arquiteto suíço Le-Corbusier, um dos pais do movimento moderno da arquitetura (BRUAND, 2002).

Ainda que este trabalho se concentre em estudar o desempenho de edifícios residenciais, boas soluções arquitetônicas podem ocorrer em diferentes tipologias de edificação e, por isso, não apenas edifícios residenciais, mas também comerciais e institucionais estão sendo utilizados como exemplificativos.

Entre os principais exemplos desta arquitetura e deste momento está o Palácio Gustavo Capanema (Figura 3 e Figura 4), projetado para ser a sede do então Ministério da Educação e da Cultura, o MEC. O edifício foi implantado de modo que o bloco principal tem suas principais fachadas com orientação praticamente norte/sul (18°) e utiliza brises fixos na fachada norte, afastados do plano da edificação de modo a permitir a circulação do ar ao longo da fachada; o projeto não previu brises na fachada predominantemente sul (162°), que recebe insolação direta

nas manhãs de verão (CORBELLA, YANNAS, 2009). O edifício incorpora, ainda, jardins projetados por Burle Marx.

Como importantes exemplos de edifícios residenciais modernistas no Rio de Janeiro, podemos citar os Nova Cintra, Bristol e Caledônia, de Lúcio Costa, no Parque Guinle (Figura 5 e Figura 6); e o Conjunto Residencial Prefeito Mendes de Moraes, conhecido como Pedregulho, projeto de Reidy (Figura 7). Os edifícios residenciais do Parque Guinle formam um conjunto de mesma linguagem visual, que utilizam estratégias como pilotis, fachada livre e, no Bristol e no Caledônia, os elementos sombreadores e permeáveis marcantes das suas fachadas: elementos vazados e treliças de madeira (FRACALOSSI, 2011b). O Pedregulho, por sua vez, é um complexo de edifícios de diferentes funções, em que se destaca a grande edificação de habitação social. É uma lâmina de planta ondulada que também se utiliza dos preceitos modernistas de fachada livre, uso de pilotis que possibilita a instalação da grande edificação no terreno irregular e a utilização de elementos vazados na fachada (FRACALOSSI, 2011a).

No nordeste, em especial no estado de Pernambuco, são importantes os edifícios modernistas projetados por Acácio Gil Borsoi, a exemplo dos residenciais multifamiliares verticais União (Figura 11), Califórnia (Figura 12) e Caetés (Figura 13).

Um bom exemplo de edifício do período modernista na capital paulista é o edifício do Banco Sul-Americano (atual Itaú) (1961-1965), na Avenida Paulista, projetado pelos arquitetos Rino Levi, Roberto Cerqueira César e Luís Roberto Carvalho Franco, marcado por brises em suas principais fachadas (Figura 8, Figura 9 e Figura 10). Neste projeto, Rino Levi e seus associados demonstram cuidado com as questões de conforto ambiental, em especial quanto à proteção eficaz contra o excesso de insolação (BRUAND, 2002). Na cidade de São Paulo há outros importantes exemplares de edifícios modernistas em que se observam iniciativas que levam a um melhor conforto ambiental²; dentre eles, destacam-se os edifícios residenciais Anchieta, projeto dos irmãos MMM Roberto e o Edifício Louveira, dos arquitetos Vilanova Artigas e Carlos Cascaldi, além do icônico edifício de uso misto (térreo e sobreloja comerciais) com unidades residenciais nos pavimentos superiores, Copan, de Oscar Niemeyer (Figura 14 e Figura 15). Com sua planta ondulada, 140 m de altura, os brises horizontais sombreiam as orientações norte e noroeste e marcam toda a fachada. Neste edifício, a combinação do efeito de massa térmica, sombreamento externo e ventilação natural controlada pelo usuário através das aberturas resultam em um desempenho térmico favorável ao conforto humano (GONÇALVES *et al.*, 2018). O edifício residencial Lausanne, do arquiteto alemão Franz Heep, localizado no bairro de Higienópolis, é um exemplo interessante (Figura 16). Ele se destaca por apresentar fechamentos para as sacadas feitos em persianas de madeira móveis.

Por fim, chama a atenção a residência Olivo Gomes, na cidade de São José dos Campos, projeto do arquiteto Rino Levi, onde os dormitórios recebem janelas que abrangem toda a vedação externa desses ambientes e são compostas por uma bandeirola superior, folhas de vidro e brises, além de uma bandeirola sobre a porta de entrada do dormitório (na parede oposta à da abertura externa). Todos esses elementos de abertura são móveis e operáveis, criando diversas possibilidades de configuração do fechamento (Figura 17).

² Um estudo de edifícios do período moderno na cidade de São Paulo, incluindo medições e simulações para avaliação de desempenho térmico, coordenado pela profa. Dra. Joana Carla S. Gonçalves está sendo conduzido no LABAUT (Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética do Departamento de Tecnologia da FAU-USP), laboratório do qual este trabalho de doutorado também faz parte.



Figura 3. Palácio Gustavo Capanema. Fonte: ANDRADE, 2007 (foto Nelson Kon).



Figura 4. Brises na fachada norte do Palácio Gustavo Capanema. Fonte: CORBELLA e YANNAS, 2009.



Figura 5. Edifícios no Parque Guinle. Fonte: FRACALOSSO, 2011b (foto de Nelson Kon).



Figura 6. Interior de unidade residencial no Parque Guinle. Fonte: FRACALOSSO, 2011b (foto de Nelson Kon).



Figura 7. Edifício Pedregulho. Fonte: FRACALOSSO, 2011a (foto cortesia de Nabil Bonduki).



Figura 8. Edifício Sul-Americano. Fonte: FRACALOSSO, 2013 (foto de Nelson Kon).

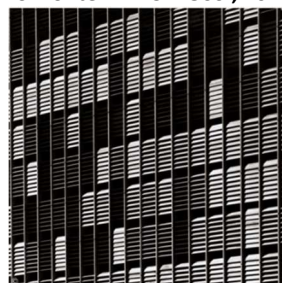


Figura 9. Brises da torre do edifício Sul-Americano. Fonte: FRACALOSSO, 2013 (foto de Nelson Kon).



Figura 10. Marquises com sombreamento em brises verticais do edifício Sul-Americano. Fonte: FRACALOSSO, 2013 (foto de Nelson Kon).



Figura 11. Edifício Residencial União, em Recife, do arquiteto Acácio Gil Borsoi. Fonte: SILVA, 2004.



Figura 12. Edifício Residencial Califórnia, Recife, arquiteto Acácio Gil Borsoi. Fonte: SILVA, 2004.



Figura 13. Edifício Residencial Caetés, Recife, arquiteto Acácio Gil Borsoi. Fonte: SILVA, 2004.



Figura 14. Topo do Edifício Copan. Fonte: BARATTO, 2014b.

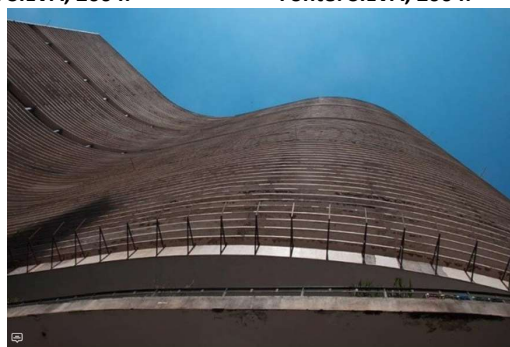


Figura 15. Edifício Copan em vista de baixo para cima. Fonte: BARATTO, 2014a.



Figura 16. Edifício Lausanne, no bairro de Higienópolis, São Paulo. Fonte: acervo pessoal.



Figura 17. Residência Olivo Gomes, na cidade de São José dos Campos/SP. Fonte: acervo pessoal.

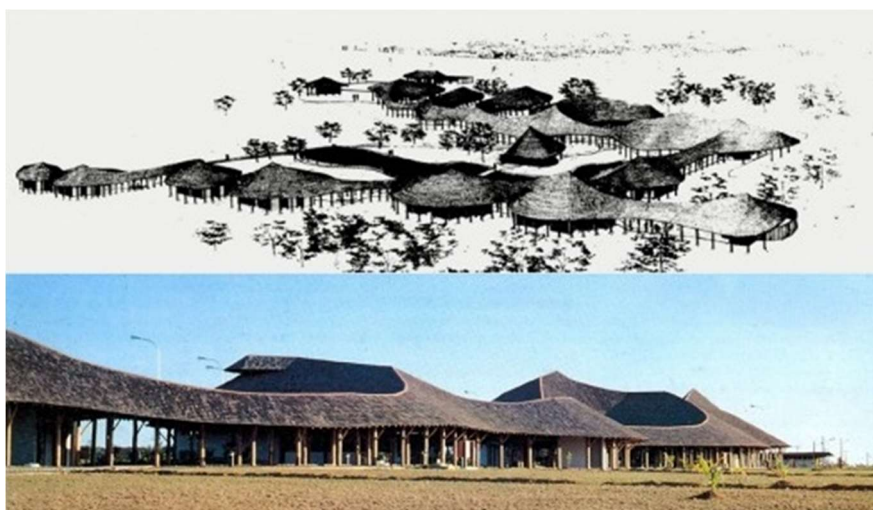


Figura 18. Centro Ambiental Balbina, do arquiteto Severiano Porto. Fonte: HENRIQUES, 2016.



Figura 19. Hospital Sarah Brasília projetado pelo arquiteto Lelé. Fonte: GUERRA, MARQUES, 2015 (foto: Nelson Kon)

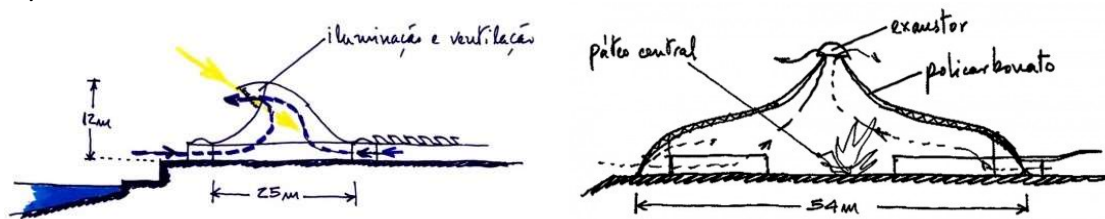


Figura 20. Cortes esquemáticos do sistema de ventilação dos edifícios do Hospital Sarah Brasília. Fonte: LIMA, 2012

Mais recentemente destacam-se as obras de Severiano Porto e João Filgueiras Lima, o Lelé. Severiano Porto atuou principalmente na segunda metade do século XX na cidade de Manaus e utilizou-se largamente de estratégias passivas relacionadas à ventilação e sombreamento na busca de uma arquitetura adaptada e com melhor desempenho para o seu contexto climático, a exemplo do Centro Ambiental Balbina, da década de 1980 (Figura 18). Lelé, por sua vez, entre meados do século XX e o início do século XXI realizou importantes trabalhos, amplamente reconhecidos pela sua preocupação com o desempenho ambiental. As obras mais conhecidas do arquiteto são os hospitais do Aparelho Locomotor, da rede Sarah Kubitscheck, constantemente marcadas pelas coberturas em *sheds* que proporcionam, ao mesmo tempo, iluminação natural para o interior do edifício e ventilação, por efeito chaminé (GUERRA; MARQUES, 2015) (Figura 19 e Figura 20).

Não é uma regra que a arquitetura seja feita observando-se precedentes de alta qualidade, ou mesmo que a qualidade arquitetônica seja colocada em primeiro plano na construção civil. Boas referências, porém, são essenciais como ponto de partida para uma nova produção e são importantes, não para serem copiados, mas para informar a arquitetura e os arquitetos.

2.2 A produção de edifícios habitacionais verticais multifamiliares e o *boom* imobiliário

O solo urbano nas cidades atuais é potencializado, criando-se o solo artificial, principalmente através do processo de verticalização (ANDRADE *et al.*, 2015). O que se nota, atualmente, é uma grande quantidade de edifícios verticais residenciais existentes e um progressivo aumento dos mesmos. Segundo Somekh (1997), os primeiros edifícios altos surgem

nos anos 1910 e se disseminam, enquanto o processo de verticalização se intensifica nos anos 1920, tanto por fatores de legislação, quanto pelo início do uso do elevador:

“São Paulo, até 1916, era praticamente uma cidade horizontal, com 92,3% de casas térreas e assobradadas. De um total de 54.818 prédios, 3.989 eram de um andar e 243 de mais de um andar. Ao todo, 4.232 prédios altos, ou seja, 7,7% do total” (SOMEKH, 1997, p. 40)

“A Verticalização é um dos elementos do ambiente construído. A sua emergência resulta da conjunção de uma série de condicionantes. A produção industrial gera uma configuração urbana, resultado de sua articulação com outros setores capitalistas. O capital imobiliário [...] exige a multiplicação do solo urbano (verticalização), como inovação à subdivisão do solo (loteamento), numa nova estratégia de valorização do capital. O alto preço da terra e sua otimização não explica, por si só, a verticalização, mas exatamente essa nova estratégia do capital imobiliário. Além da terra, a forma urbana transforma-se em mercadoria. O estado regula a ação dos agentes produtores, estimulando a acumulação de capital.” (SOMEKH, 1997, p. 108 e 109)

O que se verifica recentemente é a multiplicação dos edifícios verticais, especialmente em locais onde a terra urbana é mais valorizada e, se até certo momento, as edificações residenciais eram representadas principalmente por casas térreas ou por pequenos blocos, mais recentemente, com a intensificação da urbanização e a necessidade de adensamento, essa tendência tem se invertido e a grande maioria dos novos empreendimentos lançados pelas construtoras, e principalmente a maior parte das unidades residenciais lançadas, são multifamiliares verticais (Figura 26 e Figura 27).

2.3 Contexto socioeconômico

O Brasil é um país predominantemente urbano. O século XX foi um período de intensa urbanização, com inversão da prevalência da população urbana sobre a rural na virada da década de 1960 para a de 1970 (ANDRADE *et al.*, 2015) e com a tendência de aumento da taxa de urbanização mantida ao longo dos últimos anos, sendo que em 2010 a taxa de urbanização registrada foi de 84,36% (IBGE, 2010).

Na primeira década do século XXI o país viveu o chamado *boom* imobiliário, período no qual se verificou um expressivo aumento no número de lançamentos imobiliários, especialmente habitacionais, amplamente apoiado na política de crédito habitacional.

Neste contexto, a capital paulista tem uma posição de destaque por responder por grande parte desse estoque. O aumento no número de lançamentos foi especialmente expressivo a partir do ano 2007, como pode ser observado na Figura 2.

Esse processo não foi ocasional, mas impulsionado por alguns fatores, principalmente a disponibilidade de capital para se financiar os empreendimentos, advindos tanto da capitalização das grandes incorporadoras pela abertura do seu capital em bolsa de valores (entre o segundo semestre de 2005 e o primeiro semestre de 2007), mas principalmente pela retomada dos financiamentos habitacionais em larga escala no Brasil, principalmente a partir de 2007 (MEYER, 2014; MEYER *et al.*, 2013; ALAS, 2013). A esses fatores soma-se a existência de um déficit habitacional existente no país, abrangendo principalmente as parcelas mais pobres da

população (LIMA, 2015). No período vigoraram o Plano Diretor de São Paulo e correspondente lei ordenadora do uso do solo, promulgados respectivamente em 2002 e 2004.

De 1993 a 1997 o Brasil viveu um momento de estabilidade econômica e expansão de investimentos e renda, relacionados ao Plano Real, que se fizeram sentir na produção imobiliária. Mesmo sem uma política de crédito específica estabelecida, o número de unidades habitacionais lançadas na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) aumentou rapidamente (Figura 21). Em 1998 essa trajetória foi interrompida pelos efeitos da crise econômica internacional, de modo que o período que se seguiu (1998/1999) foi de baixo crescimento econômico, pouca expansão da renda e ainda baixa disponibilidade de crédito imobiliário.

A partir do segundo semestre de 2003 a atividade econômica brasileira passou a se recuperar e, em 2005, a captação de recursos para o crédito habitacional já havia se reestabelecido. O que se observou foi, então, um *boom* imobiliário, principalmente a partir do ano de 2007 e com seu pico no ano de 2010, conforme Figura 22. Além disso, esse período foi próspero para a economia do país como um todo, inclusive com aumento de renda da população.

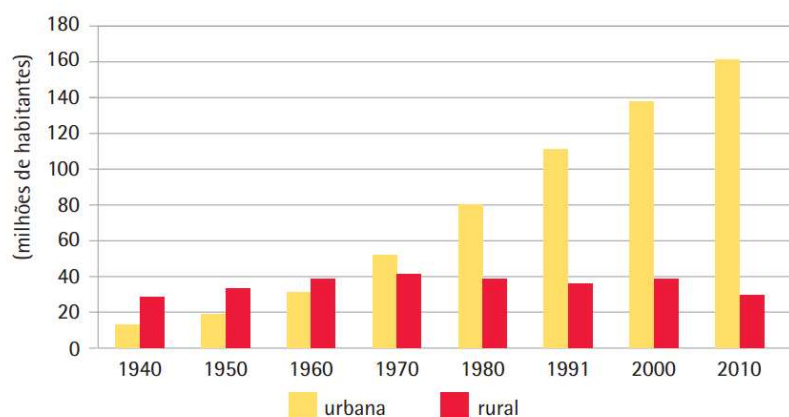


Figura 21. Fonte: População e demografia. População por situação de domicílio. Censo Demográfico 1940/2000. IBGE, 2012.

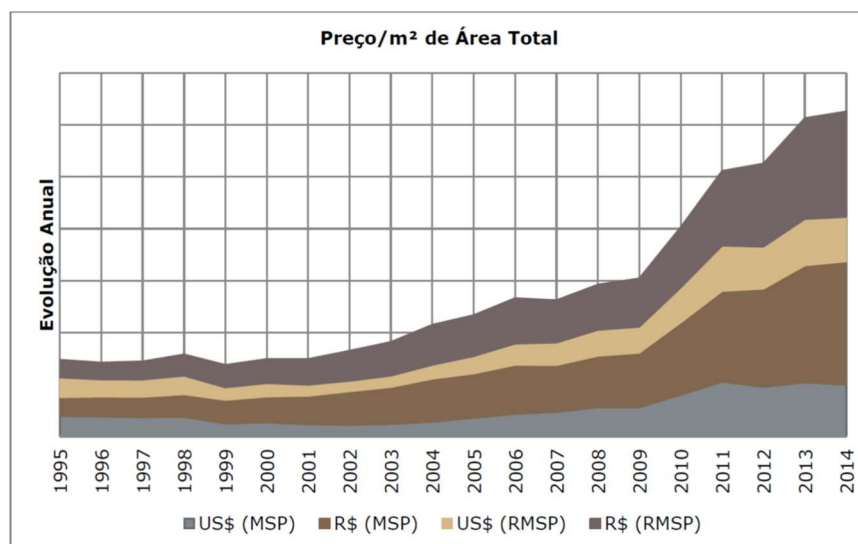


Figura 22. Evolução anual do preço do m² de Área Total, em dólar e em real, considerando-se as unidades residenciais lançadas no período de 1995 a 2014. O gráfico revela a grande valorização imobiliária que ocorreu no período. Obs: os empreendimentos têm seus preços em R\$ convertidos para US\$ no mês de seu lançamento, utilizando-se como referencial o valor do câmbio comercial, para venda, do primeiro dia útil do mês em questão, feita pela cotação do dólar comercial para venda. Fonte: EMBRAESP, 2015.

A partir do ano 2014, especialmente após o período eleitoral, o contexto econômico brasileiro se altera e se inicia um período negativo para a economia e política nacionais. O mercado imobiliário foi afetado pela restrição ao crédito, aumento da taxa de juros e desemprego. O resultado foi a devolução de grande parte dos imóveis adquiridos na planta antes mesmo da conclusão da obra (os chamados “distratos”). Segundo o relatório do ano de 2014 da EMBRAESP (2015), os dados apurados apontam que, gradativamente, termina o período de euforia (tanto de oferta, quanto de demanda) iniciado em 2007, quando houve aumento real dos preços, alavancado por diversos fatores, tais como facilidade de crédito, maior garantia aos bancos, aumento nos prazos, aumento real da renda formal das famílias e também pelo alto nível de emprego.

Dentro do contexto desenhado, desenvolveu-se, portanto, uma intensa atividade imobiliária, que teve características próprias, tanto de localização, quanto de sua inserção no meio urbano (contribuindo para a construção e transformação desse meio) e também com características próprias das unidades construídas.

Segundo Lima (2015),

“Os acontecimentos históricos no campo da produção imobiliária a partir de 2005 tornaram mais evidentes a correlação entre as características da oferta residencial e as condições macroeconômicas vigentes, em especial a oferta de crédito. Inicialmente, dois fatores da oferta habitacional privada desse período chamam a atenção: o aumento expressivo da oferta de imóveis e a grande valorização dos preços dos imóveis no período”(LIMA, 2015, p.171).

“...a expansão do crédito em 2005 encontrou uma situação histórica muito específica que reunia crescimento econômico, aumento da renda da população em todos os estratos sociais e uma demanda reprimida das classes médias e médias baixas de pelo menos vinte anos de crédito imobiliário muito restrito.” (LIMA, 2015, p.171 e 172)

Por ser regida por questões mercadológicas, a produção praticada pelo mercado imobiliário é marcada pelo distanciamento entre prática profissional e pesquisa em arquitetura e valoriza sobremaneira os aspectos visuais sobre os demais, como funcionalidade e desempenho. A arquitetura, nesse caso, é tratada como mercadoria e dirigida pela busca por baixo custo e alto lucro, para que sua realização seja viabilizada, o que resulta, muitas vezes, em redução da qualidade da construção (VARGAS, 2014). De acordo com Lima (2015), a atividade imobiliária é antes de tudo um investimento financeiro e não uma oportunidade de produção de arquitetura, de urbanismo ou, num sentido mais amplo, de construção da cidade. Discute-se em especial a qualidade da produção imobiliária do segmento econômico, principalmente devido às exigências de qualidade mínima serem excessivamente brandas. De acordo com Ferreira:

“...no processo de intensa urbanização vivido no país, a boa arquitetura vem se tornando menos presente. Cada vez mais restrita a obras pontuais e individuais de uns ou outros escritórios, não aparece na fenomenal produção do chamado segmento econômico...” (FERREIRA, 2012, p. 30).

As restrições impostas pela busca de produção em grande escala e de lucratividade impõem lógica que despreza os elementos da boa arquitetura, ainda que haja profissionais da arquitetura atuando nas construtoras. Segundo o autor, o modelo urbano que está sendo adotado se caracteriza pela desigualdade social e pela insustentabilidade das cidades.

Sobre esse recente contingente edificado não se tem informações sobre como respondem às condições térmicas impostas pelo clima atual e como irão se comportar levando em consideração o clima em transição.

2.4 A Legislação e sua influência sobre a morfologia urbana e o mercado imobiliário

A forma e o desenho que a cidade adquire variam com o tempo, em função de padrões estéticos, tecnologias disponíveis, questões mercadológicas, conjuntura econômica, políticas públicas, entre outros, e nas diferentes localidades dentro de uma mesma malha urbana. Em última instância, a maneira como os variados aspectos se conjugam resulta na produção e no desenho do espaço urbano. A legislação urbanística é, portanto, um importante meio de organização e mediação dos diversos interesses e conflitos existentes. É um dos principais meios através dos quais o poder público é capaz de exercer seu papel ordenador do desenvolvimento sócio espacial urbano e, de algum modo, colocar as “regras do jogo” (HEPNER, 2010). Ela possui caráter dinâmico, sempre sujeito a alterações e atualizações. Ainda que a legislação urbana, tal como ocorre nas cidades brasileiras, não tenha o poder de determinar com maior precisão o desenho urbano, carrega em si instrumentos que determinam alguns parâmetros definidores das possibilidades de implantação, forma, posicionamento e altura dos edifícios a serem implantados e assim exercem influência sobre a paisagem urbana. As principais peças legais são o Plano Diretor (PD) e a Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo, (LPUOS), o zoneamento. Outro instrumento importante da legislação é o Código de Obras e Edificações (COE), porém, com menor interferência sobre a morfologia urbana que os dois anteriores.

O mercado imobiliário, por sua vez, tende a incorporar as possibilidades e também as restrições oferecidas e impostas pela legislação vigente e busca sempre a máxima ocupação do lote, por questões intrínsecas ao próprio capitalismo como a viabilidade financeira e a possibilidade de obtenção de lucro.

A urbanização da cidade de São Paulo na primeira década do século XX foi marcada por traçado tortuoso e “quadras-bloco” densamente construídas, com ocupação quase total dos lotes pelos edifícios, o que caracteriza a morfologia do centro da cidade. Há ainda variações de formas e gabaritos em decorrência da sobreposição de edifícios mais e menos antigos na região e que foram erguidos em épocas sujeitas a uma legislação diferente da atual, a exemplo do Código de Obras Arthur Saboya, promulgado em novembro de 1929, e que permitia a ocupação quase total do lote (SÃO PAULO (Município), 1929). O artigo 32 do referido código impõe que na zona central não seriam permitidas edificações recuadas do alinhamento. Em outras regiões, por sua vez, e em especial em determinadas vias, o recuo do alinhamento era obrigatório. O gabarito de altura era imposto através de uma relação com a largura da via, de modo que a altura máxima era maior na zona central que nas demais. Havia a possibilidade de aumentar esse limite de altura nos casos de vias com menos de 15m, recuando o edifício e incorporando esse recuo à via pública e construindo uma marquise de cobertura nesse espaço.

“A formação das quadras-bloco do centro de São Paulo não ocorreu por acidente, como um resultado imprevisto da legislação. Ela foi concebida e promovida com a intenção de alavancar a transformação da imagem da cidade de São Paulo do século XIX, um provinciano núcleo colonial de casebres colados ao chão, rumo à cidade rica do café e do comércio, construída em referência ao modelo urbano europeu, na qual a morfologia da quadra-bloco era, e em muitos casos ainda é, a forma urbana predominante. A legislação não apenas permitiu, como incentivou que isto ocorresse: a partir de 1929, por exemplo, um novo Código de Obras passou a determinar alturas mínimas para as novas construções na área do Triângulo histórico no Centro Velho,

que variavam entre 3 e 9 pavimentos, dependendo da largura da rua, o que de fato acabou forçando a verticalização” (HEPNER, 2010, p. 180 e 181)

Ao longo do tempo a legislação urbana em São Paulo passou a incorporar mais modalidades de restrições para a ocupação dos lotes. Até a década de 1950, as únicas restrições à verticalização se dão por meio de fórmulas que estabelecem a relação da altura dos edifícios em função da largura da rua ou, em alguns casos, gabarito máximo fixo e, a partir de 1934, o Atto nº 663 permitia o escalonamento dos edifícios seguindo uma linha imaginária traçada a partir do alinhamento do lado oposto da rua, passando sobre o ponto máximo de altura da fachada frontal. A partir da década de 1950, a legislação passa a incorporar um novo tipo de restrição: o coeficiente de aproveitamento, introduzido pela Lei 5.261/57. A introdução desse dispositivo urbanístico resultou em efeitos sobre a morfologia urbana, com substituição das quadras-bloco, maciças e coesas, pela quadra composta por edifícios torre. E também os índices adotados evoluem e se alteram com o decorrer do tempo. Hepner (2010) lembra que, em um primeiro momento, a legislação não exigia grandes recuos, gerando proximidade entre os edifícios implantados. Um exemplo de urbanização representativa desta fase é o bairro de Higienópolis.

Até então, portanto, a lei do zoneamento reunia algumas dezenas de atos, leis e decretos que disciplinavam o uso e ocupação do solo apenas para alguns perímetros e ruas do município (CEF, 2003). O primeiro plano diretor da cidade de São Paulo é o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado (PDDI) e data do ano de 1971, época da ditadura militar; o plano havia sido elaborado pelo poder executivo e aprovado sem maiores discussões pela Câmara Municipal. A aplicação de suas propostas não teve sucesso, porém, o plano teve uma importante contribuição ao consolidar a ferramenta do zoneamento como forma de ordenação do uso e ocupação do solo do município como um todo, através da lei específica que o definiu, Lei nº 7.805, que data do ano 1972. O segundo plano diretor da cidade é de 1988 e foi aprovado por decurso de prazo, sem votação pelo legislativo municipal, e sem consequências práticas para a cidade (CEF, 2003). Após este último, em 1991 um novo projeto de plano diretor, dessa vez pós constituição de 1988, com inovações e conteúdos democratizantes foi colocado em votação. Este não foi, porém, aprovado pela câmara. Para a elaboração de um novo plano constituiu-se, então, uma mesa de negociações com a participação do executivo, do legislativo e de setores da sociedade civil organizada; essa nova iniciativa não logrou êxito na elaboração de um novo plano, porém, representou avanço ao passar a considerar a importância de um pacto social para a criação do plano diretor. O plano seguinte, Plano Diretor Estratégico, o PDE de 2002, por sua vez, procurou se fazer de forma participativa e assumir maiores desafios urbanísticos, tais como definir quando e onde uma propriedade cumpre sua função social, reconhecer a cidade real (com seus loteamentos e habitações irregulares) e definir formas de participação social, sendo que foi um dos primeiros a incorporar os instrumentos urbanísticos introduzidos pelo Estatuto da Cidade (promulgado em 2001). É este PDE de 2002 que vigora sobre os empreendimentos do recorte temporal desta tese.

O plano diretor da cidade mais recente data do ano de 2014 e não se constitui objeto de estudo deste trabalho³, porém, considera-se importante ressaltar que, enquanto o Plano Diretor anterior (de 2002) incentivou o adensamento do centro expandido da cidade de São Paulo, o de 2014 procura adensar os principais eixos de deslocamento da cidade, criando a figura da Zona Eixo de Estruturação e Transformação Urbana (ZEU).

³ O recorte foi proposto para este trabalho, tendo em vista a queda na produção de unidades residenciais a partir do ano de 2014, o que coincide com o término da vigência de um plano diretor e início de outro.

Deste quadro formado pelos parâmetros edilícios que vigoram na cidade disseminou-se a forma predominante de edifício existente em São Paulo: a torre isolada em meio ao lote. Esse padrão de implantação é, portanto, de alguma maneira, resultado da legislação urbanística, com seus coeficientes e recuos, que, desde a década de 1950, passou a influenciar a morfologia urbana.

Um instrumento que reforça o incentivo à torre isolada no lote é o dispositivo conhecido como “Fórmula de Adiron”, introduzido na lei de zoneamento de 1972, o qual permite o aumento do coeficiente de aproveitamento do lote para além dos limites estipulados pela legislação, mediante a diminuição da taxa de ocupação do lote. Este mecanismo, com pequenas alterações, está presente no PDE de 2002 da cidade de São Paulo (Art. 166) e permite que o coeficiente de aproveitamento básico estabelecido para o lote possa ser beneficiado de acréscimo, limitado a um (1,0), sem o pagamento de contrapartida financeira, caso seja reduzida a TO⁴, de modo que o dispositivo estimula o modelo tipológico de torre alta e esbelta isolada no meio do lote (NAKANO, GUATELLA, 2015).

O arcabouço legal, porém, não aponta para soluções mais adequadas ao cenário que se observa atualmente: Tsuda (2018) aponta a fragilidade da atual legislação de São Paulo para a construção de uma cidade mais adaptada ao clima em transição e que, conseqüentemente, colabora para que o ambiente se torne mais insalubre e insustentável.

2.4.1 O PDE de 2002, a LPUOS de 2004 e o COE de 1992

Esse trabalho se concentra no contexto urbano caracterizado pela vigência do Plano Diretor Estratégico (PDE) do ano de 2002 (Lei 13.430/02)⁵, Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo (LPUOS) de 2004 (Lei nº 13.885/2004) e do Código de Obras e Edificações (COE) de 1992 (Lei nº 11.228/92).

Segundo Hepner (2010) a respeito do PDE de 2002, *“Trata-se de um plano de extrema relevância, não apenas por ter sido o primeiro plano diretor aprovado em São Paulo em mais de trinta anos, mas também por ter sido o primeiro plano diretor debatido e aprovado em caráter democrático.”* O PDE de 2002 procurou identificar e enfrentar os problemas da cidade. Os principais identificados foram: esvaziamento populacional das áreas consolidadas e centrais e crescimento das áreas de urbanização precária e de proteção ambiental; ocupação das áreas de proteção ambiental; agravamento das enchentes e escassez de áreas verdes; emprego longe da moradia; grande perda de tempo no deslocamento devido aos problemas de transporte e trânsito; equipamentos e serviços distribuídos de forma desigual; falta de moradia digna e poder de decisão nas mãos de poucos.

O PDE de 2002 incorporou os instrumentos urbanísticos introduzidos pelo Estatuto da Cidade como o parcelamento ou edificação compulsórios, o imposto predial e territorial urbano (IPTU) progressivo no tempo, as operações urbanas consorciadas, o direito de preempção, a transferência do direito de construir e a outorga onerosa do direito de construir. E também determinou a reformulação do zoneamento de São Paulo, que foi efetivada em 2004 através da

⁴ Fórmula CAu = TO/TOu x CA_b, onde CAu = Coeficiente de Aproveitamento a ser utilizado/ TOu = Taxa de Ocupação a ser utilizada/ TO = Taxa de Ocupação Máxima admitida/ CA_b = Coeficiente de Aproveitamento Básico.

⁵ O PDE de 2002 surge justamente um ano depois da aprovação do Estatuto da Cidade (Lei 10.257/01). Há um novo PDE vigente desde o ano de 2014 na cidade: Lei 16.050/14. A vigência prevista para cada Plano de Diretor é de dez anos, de acordo com o próprio Estatuto da Cidade.

nova Lei de Zoneamento (Lei 13.885/04). Esta nova lei aboliu o sistema de zoneamento vigente desde 1972 e instituiu um novo sistema, o qual, apesar de manter algumas semelhanças com o modelo antigo (particularmente em relação ao mapeamento das zonas), introduziu uma série de novidades relevantes. Ainda antes da elaboração da Lei de Zoneamento, o PDE de 2002 já estabeleceu algumas diretrizes gerais, dividindo o município em grandes “macroáreas”, que tinham o intuito de indicar diretrizes para definir os objetivos gerais da política urbana a ser aplicada em cada uma. São elas: 1) Macroárea de Urbanização Consolidada, 2) Macroárea de Reestruturação e Requalificação; 3) Macroárea de Urbanização em Consolidação; e 4) Macroárea de Urbanização e Qualificação; 5) Macroárea de Proteção Integral; 6) Macroárea de Uso Sustentável e 7) Macroárea de conservação e recuperação, sendo as quatro primeiras, áreas urbanizadas, e as três últimas, áreas com situações ambientalmente sensíveis, voltadas à proteção ambiental e com restrições ao adensamento e à ocupação.

Este Plano Diretor Estratégico teria identificado como principal problema urbano da capital paulistana de então o crescimento populacional desequilibrado da cidade das décadas de 1980 e 1990 (MEYER *et al.* 2013). As áreas consolidadas com melhores condições urbanas e concentração de empregos haviam perdido população, enquanto as regiões mais periféricas, com grandes carências sociais e urbanas, apresentaram grande crescimento populacional, gerando prejuízos tanto para a sua população quanto para a administração pública, na medida em que esta configuração exige vultuosos investimentos públicos em infraestrutura e serviços (Figura 23) (MEYER *et al.* 2013; CEF, 2003). Por isso, o PDE teria como objetivos “reduzir as desigualdades, equilibrar empregos e moradia” (MEYER *et al.* 2013). Deste modo a produção habitacional e o correspondente adensamento deveriam ser redirecionados para a área intermediária da cidade, definida no PDE como “Macroárea de Urbanização em Consolidação”, e para as áreas propostas para renovação urbana, a Macroárea de Reestruturação e Requalificação Urbana (Meyer *et al.* 2013) (Figura 24 e Figura 25).

O PDE trouxe também inovações como a adoção do conceito de “solo criado”, que coloca a adoção de um único coeficiente de aproveitamento geral para toda a cidade (Coeficiente de Aproveitamento Básico). A construção acima deste coeficiente seria permitida nas zonas em que a administração pública considerasse possível e conveniente, através da determinação de um “Coeficiente de Aproveitamento Máximo”. A construção acima do “Básico”, até o limite do “Máximo”, ficaria condicionada ao pagamento de uma taxa definida como a “outorga onerosa do direito de construir”, conforme disponibilidade desse potencial adicional definido para cada área, chamado “estoque de potencial construtivo adicional”. Esses estoques foram estabelecidos em quantidades diferentes para cada distrito e dividem-se entre residencial e não residencial, sendo que, na maior parte dos distritos o estoque residencial é maior que o não residencial; por sua vez, nos distritos mais densos o estoque estabelecido foi menor que nos demais, assim como nas periferias, onde se espera um interesse menor por sua aquisição e como modo de não incentivar a dispersão urbana. Visando ao cumprimento da função social da propriedade urbana, o PDE instituiu um “Coeficiente de Aproveitamento Mínimo”, abaixo do qual se consideraria que a propriedade se encontra em estado de subutilização, de modo que não cumpre a função social da propriedade, e assim é passível a aplicação de outros instrumentos (a exemplo do IPTU progressivo no tempo) a fim de que o imóvel seja devidamente utilizado. O Coeficiente Básico fixado possui dois valores distintos na cidade, sendo o valor 1 em algumas zonas e 2 naquelas onde o interesse imobiliário é maior. Existe a possibilidade de compra de outorga onerosa para aumentar o potencial construtivo do lote e também do emprego da fórmula de Adiron em algumas zonas, que aumenta o potencial construtivo mediante redução da taxa de ocupação.

O zoneamento (LPUOS de 2004), por sua vez, procurou conferir proteção do uso residencial de modo que todos os outros usos “não-residenciais” fossem classificados de acordo com o nível de incomodidade que estes representam para o residencial. A LPUOS de 2004 considerou ainda a capacidade de suporte das vias na organização das atividades no espaço urbano, de modo que todas as vias do município foram classificadas de acordo com quatro níveis hierárquicos: a) vias locais; b) vias coletoras; c) vias estruturais N3 (nível três) e d) vias estruturais N1 e N2 (níveis 1 e 2).

As principais zonas são as Zonas Exclusivamente Residenciais (ZER: ZER-1, ZER-2, ZER-3), as Zonas Predominantes Industriais (ZPI), as Zonas Mistas (ZM: ZM-1, ZM-2, ZM-3a e ZM-3b), as Zonas de Centralidade Polar (ZCP: ZCPa e ZCPb), as Zonas de Centralidade Linear lindeira ou interna (ZER-ZCLz: ZCLz-I e ZCLz-II), as Zonas de Transição Linear (ZER-ZTLz: ZER-ZTLz-I e ZER-ZTLz-II), as Zonas de Ocupação Especial (ZOE) e também as Zonas Especiais: Zonas Especiais de Preservação Ambiental (ZEPAM), Zonas Especiais de Preservação Cultural (ZEPEC), Zonas Especiais de Produção Agrícola e Extração Mineral (ZEPAG) e Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS).

Ao PDE e à lei do zoneamento, soma-se o Código de Obras e Edificações, COE (Lei nº 11.228/92), que apresenta outras e específicas condições às novas construções. O COE, em sua seção 10, define parâmetros para “Implantação, aeração e insolação das edificações”, sendo que, para altura superior a 9m junto à divisa, deve haver um afastamento mínimo de 3m; do mais, quando a edificação é composta por até 3 pavimentos (com ou sem pavimentos enterrados), o COE referencia a LPUOS vigente e espaços livres internos ao lote com área mínima de 5m² e largura mínima de 1,5m; e, para volumes superiores, exige uma faixa livre maior ou igual a 3m, que tem seu valor aumentado em função da altura da edificação. Este COE, vigente de 1992 a 2017 no município de São Paulo, é consideravelmente mais antigo que o PDE e a LPUOS vigentes no mesmo período; houve, entre 2015 e 2016 a tentativa de realização e promulgação de uma nova legislação para esse fim, porém, o processo foi suspenso até que, em maio de 2017, um novo Código de Obras e Edificações foi aprovado.

Em síntese, desde as primeiras ordenações urbanísticas houve progressos sucessivos. A legislação ainda deixa brechas, pois, se por um lado restringiu gabaritos e taxas de ocupação, por outro possibilitou a aquisição de outorga onerosa, ou mesmo a ampliação do Coeficiente de Aproveitamento através da redução da Taxa de Ocupação, utilizando-se da Fórmula de Adiron, o que viabiliza construções mais altas. O que se observa atualmente, fruto da produção recente do mercado imobiliário, são torres altas e isoladas, muitas vezes em condomínios com grande número delas. As Figura 28 e Figura 29 ilustram esse tipo de empreendimento, facilmente encontrado na Metrópole.

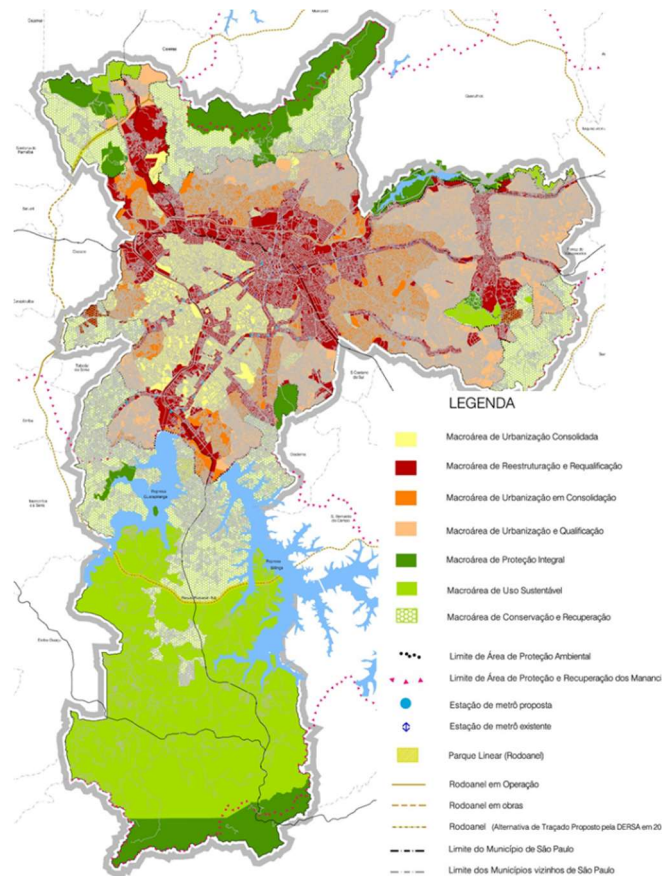


Figura 25. Mapa de Política de Desenvolvimento Urbano: Mapa 10 do Plano Diretor de 2002. (Legenda ampliada).

2.5 Leitura do mercado imobiliário residencial de São Paulo entre 2005 e 2014 e caracterização do padrão construído

A fim de caracterizar esse novo estoque imobiliário, buscou-se uma base de dados confiável e que reunisse o universo de lançamentos residenciais do período. Foi utilizado o banco de dados obtido junto à empresa de consultoria Geoimóvel⁶. Este banco de dados concentra as seguintes informações: empreendimento, edifício, zona de valor, endereço, bairro, distrito, região, cidade, UF, CEP, data de lançamento, data de entrega, tipologia (vertical ou horizontal), classificação do tipo (ex: econômico, médio, alto), torres (número de), grupo incorporador – apelido, unidade (ex: tipo, duplex, cobertura), dormitórios (número de), banheiros (número de), nº vagas, área privativa (m²), nº total de unidades. A partir do banco de

⁶ Nessa busca pela base de dados, procurou-se por consultorias imobiliárias especializadas em análises mercadológicas. Constatou-se, inicialmente, a divulgação de uma base de Lançamentos Imobiliários Residenciais na Região Metropolitana de São Paulo entre 1985-2013 que havia sido feita através de uma parceria entre o CEM (Centro de Estudos da Metrópole) e a EMBRAESP (Empresa Brasileira de Estudos do Patrimônio). Tal base, porém, mostrou-se insuficiente para a realização desta pesquisa, já que não abrangia dados referentes ao ano de 2014 e, portanto, não permitia a análise de todo o universo definido pelo recorte cronológico deste trabalho. Posteriormente, então, buscou-se a empresa de consultoria imobiliária Geoimóvel, que gentilmente cedeu sua base de dados, para fins exclusivos de pesquisa. A obtenção e trabalho de leitura desses dados foram realizados conjuntamente com o aluno de iniciação científica Augusto Longarine (LONGARINE, 2017a).

dados obtido foi, então, realizada uma leitura abrangente dos dados gerais a respeito do mercado imobiliário no período selecionado.

Nota-se que o mercado habitacional de lançamentos residenciais no período está fortemente concentrado na produção de unidades em condomínios verticais. A Figura 26 apresenta o número de empreendimentos lançados distribuídos por sua tipologia (vertical ou horizontal), onde se verifica que 74% dos empreendimentos lançados foram condomínios verticais. Quando se observa o número de unidades lançadas (Figura 27), distribuídas por esse mesmo critério, observa-se que apenas 4% delas foram da tipologia horizontal; a grande maioria, portanto, das unidades habitacionais produzidas no período estudado foi em condomínios verticais. A diferença entre o número de empreendimentos lançados e de unidades lançadas é explicada pelo maior número de unidades concentradas em lançamentos verticais e, muitas vezes, pelo grande número de torres existentes em um único empreendimento.

Constata-se uma predominância significativa de empreendimentos e, principalmente, unidades na tipologia vertical e sua relevância no contexto da cidade. Em São Paulo, notoriamente, há uma tendência e uma necessidade de adensamento populacional e construtivo e é sobre a tipologia de unidades em condomínios verticais que este trabalho se concentra. As Figura 28, Figura 29, Figura 30, Figura 31 e Figura 32 ilustram conjuntos de edifícios verticais.

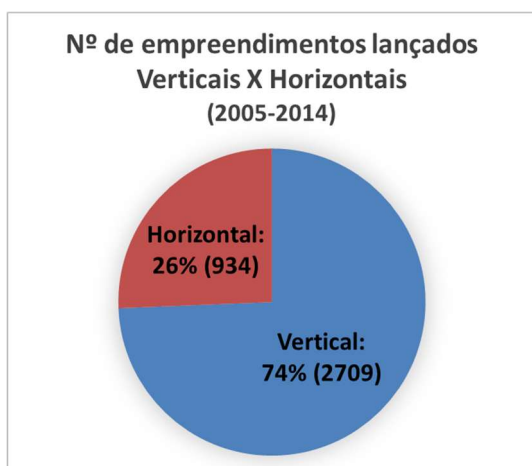


Figura 26. Número de empreendimentos habitacionais lançados, distribuídos por tipologia (vertical e horizontal).

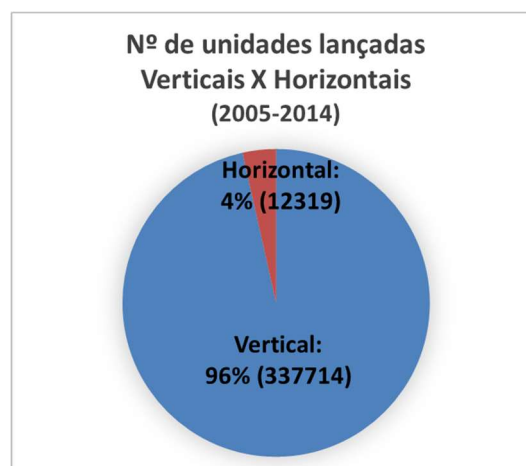


Figura 27. Número de unidades habitacionais lançadas, distribuídas por tipologia (vertical e horizontal)



Figura 28. Concentração de lançamentos verticais na cidade de São Paulo: empreendimento Jardim das Perdizes no Bairro da Barra Funda, zona oeste. Fonte: Acervo pessoal (fev/2016).



Figura 29. Edifícios novos no bairro Jaguaré. Fonte: Acervo pessoal (Fev/2016)

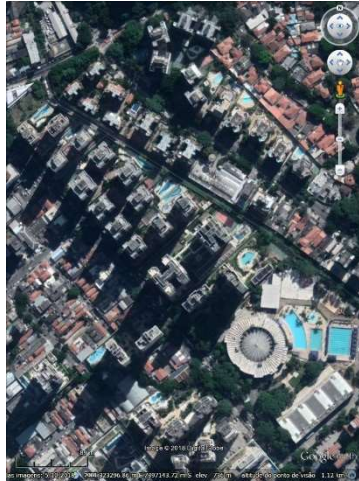


Figura 30. Concentração de lançamentos verticais na cidade de São Paulo: Vila Leopoldina, zona oeste. Fonte: GOOGLE Earth.



Figura 31. Concentração de lançamentos verticais na cidade de São Paulo: Jardim Anália Franco, zona leste. Fonte: GOOGLE Earth.

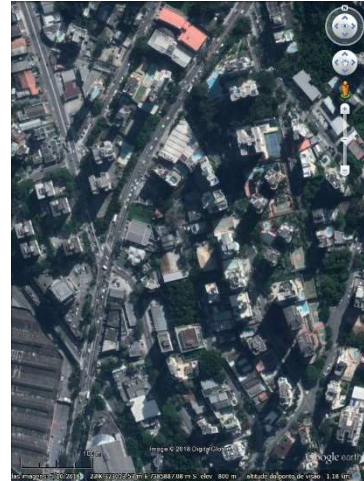


Figura 32. Concentração de lançamentos verticais na cidade de São Paulo: Vila Andrade, próximo ao Morumbi, zona sul. Fonte: GOOGLE Earth.

Quanto à localização, a cidade de São Paulo revela uma tendência à dispersão já desde a década de 1940 (São Paulo (Cidade), 2004), de modo que esses limites foram pouco a pouco se expandindo. Porém, o mercado imobiliário tende a procurar pelas melhores possibilidades em cada momento. Se em um período imediatamente anterior ao estudado nesse trabalho o mercado se concentrou em bairros mais valorizados e mais próximos às áreas centrais, no período do *boom* imobiliário observa-se que a construção de edifícios sofreu uma desconcentração, dispersando-se por toda a metrópole, o que é verificado em trabalhos desenvolvidos na FAU USP como em LIMA (2015), MEYER *et al.* (2013) e ALAS (2013). A movimentação do mercado imobiliário ocorreu tanto em direção ao anel intermediário do município de São Paulo, quanto para as áreas mais periféricas e também para outros municípios da Região Metropolitana. Essa movimentação passa a colocar não só as regiões centrais, mas principalmente os bairros adjacentes e até os mais afastados, no foco do mercado imobiliário. Em grande parte, esse fenômeno foi direcionado pelos instrumentos urbanos legais vigentes no período, principalmente Plano diretor de 2002 e Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo de 2004, que direcionaram o crescimento da cidade não só para a região central, mas também para outras regiões, principalmente as intermediárias da cidade. Encontram-se, portanto, empreendimentos distribuídos por todas as regiões da cidade; porém, essa distribuição não é uniforme: a região Sul foi a que mais recebeu novas unidades habitacionais no período estudado, representando 39% do total, seguida pela região Leste, com 25%. Por outro lado, a região central, a mais saturada e, conforme visto acima, influenciada pela legislação urbana vigente que incentivou a ocupação de outras áreas da cidade, é a que concentrou o menor número de novas unidades, 8% do total; as regiões norte e oeste receberam, cada uma, 14% do total de unidades lançadas no período (Figura 33).

Com relação ao número de dormitórios (Figura 34), verifica-se um predomínio de unidades lançadas com dois dormitórios, sendo que eles representam aproximadamente 41% do total. Os apartamentos de três dormitórios, 30%, e de quatro, 17%, enquanto os apartamentos com 5 ou 6 dormitórios (esses foram os maiores números de dormitórios por apartamento verificados) têm uma participação bem pequena no total. Por fim destaca-se que, ainda que não estejam entre os maiores números de apartamentos lançados, os apartamentos

de apenas um dormitório representam percentual expressivo no total (12%) e, principalmente, há uma tendência de aumento de sua participação no total de lançamentos.

De acordo com a Lima (2015), por volta do ano 2007, há um grande equilíbrio entre o número de unidades lançadas de 2, 3 e 4 ou mais dormitórios e um número muito pequeno de apartamentos de 1 dormitório. Esta constatação se relaciona à expansão do crédito neste período que, em um primeiro momento, incentivou os empreendedores a produzirem mais unidades voltadas para o público de alta renda, com áreas maiores e mais dormitórios. Por outro lado, os anos subsequentes são marcados pelo aumento expressivo da participação dos apartamentos de 2 dormitórios, com redução, especialmente, das unidades com 4 ou mais dormitórios e aumento gradual daquelas com apenas 1 dormitório, revelando um ajuste do mercado imobiliário ao mercado consumidor deste período, privilegiando os imóveis de áreas menores e valores totais de venda mais baixos, parcialmente voltados para classes de renda média e baixa. Porém, segundo Lima (2015, p.107) “o que não representou necessariamente uma redução de receitas para as incorporadoras, uma vez que o valor desses imóveis por m² tiveram aumento acima da média das demais tipologias e se tornaram os mais altos no final do período estudado” (Observação: o período de estudo deste trabalho referenciado, em particular, vai de 2005 a 2011).

Pode-se, ainda, verificar a distribuição do número de apartamentos com seus diferentes números de dormitórios, segundo sua distribuição por região (Figura 35). Observa-se que as regiões que mais concentram lançamentos com apartamentos de 1 dormitório são a Central e a Sul, o que indica maior presença de um perfil de habitante que mora sozinho ou em casal e que, provavelmente, procura morar perto do seu trabalho ou próximo a facilidades de deslocamento e oferta de serviços, já que essas regiões concentram grande parte das oportunidades de trabalho da capital, além de serem bem servidas pela infraestrutura urbana. A região central possui a peculiaridade de ser a única a apresentar a maior parte das unidades levantadas com apenas 1 dormitório.

A região Norte, por sua vez, é a que apresenta menor número de unidades com apenas 1 dormitório, o que denota um perfil mais familiar dos moradores da região. As regiões Central e Norte são as únicas em que não se verificaram unidades com mais de 4 dormitórios, o que parece indicar, no primeiro caso, tanto uma limitação quanto ao tamanho dos lotes possíveis como o perfil dos moradores, que parece não incluir famílias de mais alta renda; e no segundo caso (em que já se indicou acima um perfil mais familiar dos moradores), parece não incluir famílias de mais alta renda.

A região Sul, que concentra o maior número de unidades lançadas, é também a que concentra a maior quantidade de lançamentos de todas as variações de número de dormitórios, o que parece refletir a diversidade urbana da região, que alcança desde a rica região da nova centralidade de serviços da capital paulista que vai desde a região da Av. Faria Lima até o bairro do Morumbi, mas também áreas periféricas marcadas por população de baixa renda e, inclusive, forte presença de habitações informais.

Na região Leste é claro o predomínio de unidades com 2 dormitórios, sendo mais da metade do total de unidades lançadas nesta região com essa característica, ainda que apresente unidades de todos os tipos (por número de dormitórios), o que parece refletir o caráter historicamente periférico da região, especialmente as localidades mais afastadas do Centro, assim como as transformações recentes em alguns locais, como a concentração de população com maior renda, especialmente na região do Tatuapé e do Jardim Anália Franco.

A região Oeste apresenta a distribuição mais equilibrada entre todas elas quanto aos lançamentos por número de dormitórios, sendo uma região com valorização recente bastante intensa, que engloba parte do valorizado e fervilhante sudoeste da capital e que atrai diferentes perfis de moradores.

Para a visualização da distribuição das unidades por faixas de área útil, foram criadas seis faixas: até 45m², de 46 a 75 m², de 76 a 120 m², de 121 a 300 m², de 301 a 700 m² e maiores de 700 m² (Figura 36). A menor unidade na amostra tem área de 18m², 1 dormitório e localiza-se na região central, enquanto a maior delas, 2.400 m², 6 dormitórios, na região Sul da cidade. As unidades com área entre 46 e 75 m² são encontradas em maior número, correspondendo a 47% do total. As maiores unidades, das duas últimas faixas, que consideram unidades a partir de 300m², são mais raras que as demais.

Visualizando as unidades distribuídas por região e por área (Figura 37), nota-se em todas as regiões o predomínio da faixa entre 46 e 75 m². Proporcionalmente a região central é a que possui mais unidades menores (até 45 m²), enquanto a região Oeste é a que possui menos unidades nessa primeira faixa de área. Por outro lado, a região Sul é a que possui maior número de unidades grandes e as regiões Leste e Norte o menor número de unidades na maior faixa (apartamentos maiores que 700m²), tendo sido encontradas respectivamente 1 e 2.

Dos dados de mercado imobiliário estudados relativos ao estoque de unidades residenciais lançadas no período de 2005 a 2014, depreende-se que algumas características se destacam, a exemplo da dispersão pela malha urbana, predomínio de unidades menores, voltadas muitas vezes à média e baixa renda, porém, com coexistência (ainda que em empreendimentos separados) dos mais variados padrões e crescimento do número de unidades de apenas um dormitório.

Os dados encontrados a respeito do mercado imobiliário não incluem informações sobre características construtivas ou aberturas e orientação geográfica, que são valiosos para as pesquisas na área de conforto ambiental. Por isso, pesquisas dessa natureza não podem se resumir a dados ordinários do mercado imobiliário e, por demandar dados mais específicos e não tão facilmente encontrados, muitas vezes é necessário trabalhar com amostras reduzidas de unidades. Um bom exemplo de trabalho que procurou reunir informações mais específicas desse universo foi desenvolvido no Laboratório de Eficiência Energética da Universidade Federal de Santa Catarina (LabEEE - UFSC) intitulado “Levantamento das características de edifícios residenciais brasileiros” (TEIXEIRA *et al.*, 2015). Este estudo levantou uma série de plantas de unidades habitacionais recentes em diversas cidades e estados brasileiros, incluindo a cidade de São Paulo, e elaborou um banco de dados, a fim de caracterizar a produção do mercado imobiliário residencial nacional. O estudo se baseou em um levantamento de plantas e memoriais descritivos disponíveis em sites de vendas de construtoras e/ou incorporadoras. Algumas das características comuns à distribuição interna dos ambientes do estoque estudado encontradas foram: área de estar junto à cozinha (integradas ou não); acesso para a maioria dos dormitórios feito a partir de um corredor conectado com a área de estar; porta de entrada ligada à área de estar. Como foram utilizadas informações de divulgação dos empreendimentos, várias características importantes para estudos de conforto ambiental ainda ficam pendentes, a exemplo da materialidade das construções e das características das aberturas.

Unidades em empreendimentos verticais:
por região

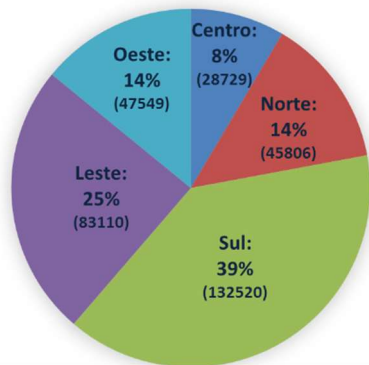


Figura 33. Número de novas unidades lançadas no período distribuídas por região da cidade de São Paulo.

Unidades em empreendimentos verticais:
por nº de dormitórios

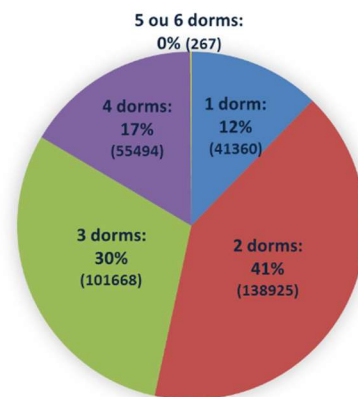


Figura 34. Total de unidades em empreendimentos lançados distribuídas pelo número de dormitórios em cada uma delas.

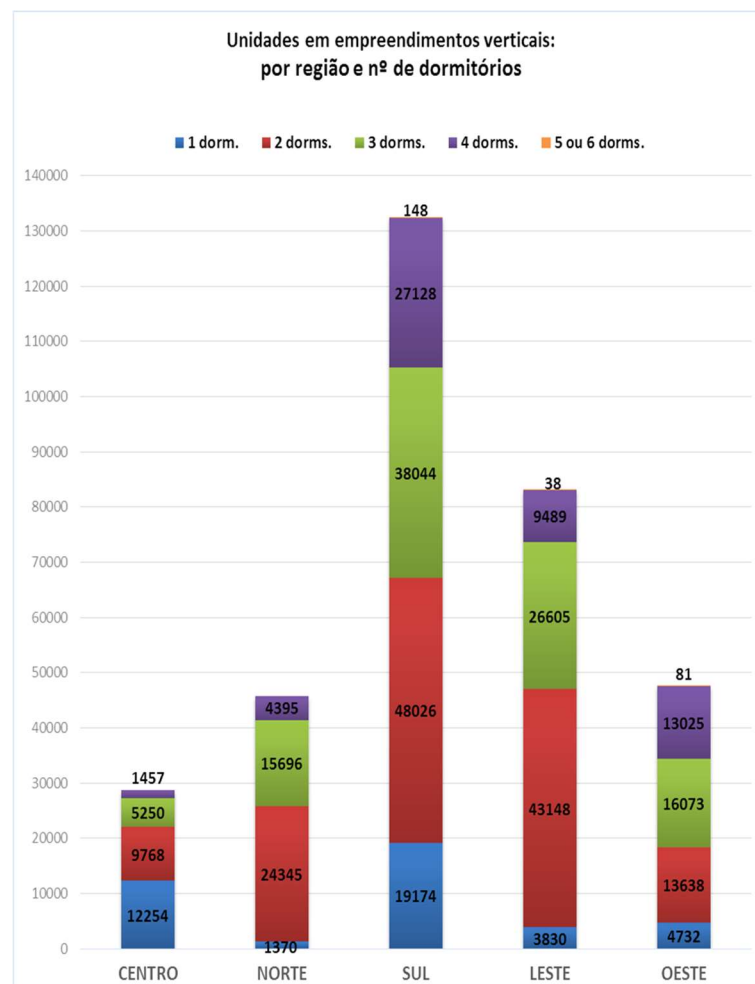


Figura 35. Unidades lançadas distribuídas por região e por número de dormitórios em cada uma delas.

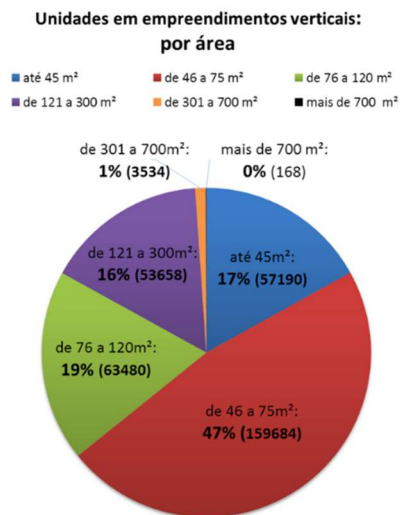


Figura 36. Total de unidades em empreendimentos lançados distribuídas por suas áreas.

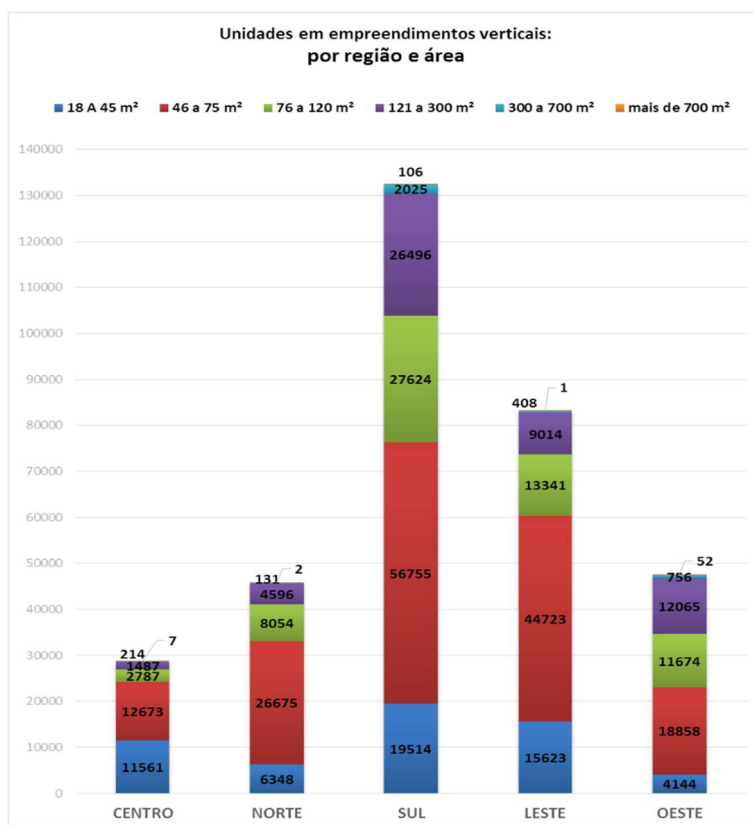


Figura 37. Unidades lançadas distribuídas por região e por suas áreas.

Um estudo de iniciação científica foi desenvolvido no Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética (LABAUT) da FAU / USP pelo estudante Augusto Longarine, em parceria com este trabalho de doutorado, e procurou caracterizar o universo de lançamentos de unidades residenciais multifamiliares verticais no período de 2005 a 2014 a partir de um olhar mais aprofundado sobre 15 unidades representativas selecionadas com base na proporcionalidade das unidades por número de dormitórios e regiões da cidade, reveladas pelos dados de mercado imobiliário do período (LONGARINE, 2017a ; LONGARINE, 2017b). Diante dos dados levantados, destaca-se a semelhança entre as unidades, principalmente aquelas com o mesmo número de dormitórios e, em especial, nas tipologias mais econômicas. Dentre as principais características estão:

- Repartição da unidade residencial em 3 núcleos:
 - social (sala de estar e jantar);
 - serviços (cozinha e lavanderia); e
 - íntima (dormitórios e banheiros);
- Entrada (única na grande maioria dos empreendimentos) localizada no núcleo social da unidade;
- Salas de estar e jantar reunidas em um único cômodo cuja ventilação e iluminação são provenientes da abertura para o terraço (o tamanho varia de acordo com a área e o valor da unidade);
- O núcleo de serviços tende a ser organizado em formato corredor, com os principais eletrodomésticos (fogão, geladeira e máquina de lavar) e de armazenamento (armários) dispostos ao longo do comprimento total da parede;
- A circulação dos espaços de serviço geralmente é de dimensões mínimas, suficiente para o trânsito de uma pessoa.
- A iluminação e a ventilação da cozinha se dão através de abertura da área de serviço, podendo haver ou não compartimentação entre os espaços.
- O acesso ao núcleo íntimo acontece por um corredor, cujo tamanho varia de acordo com a geometria da unidade.
- Os dormitórios e banheiros possuem aberturas próprias, padronizadas.
- No caso dos banheiros, é frequente abertura voltada para a área de serviço.

Segundo Longarine:

“A possibilidade de descrever grande parte das unidades lançadas pela incorporação paulistana de forma única é sinal evidente da padronização que toma conta do mercado. Tal processo pode ser identificado, além da organização interna das plantas, no dimensionamento dos cômodos e no número e características das aberturas e caixilhos.” (LONGARINE, 2017, p.91)

É possível ainda observar que os ambientes apresentam dimensões reduzidas e é recorrente a opção de ampliação da sala de estar através da supressão de um dos dormitórios para integração da área de ambos os espaços.

Da materialidade das vedações, observa-se amplo predomínio de alvenaria de concreto (estrutural ou não), como nas Figura 38 e Figura 39. As vedações internas também são predominantemente constituídas de alvenaria de bloco de concreto, porém, com menores espessuras; verifica-se, também, presença de divisórias de *drywall* utilizando gesso acartonado.

Destaca-se ainda uma característica relevante e comumente encontrada no estoque edificado recente: as varandas com fechamentos envidraçados. Ocorrem, especialmente, nos apartamentos maiores e de padrão um pouco mais elevado, sistematicamente incorporadas ao estar, muitas vezes com o piso já nivelado, de certa forma já prevendo ou mesmo incentivando o fechamento delas. Esses espaços ganharam importância, em muito, devido à possibilidade de não serem contabilizados como área construída para fins de cálculo de coeficiente de aproveitamento em um empreendimento, o que amplia as possibilidades de construção, sem acréscimo de cobrança de IPTU por esses espaços. Deste modo ganharam dimensões mais generosas, espaço de destaque nas unidades habitacionais (várias vezes adjetivadas ganhando o status de varandas ou terraços *gourmet*). Em especial, destaca-se o frequente fechamento envidraçado incorporando esse espaço ao dos ambientes internos, assim como todos os demais

cômodos dos apartamentos. No mais, ocorre reiteradamente que alguns cômodos (estar, dormitório, escritório, entre outros) tenham sua abertura voltada para essa varanda com fechamento envidraçado, de modo que ficam com sua ventilação bastante prejudicada (Figura 40). Os impactos desse elemento no conforto térmico de unidades, assim como uma leitura de seu histórico e características são abordados no trabalho de Liao (2015).



Figura 38. Exemplo de edifício em construção no bairro de Pinheiros na cidade de São Paulo (dez/2016): vedação externa em bloco de concreto. Fonte: acervo pessoal.



Figura 39. Exemplo de edifício em construção no bairro Vila Madalena na cidade de São Paulo (dez/2016): vedação externa em bloco de concreto. Fonte: acervo pessoal.



Figura 40. Exemplo de apartamento com a varanda envidraçada e totalmente integrada ao estar (a porta entre os ambientes foi removida). Fonte: cedido por Ana Elisa Presoto.

Para melhor compreensão e contextualização do estoque recentemente edificado e seu desempenho ambiental, foram levantadas 4 unidades residenciais construídas no período de recorte selecionado (2005 a 2014). Todas possuem varandas, 2 delas de menores dimensões, sem fechamento envidraçado e as outras 2 com fechamento envidraçado operável. Destas foram levantadas não só as características físicas, como de uso e ocupação, através de entrevista com os moradores, e as variáveis de conforto ambiental, através de medições realizadas no estar de cada uma delas. As unidades possuem características próprias de orientação, distribuição e dimensão dos ambientes, posicionamento em altura e ocupação interna, entre outras. A observação das medições realizadas no estar de cada uma delas mostrou que as temperaturas mais altas (temperatura do ar, temperatura radiante média e, conseqüentemente, temperatura operativa também) ocorreram em um dos apartamentos com a varanda envidraçada; este tem orientação norte e, segundo declaração dos moradores, é ocupado por até 6 pessoas e a

operação das aberturas da varanda ocorre esporadicamente. As temperaturas mais baixas, por sua vez, ocorreram na unidade de orientação leste, ocupada por 3 pessoas, onde os moradores declararam que a operação das aberturas da varanda é constante e também nesta unidade foram registradas velocidades do ar mais altas. As observações, portanto, ressaltam o potencial das possibilidades de operação das aberturas da varanda e do estar para incremento da ventilação e consequente remoção de carga térmica. A descrição deste trabalho na íntegra encontra-se no Apêndice - A.

Além disso, uma marca relevante do mercado imobiliário recente é a forte presença de condomínios com mais de uma torre vertical, configuração que já foi matéria de alguns estudos na FAU / USP, a exemplo de Alas (2013), sob a denominação “supercondomínios” e Meyer *et al.* (2012), sob a denominação “condomínios-clubes”. Para fins de exemplificação, dentre os 4 apartamentos estudados (Apêndice – A), apenas 1 não está em condomínio de múltiplas torres. Outra característica bastante presente no mercado imobiliário recente é a presença de áreas de lazer coletivas, que se tornam fortes elementos da divulgação e venda dos imóveis, e essa característica não é exclusividade de empreendimentos de alto padrão (ALAS, 2013).

2.6 Outras perspectivas

Ainda que marcado por uma monotonia arquitetônica, com pouca discussão qualitativa e grande apelo quantitativo, o mercado imobiliário também revela casos de destaque. São exemplos emergentes que já se espalham pela cidade de São Paulo, em geral, fruto da iniciativa de algumas incorporadoras específicas, com empreendimentos para um público de alto poder aquisitivo. São exemplos de incorporadoras que atuam nesta linha, a IdealZarvos, a Huma Desenvolvimento Imobiliário e a Mobly Incorporadora. A incorporadora IdealZarvos, pelo conjunto de seus lançamentos pode ser considerada a mais representativa deste tipo de arquitetura de exceção; ela tem lançado empreendimentos, tanto comerciais quanto residenciais, cuja estética se diferencia claramente da produção maciça encontrada na cidade.

Nota-se como pontos comuns entre os empreendimentos das incorporadoras citadas, a busca por arquitetos reconhecidos do mercado, utilizando-se de uma gama de diversos projetistas para seu conjunto de empreendimentos. Destaca-se a utilização de elementos sombreadores, representados por superfícies permeáveis e operáveis pelos usuários, gerando fachadas dinâmicas, e este é o elemento estético que mais identifica esse grupo de empreendimentos. Alguns casos buscam uma maior interação com a cidade, com pequenos espaços públicos ou também inclusão de sistemas mais sustentáveis ambientalmente, visando água e energia. Todos os exemplos levantados localizam-se entre as regiões oeste e sul da capital paulista, em áreas de alto padrão. As Figura 41 e Figura 42 representam empreendimentos da incorporadora IdealZarvos; a Figura 43 empreendimentos da Huma Desenvolvimento Imobiliário e a Figura 44 da Mobly Incorporadora.

A proposta dessas incorporadoras parece ser oferecer alternativas viáveis e de qualidade arquitetônica superior ao que vem sendo construído pelo mercado. Embora o desempenho térmico desses edifícios ainda não seja conhecido, revelam uma preocupação com a ventilação e iluminação naturais e, dadas as estratégias adotadas e tendo em vista que não se identificam estratégias para essa finalidade na produção imobiliária ordinária, pode ser que se

consiga um desempenho mais favorável para o conforto humano⁷. A depender da operação que será feita pelos usuários, esse conjunto de empreendimentos aponta para o oferecimento de maiores possibilidades de adaptação para as condições de conforto do ambiente pelos usuários através da operação das aberturas e dos elementos sombreadores, o que favorece a satisfação do usuário com o ambiente.

Baker (2009) lista uma série de fatores que podem influenciar positiva ou negativamente as possibilidades adaptativas dos usuários e que, deste modo, impactam em sua percepção de conforto e em sua satisfação com o ambiente. São atributos adaptativos positivos, por exemplo: flexibilização do padrão de vestimenta, opção de mobilidade para os ocupantes, acesso a bebidas quentes ou frias, janelas e sombreadores operáveis, ventiladores localizados e operáveis, controles localizados para sistemas de aquecimento ou resfriamento, flexibilidade do mobiliário, planta estreita, ambientes reduzidos, iluminação natural, vistas externas interessantes, espaços de transição (varandas e átrios) e acesso facilitado para as áreas externas. Por outro lado, há fatores que podem influenciar negativamente o conforto humano, como: uniformidade do ambiente físico, plantas profundas com acesso reduzido às janelas externas, ocupação densa com opções restritas, janelas seladas, obstrução da vista por elementos sombreadores fixos e controle centralizado dos sistemas. A adoção de uma série de estratégias adaptativas positivas, como as listadas acima, podem ampliar a tolerância às temperaturas normalmente aceitas (BAKER, STANDEVEN, 1994), o que favorece a adoção de soluções passivas de condicionamento em detrimento da ampla utilização de sistemas de ar-condicionado, o que, por sua vez, acarretará em consequências que podem refletir, por exemplo, em custos e em emissões de gases poluidores. A adoção de elementos sombreadores tem o potencial de favorecer tanto edifícios naturalmente ventilados quanto aqueles que operam com sistema de ar-condicionado (BAKER, 2009).

Colocado o contexto arquitetônico atual somado aos graves problemas ambientais enfrentados pelo planeta, Bittencourt destaca que *“uma cultura arquitetônica que considere relevantes as condicionantes ambientais parece urgente e atual”* (BITTENCOURT, 2015, p. 37); o autor fala ainda da importância de se incluir o discurso ético em plano de equilíbrio e igualdade de importância com o discurso estético no ato projetual.

Será, então, interessante observar no futuro se essa arquitetura, atualmente de exceção, tornar-se-á uma tendência, assim como foi no movimento modernista, em que várias e relevantes iniciativas surgiram e tornaram a produção arquitetônica mais interessante, tanto no aspecto estético quanto no funcional. Outro ponto importante é saber se outras possibilidades adaptativas relacionadas ao projeto do edifício serão incorporadas ou se vão se manter como iniciativas isoladas, como foi o caso da obra do arquiteto Lelé. O fato é que essa arquitetura diferenciada possui alto valor de mercado e não está acessível a grande parte da população.

⁷ É importante que trabalhos futuros se dediquem a compreender as características e avaliar o desempenho desse conjunto de edifícios. Neste trabalho a construtora Idea Zarvos! foi contatada a fim de possibilitar a realização de medições de variáveis relacionadas ao conforto térmico no interior dos seus edifícios. Infelizmente a realização das medições não se viabilizou.



Figura 41. Edifícios da Incorporadora Idea!Zarvos. Da esquerda para a direita: Simpatia 236, Itacolomi 445, Fidalga 772. Fonte: Página eletrônica da Idea!Zarvos⁸.

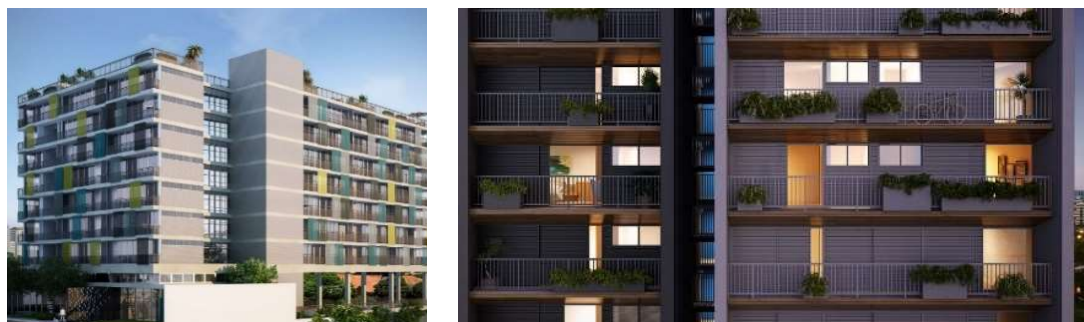


Figura 42. Edifícios da Incorporadora Idea!Zarvos. Da esquerda para a direita: Pop Madalena e Azul. Fonte: Página eletrônica da Idea!Zarvos⁹.



Figura 43. Edifícios da Incorporadora Huma. Da esquerda para a direita: Huma Klabin e Huma Itaim. Fonte: Página eletrônica da Huma Incorporadora¹⁰



Figura 44. Edifícios da Mobly Incorporadora. Da esquerda para a direita: Cotoxó 926, Mourato, 473 e Amoreira. Fonte: Página eletrônica da Mobly Incorporadora¹¹.

⁸ Página eletrônica da Incorporadora Idea!Zarvos. Disponível em: <http://ideazarvos.com.br/pt/empreendimento/>. Acesso em: 20 jan. 2017.

⁹ Página eletrônica da Incorporadora Idea!Zarvos. Disponível em: <http://ideazarvos.com.br/pt/empreendimento/>. Acesso em: 20 jan. 2017.

¹⁰ Página eletrônica da Incorporadora Huma Desenvolvimento Imobiliário. Disponível em: <http://www.huma.net.br/>. Acesso em: 20 jan. 2017

¹¹ Página eletrônica da Incorporadora Mobly. Disponível em: <http://www.moblyinc.com.br>. Acesso em: 20 jan. 2017.

3 A arquitetura, o desempenho térmico dos edifícios e o contexto climático

Os ambientes construídos estão, atualmente, expostos a um clima diferente daquele ao qual historicamente estiveram submetidos em determinada localidade. O desempenho térmico e energético dos edifícios depende do clima e novas condições climáticas impõem novos impactos aos edifícios e cidades, assim como aos seus usuários, tanto pelo aumento das temperaturas médias, quanto pela redução das amplitudes diárias, quanto pela maior frequência de eventos extremos. As temperaturas mais altas afetam o desempenho térmico do edifício, seu consumo de energia e o conforto humano em ambientes internos e externos.

Há muitas incertezas relacionadas a dados climáticos para simulações computacionais e, para melhor prever o desempenho térmico do edifício, é desejável reduzi-las e adotar as condições meteorológicas o mais semelhante possível às condições reais, incluindo a incorporação do efeito do aquecimento global e da ilha de calor urbana (BARNABY; CRAWLEY, 2011).

3.1 Os efeitos de aquecimento, suas diferentes escalas e consequências

O planeta todo está sendo afetado pelas mudanças climáticas globais, marcadas pelo aumento das médias de temperaturas do planeta, além do aumento de eventos climáticos extremos. Ao mesmo tempo, os ambientes urbanos provocam mudanças de uso e ocupação do solo que resultam em alterações do clima local, a chamada ilha de calor urbana.

3.1.1 O aquecimento global

Trata-se de um fenômeno de alteração nos padrões climáticos mundiais, com verificação do aumento das temperaturas médias globais, assim como aumento de eventos climáticos extremos. Ainda que exista certo grau de incerteza quanto às projeções das alterações, grande parte dos pesquisadores aceita sua relação com o aumento de emissões de gases de efeito estufa (HASSOL, 2016; WMO, 2016), resultado do modelo humano de ocupação do planeta, especialmente a partir do século XVII, com a revolução industrial e suas consequências, e que evoluiu até os dias atuais. O resultado é o aumento médio das temperaturas da superfície terrestre em aproximadamente 1,0°C e que deve chegar a 1,5°C entre os anos 2010 e 2052 se continuar a aumentar nos padrões atuais, com diversas consequências para o planeta e a vida humana (IPCC, 2018b).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), corpo internacional que compila estudos provenientes do mundo todo sobre mudanças climáticas, indica, em seus 5 relatórios de avaliação (Assessment Reports – AR) já lançados (IPCC, 2014a; 2007; 2001; 1995; 1990) tanto a intensificação quanto o aumento da certeza sobre o papel das ações humanas para o fenômeno.

A tendência de aumento das temperaturas médias tem sido mantida e reforçada. São progressivos os incrementos recordes de temperaturas registradas. Segundo os órgãos estadunidenses *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e a *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), as temperaturas de superfície terrestres registradas no ano 2016 foram as mais quentes verificadas desde que se iniciaram os registros nos moldes atuais (em 1880) e 2017 foi o segundo ano mais quente. As temperaturas observadas em 2016 foram 0,99°C acima da média do século XX e, além deste, os anos de 2015 e 2014 são o terceiro e o quarto mais quentes já verificados (NASA, 2017; NASA, 2018). (Figura 45)

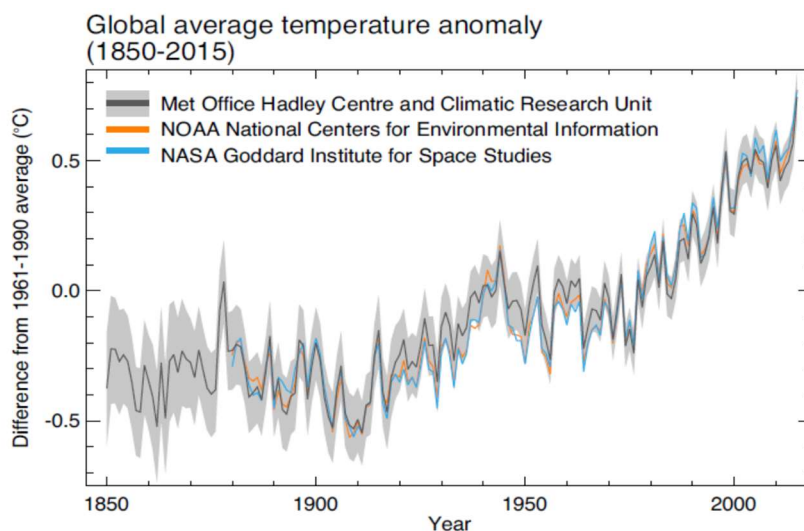


Figura 45. Anomalia de temperatura média global. Fonte: WMO (2016 p. 25).

De acordo com o boletim 65 da WMO, “*rising temperatures tells only part of the story. Climate change is disrupting some weather patterns...*”, pois as mudanças no clima, além de provocarem o aumento médio das temperaturas, estariam mudando os padrões climáticos até então conhecidos e também a frequência e a intensidade de eventos extremos como ondas de calor, enchentes e chuvas torrenciais que estão se intensificando (WMO, 2016). Trata-se não apenas de previsões climáticas futuras, mas de acontecimentos presentes e em curso, com previsão de intensificação no futuro.

Os registros de alterações climáticas são acompanhados das constatações de aumento progressivo das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera terrestre, do contínuo derretimento de gelo no planeta (WMO, 2016) e, ainda, reforçados pelo último relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), o AR5 (*Fifth Assessment Report*), cujas constatações ainda aumentam o grau de certeza da influência humana na mudança climática em curso e agravam as previsões de aquecimento (IPCC, 2014a; 2014b; 2014c; 2013).

Uma das principais fontes de emissão de gases de efeito estufa no mundo é a geração de energia para as mais diversas funções. No cenário global, grande parte da geração de energia elétrica é feita a partir de matrizes fósseis, cuja queima libera gases de efeito estufa. Segundo o relatório anual da *International Energy Agency* (IEA, 2013) o objetivo climático de limitar o aumento da temperatura a 2°C está se tornando cada vez mais difícil e oneroso à medida em que os anos passam, pois aproximadamente 80% das emissões de CO₂ admissíveis em 2035 já estão irremediavelmente determinadas pelas emissões das centrais elétricas, das fábricas, dos edifícios existentes, entre outros. O meio para adiar este cenário é a implementação rápida de tecnologias de maior eficiência energética, conferindo um prazo adicional para se atingir o tão

necessário acordo mundial de redução das emissões de gases de efeito estufa, o Acordo de Paris. A última Conferência das Partes, a COP 24, que aconteceu em dezembro de 2018 (ocasião na qual foi apresentado o relatório SR1.5 do IPCC) focou-se justamente no cumprimento do acordo pelos países signatários. O resultado da reunião, porém, foi considerado pouco efetivo para as pretensões de redução de emissões demandadas.

O Brasil ocupa uma posição diferenciada no contexto energético mundial por possuir uma base hidráulica historicamente forte, além de um crescimento das bases de biomassa e eólica para a produção energética, de modo que, atualmente, 75,5% da energia elétrica brasileira é baseada em fontes renováveis (BRASIL, 2016) (Figura 46). Ainda que a matriz hidráulica envolva questões ambientais e sociais polêmicas e sua emissão de gases de efeito estufa não seja, ainda, completamente conhecida pela ciência (VIANNA *et al.*, 2009), pode-se afirmar que suas emissões são bastante reduzidas se comparadas a outras fontes energéticas. Além disso, sabe-se que a participação das termelétricas no total da produção nacional cresceu nos últimos anos (IEA, 2014): entre os anos de 2002 e 2016 nota-se uma linha de tendência claramente ascendente (ainda que o ano de 2016 tenha apresentado uma redução com relação aos 3 anos imediatamente anteriores), sendo que em 2016 a produção térmica de energia foi mais de 4 vezes maior do que em 2002, como pode ser observado na Figura 46. Em um passado recente, segundo o Balanço Energético Nacional 2016, entre os anos de 2014 e 2015, a redução da oferta hídrica deste período foi compensada e até superada pelo aumento da participação das demais matrizes renováveis (BRASIL, 2016), tendência que não se sabe se será consolidada com o passar dos anos. Soma-se a isso o fato de que o Brasil esteja passando por um período de transição com aumento de seu consumo energético, incluindo o acesso universal à eletricidade; ainda assim, o país continua a apresentar uma das menores intensidades de carbono no mundo.

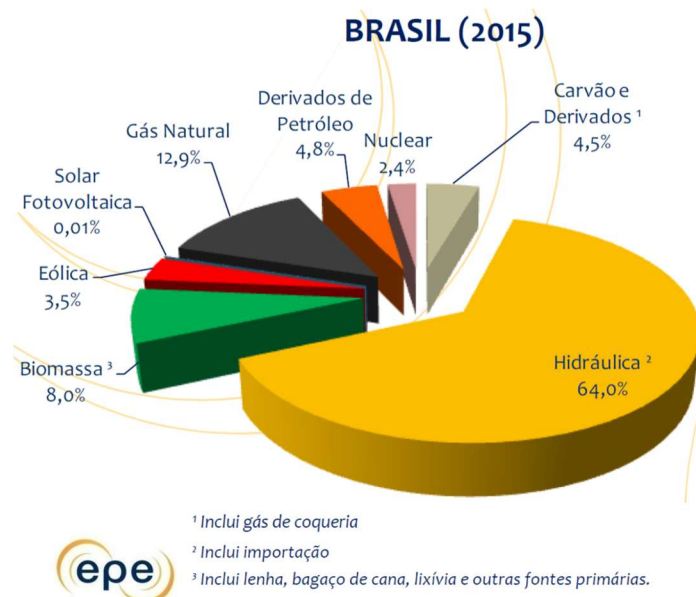


Figura 46. Matriz elétrica brasileira do ano de 2015 (BRASIL, 2016b, p.34).

No ano de 2009 o Brasil constituiu o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) com o objetivo de realizar a compilação de estudos nacionais sobre o assunto, relacionados ao país. De acordo com o painel, o clima do Brasil ficará mais quente nas próximas décadas com aumento gradual das temperaturas médias em todas as suas regiões entre 1°C e 6°C até 2100 em comparação com os dados registrados no final do século XX (PBMC 2013a, 2013b, 2013c).

Há uma série de estudos que apontam para um padrão de aquecimento, com redução do número de dias frios e aumento do número de dias quentes, tanto na escala global (IPCC, 2014a,) quanto na escala regional, incluindo a América do Sul (SÁNCHEZ *et al.*, 2015) mas também estudos mais específicos na escala regional da cidade de São Paulo (BATISTA *et al.*, 2016; NOBRE *et al.*, 2010; MARENGO, 2006).

O IPCC AR5 destaca a relevância dos centros urbanos dentro deste contexto de mudanças climáticas, por serem estes os locais onde as pessoas mais se concentram atualmente e, por isso também, o local onde estão as maiores vulnerabilidades. Lê-se em seu relatório: *“With so many people living in and moving to cities, urban areas are increasingly important in understanding the climate change issue”* (IPCC, 2014c p. X). Para o próximo relatório do IPCC, o AR6, está prevista atenção especial para o tema das cidades e no ciclo seguinte, do AR7, um relatório especial voltado ao tema de mudanças climáticas e cidades (IPCC, 2017); indo nesta direção o IPCC realizou em março de 2018 o evento *“Cities and Climate Change Science”*. A aceleração da urbanização global em conjunto com o crescimento da população, do consumo de energia e a produção industrial e tecnológica são os principais catalisadores da mudança climática global (OKE *et al.*, 2017).

3.1.2 O aquecimento urbano

Sob o ponto de vista do aquecimento, para além do efeito global, há ainda o aquecimento local, ocasionado pelas aglomerações urbanas e suas diferentes configurações.

A ilha de calor urbana (ICU) caracteriza-se por temperaturas do ar no meio urbano maiores do que as das áreas rurais adjacentes, fenômeno que, segundo Oke (OKE *et al.*, 2017) é mais intenso no período noturno, pela acumulação de calor no meio urbano. Nas cidades este calor demora mais para ser liberado no período mais frio do ciclo de um dia, ou seja, durante a noite, e o fenômeno também se intensifica sob condição de céu claro e baixa velocidade do ar. Além dos estudos de Oke, outros que vão na mesma direção foram desenvolvidos para diferentes cidades ao redor do mundo (ROTH, 2007; HICKS *et al.*, 2010; LEE, BAIK, 2010; ZHOU, SHEPHERD, 2010; HOUET, PIGEON, 2011; QUAN *et al.*, 2014).

Tanto a redução do albedo quanto da disponibilidade de umidade para resfriamento evaporativo (fluxo de calor latente) nas áreas urbanizadas promovem retorno de maior quantidade de energia solar à atmosfera na forma de radiação de ondas longas, o que proporciona aumento de temperatura mesmo sem o aumento de concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa. Oke descreveu as bases científicas do fenômeno e enumera os principais fatores que interferem nesse balanço, resultando na ilha de calor:

“In summary, the UCL (urban canopy layer) consists of a wide range of energy balance systems. Moisture availability is one of the key variables controlling local partitioning of daytime radiant energy. The range even includes the possibility that some surfaces may show no evaporation at a time when others are losing water at a rate in excess of potential. Site geometry is another crucial parameter because of its importance in determining the receipt and loss of radiation. A third must be the thermal properties of the surface and building materials [...]. Locally anthropogenic heat may also become important.”(OKE, 1982. p.12)

Portanto, os principais fenômenos que tornam as cidades mais quentes são: a redução das oportunidades de resfriamento evaporativo devido à menor retenção de umidade pela redução da vegetação e pela grande utilização de materiais impermeáveis e que não retêm água; a baixa refletividade das superfícies, que ocorre principalmente por utilização de cores escuras, e que proporciona absorção de grande quantidade de radiação solar que é, em seguida, reenviada à atmosfera na forma de calor sensível ou de radiação de ondas longas, provocando aumento na temperatura; a formação de *canyons urbanos*, que bloqueiam parte da reflexão da radiação diretamente para o céu e provocam a reabsorção da radiação refletida pelas superfícies verticais de edifícios altos; e, por fim, o calor eliminado pelos processos mecânicos, incluindo veículos e equipamentos de ar-condicionado.

Assim, entende-se que o fenômeno da ilha de calor é causado por alterações no balanço de energia e radiação das superfícies. Superfícies urbanas e suburbanas são caracterizadas principalmente por variações de energia. Isso é amplamente controlado por disponibilidade de umidade: quando tanto a cidade quanto a área rural são/estão úmidos, as diferenças de temperatura são menores; por outro lado, em condições secas, a cidade tende a se tornar uma região com maior acúmulo de calor sensível e, portanto, temperaturas do ar maiores. A maior intensidade de ilha de calor acontece sob a condição de baixa velocidade do ar e pouca nebulosidade (OKE *et al.*, 2017).

Alguns estudos recentes pontuam que o fenômeno de ilha de calor urbana não ocorre da mesma maneira em todas as localidades, mas pode haver uma defasagem em algumas delas com relação ao fenômeno inicialmente descrito, predominantemente noturno: para alguns autores, a maior diferença de temperatura do ar entre os meios urbano e rural não aconteceria, necessariamente, no período noturno em todas as localidades (FERREIRA *et al.*, 2013; MARQUES FILHO *et al.*, 2009; CHOW; ROTH, 2006). Conclusões desta natureza não são, porém, consenso no meio científico.

Segundo Stone, nas regiões urbanas as questões de uso do solo e as emissões de resíduos de calor pelos sistemas mecânicos *“are playing a more significant role in ongoing warming trends than greenhouse gas emissions”* (STONE, 2012, p. 86). E o efeito de aquecimento tem consequências para o conforto humano. Segundo Stewart e Oke (2012): *“...heat islands in relatively hot climates or seasons can increase discomfort and potentially raise the threat of heat stress and mortality, and heighten the cost of air conditioning and the demand for energy.”* (STEWART, OKE, 2012).

Os efeitos de aquecimento, global e urbano têm, portanto, o potencial de somarem-se e maximizarem-se. Segundo Stone (2012, p. 57), *“the actual impacts of human activities on climate at the regional scale, accounting for both land-surface changes and emissions of greenhouse gases, may be twice as great as the impacts of greenhouse gases alone”*. Segundo o mesmo autor, as taxas de aquecimento médio decenal em grandes cidades dos Estados Unidos, durante os últimos 50 anos, são maiores que as taxas de aquecimento de zonas rurais em um fator de 1,5, o que significa uma taxa média de amplificação de 50%. E a taxa de aquecimento das cidades é o dobro da taxa de mudança global.

3.2 Aquecimento, desempenho dos edifícios e conforto térmico

Não há como pensar o desempenho do edifício fora do seu contexto urbano e climático. Quanto ao conforto urbano, a cidade deve oferecer condições atrativas e prazerosas para que as pessoas passem mais tempo nos espaços abertos (DUARTE, 2015). Do mesmo modo, os edifícios precisam prover condições favoráveis à permanência em seu interior e execução das atividades a que se destina.

O microclima urbano é complexo e suscetível a alterações e como principais alterações impostas a ele pode-se citar a ilha de calor urbana e as mudanças climáticas globais. Esses fenômenos de aquecimento, tanto globais quanto locais (relacionados à escala urbana) têm o potencial de influenciar o desempenho térmico dos edifícios. O efeito associado da ilha de calor e do aquecimento global aumenta a temperatura superficial nas cidades e esse aquecimento é responsável por sérias consequências no balanço energético, ambiental e social das cidades (SANTAMOURIS, 2014), assim como da saúde e do conforto humanos.

Para melhor compreensão dos efeitos sobre os edifícios, e do seu desempenho térmico em situações reais atuais e futuras, fazem-se necessários, portanto, os entendimentos conjuntos tanto das escalas do edifício com a urbana quanto das questões climáticas e arquitetônicas.

Deste modo, a compreensão e a caracterização do clima são de fundamental importância para o estudo do desempenho térmico dos edifícios nos cenários atual e futuros. Para a caracterização dos climas futuros, o IPCC sugere, em seus relatórios, diferentes cenários climáticos. Esses pressupõem incertezas, principalmente pela impossibilidade de se saber o quanto as emissões de gases evoluirão em função dos acordos internacionais, da eficiência energética e/ou de outras medidas mitigadoras. O Brasil já produz projeções de cenários climáticos futuros mais detalhados do seu território. Por exemplo, o Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) produziu e disponibilizou cenários com dados de médias diárias baseadas em cenário do IPCC AR4 desde o ano de 2013 através do portal "Cenários de Mudanças Climáticas Futuras"; mais recentemente o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTE/INPE) passou a disponibilizar dados baseados nos RCP (*Representative Concentration Pathway*) 4.5 e 8.5 do IPCC AR5 através da plataforma PROJETA (Projeções de mudança do clima para a América do Sul regionalizadas pelo Modelo Eta)¹²; também, pesquisadores do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP (IAG/USP) produziram cenários climáticos para anos futuros com dados a cada 3 horas para os cenários do IPCC AR5 (LLOPART *et al.*, 2014). Em todos os casos, os dados climáticos futuros, porém, ainda não consideram os efeitos das áreas urbanas sobre o microclima local.

Mais da metade da população mundial vive em cidades. No Brasil mais de 80% da população vive atualmente em meios urbanos e a tendência é de aumento desse percentual (Figura 47), o que reforça a importância da compreensão do fenômeno e inclusão dos seus efeitos quando dos estudos de desempenho térmico das construções.

Os edifícios são responsáveis pelo consumo de 30% a 40% do total da energia mundial (UNEP, 2007), segundo o PBMC o setor está ganhando expressão no consumo de energia tanto no Brasil quanto no mundo (PBMC, 2013c), de modo que pode responder por parcela significativa das emissões de dióxido de carbono.

¹²Endereço eletrônico da Plataforma PROJETA: <https://projeta.cptec.inpe.br/#/dashboard>. Acesso em 20 jan. 2019.

Os gastos energéticos das edificações ocorrem em todas as fases do seu ciclo de vida. Na fase de operação, porém, ocorre a maior parte do consumo (UNEP, 2007; VIANNA *et al.*, 2009), principalmente para as funções de resfriamento e aquecimento dos ambientes.

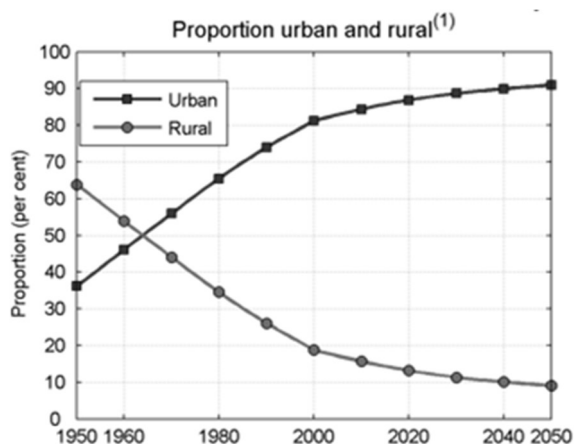


Figura 1. Proporção, em porcentagem do total, de população brasileira urbana e rural de 1950 a 2050 (UNDESA, 2014).

Os progressos na direção de edifícios e construções sustentáveis estão avançando, mas as melhorias ainda não estão acompanhando o crescimento do setor de edificações e a crescente demanda energética (UNEP, 2017). Em sintonia com essas constatações, o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) indica que o setor de edifícios apresenta consumo energético crescente, tanto no Brasil quanto no restante do mundo (PBMC, 2013). Por outro lado, de acordo com o quarto e o quinto relatórios do IPCC (AR4 e AR5), o setor de edifícios é o que agrega maior potencial para reduções nas emissões (IPCC, 2007, 2014b) desde que sejam feitas alterações na concepção dos projetos e no modo de operação ao longo da sua vida útil, com adoção de estratégias passivas de condicionamento e de controle de ganhos de calor pela envoltória, com redução no uso de ar-condicionado, entre outras ações no âmbito da eficiência energética. Questões dessa ordem transcendem o problema das emissões por abrangerem também o mote da segurança energética e porque é necessário garantir condições de funcionamento e ocupação dos edifícios, mesmo em caso de racionamento ou de falta de energia como o que ocorreu no ano de 2001, quando o Brasil enfrentou uma crise energética que ficou conhecida como “apagão”.

No Brasil, diferentemente de países com latitudes mais altas, a demanda por resfriamento é significativamente maior do que por aquecimento, sendo que o consumo energético para condicionamento artificial responde por aproximadamente 20% do total em edifícios residenciais e 47% em edifícios comerciais (LAMBERTS, 2007). Existem muitas evidências de que, mesmo nesses países de clima mais frio, com as mudanças climáticas previstas, há tendência de que o aumento da demanda energética para resfriamento seja maior do que a redução da demanda para aquecimento (ISAAC, VAN VUUREN, 2009; PALME *et al.*, 2017; GUATTARI *et al.*, 2018; YANG *et al.*, 2017; SANTAMOURIS, 2014; SANTAMOURIS *et al.*, 2018; KOLOKOTRONI *et al.*, 2012; SALVATI *et al.*, 2017; GUPTA, GREGG, 2012; CHAN, 2011). O consumo de energia elétrica no setor residencial entre os anos 2005 e 2017 cresceu 61%, fortemente influenciado pela elevação do uso de aparelhos de ar-condicionado, cujo crescimento é estimado em cerca de 237% no mesmo período (EPE, 2018). A Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2018) estima que a demanda por eletricidade devido ao uso de condicionadores de ar pelas famílias pode crescer 5,4% ao ano até 2035. Uma vez instalados, os equipamentos serão utilizados sempre que houver aumento na temperatura (WU, PETT, 2006),

o que significa que dificilmente os padrões de consumo voltarão a ser o que eram anteriormente.

A instalação de equipamentos de ar-condicionado é uma solução para o resfriamento dos ambientes, porém, com maior dependência do consumo energético, o que acarreta em maior suscetibilidade às flutuações do custo da energia e às questões de segurança energética, além de retroalimentar o aquecimento urbano por direcionar a carga térmica dos ambientes internos para o meio externo, o que contribui ainda mais para o aquecimento urbano. Estratégias projetuais que minimizem essa dependência energética e potencializem a operação em modo passivo são, portanto, positivas (GUPTA, GREGG, 2012; LEE, LEVERMORE, 2013; TILLSON *et al.*, 2013; PORRIT *et al.*, 2012).

Roaf *et al.* (2009) mostram que na arquitetura vernacular tradicional, diferentes povos sempre procuraram utilizar experiências locais de projeto integrado às condições climáticas locais para lidarem da melhor maneira possível com o ambiente térmico. Por outro lado, com a introdução dos sistemas de ar-condicionado, no século XX, esta conexão do projeto com aspectos climáticos tornou-se mais frágil e os arquitetos passaram a delegar as questões de conforto térmico para os engenheiros, projetistas dos sistemas de condicionamento. Com a constatação das mudanças climáticas e a necessidade de adaptação que elas trouxeram, porém, aumentaram a relevância da relação entre projeto e clima (JENDRITZKY, DE DEAR, 2009). Constata-se que a disseminação do condicionamento ativo de ambientes, a exemplo de espaços de trabalho, automóveis, residências, ambientes comerciais, entre outros, fazendo com que as pessoas, conseqüentemente, passem mais tempo em ambientes com condições térmicas estáticas e tornem-se menos acostumadas às adaptações necessárias às flutuações térmicas diárias e sazonais. Como conseqüência elas se tornam acostumadas a este tipo de ambiente e tendem a preferi-los àqueles naturalmente ventilados (DE VECCHI *et al.*, 2016).

Há diversos estudos que se debruçaram sobre as mudanças climáticas globais e/ou a ilha de calor urbana relacionados ao desempenho térmico de edifícios. Nos estudos voltados para o efeito das mudanças climáticas globais, a comparação entre o desempenho térmico de edifícios em cenários climáticos do presente e do futuro mostram o aumento das temperaturas e, conseqüentemente, aumento da demanda de carga térmica de resfriamento, parcialmente compensado pela redução da carga térmica de aquecimento (GUPTA, GREGG, 2012; LEE, LEVERMORE, 2013; CHAN, 2011; ISAAC, VAN VUUREN, 2009). Dentre os trabalhos voltados para a ilha de calor urbana, vários estudos em diferentes contextos urbanos avaliaram suas conseqüências para o desempenho térmico dos edifícios (SALVATI *et al.*, 2017; PALME *et al.*, 2017; GUATTARI *et al.*, 2018; YANG *et al.*, 2017; SANTAMOURIS *et al.*, 2018; LEE, LEVERMORE, 2013; KOLOKOTRONI *et al.*, 2009) e concluíram, de maneira similar aos estudos relacionados às mudanças climáticas, que o efeito da ICU resulta em aumento das temperaturas internas e da demanda por carga térmica de resfriamento. Outros estudos acoplaram ambos os fenômenos de aquecimento, o global e o urbano (CRAWLEY, 2008; SANTAMOURIS, 2014; KOLOKOTRONI *et al.*, 2012; MISHRA *et al.*, 2015; LEE, LEVERMORE, 2013). Um exemplo é o estudo conduzido por Mishra *et al.* (2015) que constatou que o aquecimento urbano (provocado pela ilha de calor urbana e todos os fenômenos relacionados ao balanço térmico em meios urbano) têm efeitos maiores que o aquecimento global e, por isso, com maior potencial para influenciar o desempenho térmico de edifícios.

Nesse sentido, é necessário considerar o uso de arquivos climáticos que acoplem ambos os fenômenos de aquecimento que recaem sobre as aglomerações urbanas para a avaliação do desempenho térmico de edifícios através de simulações computacionais (KOLOKOTRONI *et al.*,

2012; KOLOKOTRONI *et al.*, 2009; SALVATI *et al.*, 2017; PALME *et al.*, 2017; GUATTARI *et al.*, 2018). No Reino Unido, por exemplo, o “*The Chartered Institution of Building Services Engineers*” (CIBSE) produz dados climáticos para diversas possibilidades de avaliação através da simulação computacional; no Brasil apenas alguns arquivos climáticos padronizados são disponibilizados.

Além disso, o enfrentamento das questões atuais de clima e sustentabilidade precisará ser feito não com simples ajustes, mas com mudanças mais profundas, incluindo o estilo de vida das populações (EMMANUEL, 2017; CALTHORPE, 2010; COLE *et al.*, 2008). Cole *et al.* (2008) falam em um alargamento da noção de conforto, baseada no surgimento de um novo conjunto de situações, incluindo principalmente comunicação e adaptação, em contraste com as noções prévias de conforto, focadas no conforto fisiológico individual e que visa os ocupantes como receptores passivos das condições ambientais impostas. A aceitação de maiores variações de condições térmicas e o alargamento das possibilidades adaptativas de conforto térmico são alguns dos caminhos vislumbrados no contexto (EMMANUEL, 2017; COLE *et al.*, 2008). Outros caminhos são a introdução de elementos que possam contribuir para as sensações térmicas (e consequentemente para o prazer térmico) como sombreamento, vegetação e espelhos d’água e melhorar a relação dos ambientes internos com os externos, a partir de ações na escala da vizinhança, sem se restringir às questões do edifício isolado do seu contexto (EMMANUEL, 2017).

Edifícios residenciais tendem a ser proporcionalmente mais afetados pelo aquecimento externo, pois, enquanto em edifícios com uso comercial verifica-se a predominância dos ganhos de calor por fontes internas (grande concentração de pessoas e máquinas, além de iluminação), em edifícios residenciais geralmente encontram-se baixas cargas internas e uso frequente de ventilação natural (BUENO, 2012; YANG *et al.*, 2017; CHAN, 2011).

Em pesquisa anterior (ALVES, 2014), verificou-se que, para o clima de São Paulo, edifícios residenciais com sistemas tradicionais, construídos por volta dos anos 1970, tendem a responder de maneira razoável às mudanças climáticas em curso e projetadas para o futuro, operando em modo passivo, mantendo a maior parte das horas do ano ainda em condição de conforto, considerando-se o modelo adaptativo de conforto da norma ASHRAE 55 (2017). O aumento gradual, porém, da proporção de tempo em condições mais quentes do que aquelas consideradas dentro da zona de conforto e também da intensidade desse desconforto é inevitável, da ordem de 270% nas residências avaliadas, principalmente no período do verão e nos episódios de onda de calor (ALVES, 2014; ALVES *et al.* 2014a; 2014b; 2015a, 2015b, 2016) (Figura 48). Esse sobreaquecimento pode significar desde sensação de desconforto até o estresse térmico afetando a saúde humana e, nos casos mais extremos, chegar a ser a causa de mortes, como no episódio da onda de calor europeia de 2003 (MATZARAKIS *et al.*, 2009) e de 2018 (com o mês de agosto mais quente já registrado) (WMO, 2018), daquela que atingiu a Baixada Santista em 2010 (LIMA, 2010), assim como Índia e Paquistão em junho de 2015 (NASA Earth Observatory, 2015). Por fim, no mês de janeiro de 2019, ainda que seja muito recente para análises de maior magnitude, é notória a onda de calor que atingiu a Austrália sendo o mês mais quente da história no país (BBC, 2019). Destaca-se ainda a maior vulnerabilidade dos idosos aos episódios de onda de calor¹³.

¹³ A maior vulnerabilidade dos idosos foi verificado em pesquisas realizadas dentro do projeto temático “Biometeorologia humana: análise dos efeitos de variáveis ambientais (meteorológicas, conforto térmico e poluição atmosférica) e das mudanças climáticas na população geriátrica da cidade de São Paulo” (Projeto temático FAPESP processo 2010/10189-5).

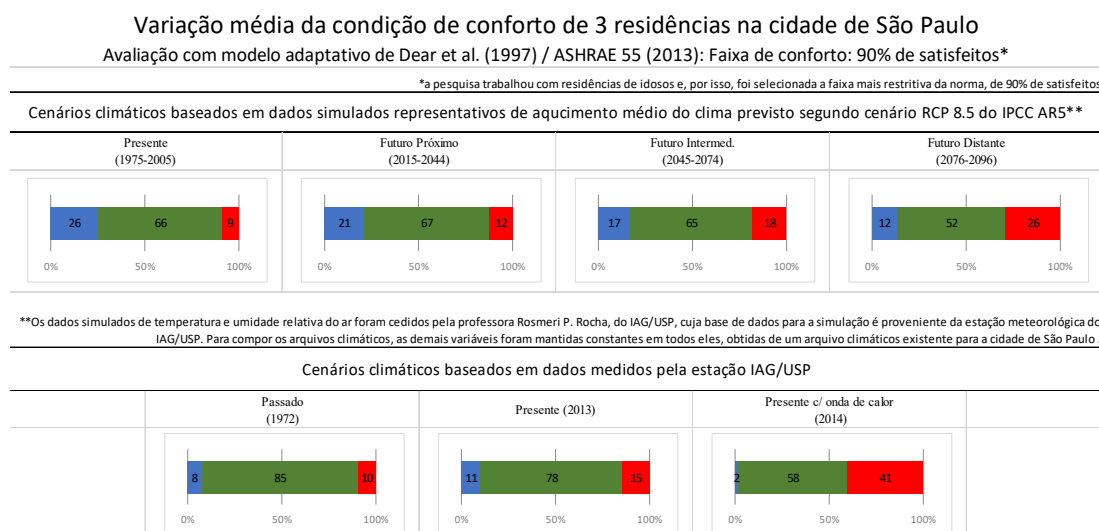


Figura 48. Estudo de variações médias da condição de conforto de 3 residências na cidade de São Paulo, conforme aquecimento progressivo do clima e efeito do evento de onda de calor. Gráficos gerados a partir dos resultados de ALVES, 2014; ALVES *et al.* 2014a; 2014b; 2015a; 2015b e 2016.

Para além dos edifícios residenciais tradicionais, verifica-se um grande estoque de novos lançamentos residenciais surgidos especialmente a partir do ano 2005, na capital paulista, até o ano de 2014, apresentados no capítulo 2. Sobre esse recente contingente edificado, não se tem informações sobre como respondem às condições térmicas impostas pelo clima atual e como irão se comportar levando em consideração o clima em transição. Do mesmo modo que o ambiente tem o potencial de influenciar no desempenho térmico dos edifícios, os edifícios, por si mesmos, alteram o microclima em seu interior e, por vezes, em seus arredores. Daí a importância de se estudar as características do que está sendo construído atualmente.

O conceito de conforto adaptativo vem ao encontro dos objetivos e expectativas dessa pesquisa, pois leva em consideração a tendência que as pessoas têm de se adaptarem à flutuação de condicionantes ambientais (NICOL, HUMPHREYS, 2002); essa adaptação pode ser fisiológica, psicológica, comportamental, de vestimenta, entre outras. Permite, assim, um intervalo maior de condições térmicas na qual é possível se obter conforto e maior aproximação com o ambiente climático externo. Este tipo de modelo aplica-se muito bem a ambientes naturalmente condicionados, pois estes ambientes tendem a sofrer maiores alterações térmicas em seu interior, em função das variações externas; do mesmo modo, variam as expectativas de seus usuários e sua adaptação e satisfação com ambientes condicionados naturalmente (LOMAS, GIRIDHARAN, 2012). Nessa abordagem, o usuário não é visto como passivo ao meio que o cerca, mas passa a controlar o ambiente com mecanismos como a simples abertura ou fechamento de uma janela, aumentando sua satisfação e suas oportunidades de adaptação.

A maior parte dos estudos existentes de conforto adaptativo é relacionada a edifícios de escritórios. Sobre ambientes residenciais há pouca informação. Há, porém, indícios de que as pessoas são menos sensíveis a alterações das condições ambientais quando estão em casa do que quando estão no ambiente de trabalho pois, em geral, são maiores as oportunidades adaptativas (CIBSE, 2006).

Há uma série de estudos que foram conduzidos com o intuito de relacionar a condição de conforto térmico em ambientes internos e clima em edifícios naturalmente ventilados. Eles partem da relação do voto de conforto (avaliado através de questionários) e variáveis ambientais internas e externas medidas localmente. Alguns dos principais estudos foram

realizados por: Humphreys (1978), Auliciems (1981, 1989), De Dear e colaboradores (DE DEAR *et al.*, 1997; DE DEAR, 1998), projeto “*Smart Controls and Thermal Comfort*” (SCATs) (MCCARTNEY, NICOL, 2002), Humphreys *et al.* (2010) e, um estudo mais recente também conduzido por De Dear em um novo contexto (DE DEAR *et al.*, 2018); sendo que alguns deles foram incorporados por normas internacionais, a saber: a norma americana ASHRAE 55 de 2004, 2010, 2013 e 2017: “*Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*” (baseada no modelo de DE DEAR *et al.*, 1997) e a norma europeia CEN EN15251 - 2007: *Indoor environmental input parameter for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics* (baseada no projeto SCATs, cujo desenvolvimento se deu com esse objetivo). No Brasil está sendo formado um banco de dados de conforto térmico organizado pelo Laboratório de Eficiência Energética da Universidade Federal de Santa Catarina (LabEEE - UFSC) que desenvolveu uma proposta de norma brasileira de conforto térmico, incluindo um modelo adaptativo baseado na norma norte-americana ASHRAE 55 (2017), prevendo incrementos na velocidade do ar acima daqueles permitidos para o padrão estadunidense (LAMBERTS *et al.*, 2013).

Existem alguns estudos internacionais que se dispuseram a estudar estratégias de adaptação para edifícios residenciais nesse novo contexto. São alguns exemplos o trabalho de Kendrick *et al.* (2012) que, estudando o efeito da massa térmica em residências inglesas concluiu que, ainda que a massa térmica seja positiva, o emprego de vedações leves aliado às estratégias de ventilação e sombreamento podem proporcionar condições térmicas favoráveis; outro trabalho (PORRITT *et al.*, 2012) demonstrou a efetividade de intervenções para redução dos ganhos solares como o isolamento das paredes externas e revestimentos refletivos, assim como a proteção das áreas envidraçadas da radiação solar; Gupta e Gregg (2012) testaram uma série de medidas passivas de adaptação e também combinações entre elas e concluíram que a instalação de dispositivos de sombreamento controláveis pelo usuário é a adaptação mais efetiva para as residências estudadas; o trabalho de Coley *et al.* (2012) comparou adaptações estruturais e comportamentais em edifício escolar e residencial e ambas apresentaram efetividade, porém, com a dúvida de se o usuário está ou estará de fato treinado para realizar as ações adaptativas previstas. Todos os trabalhos levantados acima, porém, foram realizados no contexto do Reino Unido; para o contexto brasileiro, assim como para outros climas tropicais e subtropicais, há poucos estudos desenvolvidos.

3.3 Dados climáticos para simulações computacionais e os fenômenos de aquecimento urbano

As simulações computacionais de desempenho térmico de edifícios são feitas a partir de dados climáticos originários de estações meteorológicas, geralmente situadas fora das zonas urbanas adensadas. Uma das principais fontes de dados como estes são as medições realizadas em aeroportos ou em outras estações nos arredores das cidades, de modo que incorporam apenas parcialmente ou não incorporam os efeitos da ilha de calor urbana daquele local. Além disso, representam apenas um momento atual ou passado (do ano ou período de medição dos dados utilizados para aquele arquivo). De acordo com Nobre (2013), a adaptação está desassistida e é uma ciência nova a ser explorada. O mesmo autor deixa ainda uma clara mensagem para a infraestrutura urbana no Brasil, especialmente relacionada ao consumo de água e de energia: ele alerta pesquisadores e tomadores de decisão para não se referenciar

apenas em dados ambientais históricos, mas em dados presentes e previstos para o futuro, o que é reforçado pelas fortes evidências de que os cenários futuros previstos estão sendo antecipados em pelo menos 20 anos. Então, os arquivos climáticos precisam refletir as atuais condições às quais os edifícios estão expostos, considerando, por um lado, o acelerado aquecimento global (IPCC, 2014a, 2014b, 2014c) e a longa vida útil (mais de 50 anos) dos edifícios e, por outro lado, os densos centros urbanos e suas respectivas ilhas de calor.

Para incorporação dos efeitos do aquecimento global no clima da cidade de São Paulo foram previamente elaborados 4 arquivos climáticos para os períodos atual e futuro (ALVES, 2014; ALVES *et al.* 2014a; 2014b; 2015a; 2015b e 2016) a partir de dados de simulação computacional climática realizados e cedidos pelo IAG / USP utilizando o modelo regional RegCM4 e o MPI (Max-Planck Institute for Meteorology) modelo global, aplicando o IPCC AR5 RCP (*Representative Concentration Pathways*) 8,5 (LLOPART *et al.*, 2014). Resta, deste modo, a lacuna da incorporação dos efeitos da ilha de calor urbana na capital paulistana.

Há alguns métodos que propõem este acoplamento do efeito urbano de aquecimento em arquivos climáticos para fins de simulação computacional. Dois métodos foram considerados: Crawley (2008) e Bueno *et al.* (2013). Ambos propõem a inserção dos prováveis efeitos da urbanização sobre os dados de temperatura e umidade do ar tendo como base dados meteorológicos obtidos de estações localizadas fora da malha urbana.

O método desenvolvido por Crawley (2008) baseia-se nos esquemas/diagramas desenvolvidos por Oke (1982; 1987), partindo da premissa de que a ilha de calor urbana pode ser representada pela alteração nos padrões de temperatura do ar ao longo do dia se comparada com as áreas fora da região urbanizada. Para isso, empregou equações que consideram alterações na temperatura urbana que são mais acentuadas no período noturno e se tornam mais amenas quanto mais distante a hora do dia está do período noturno. O equacionamento proposto para a incorporação dos efeitos da ilha de calor urbana nos dados de temperatura do ar horários é dado por:

Se o sol se pôs:

$$DB_{mod} = DB + \Delta DB \quad (1)$$

Se é a primeira ou a última hora de luz do dia:

$$DB_{mod} = DB + 0,5 \times \Delta DB \quad (2)$$

Se é a segundo ou penúltima hora de luz do dia:

$$DB_{mod} = DB + 0,25 \times \Delta DB \quad (3)$$

Se é a terceira ou antepenúltima hora de luz do dia:

$$DB_{mod} = DB + 0,0755 \times \Delta DB \quad (4)$$

Para todas as outras horas de luz do dia:

$$DB_{mod} = DB - 0,1 \times \Delta DB \quad (5)$$

Sendo:

DB = temperatura de bulbo seco

ΔDB = variação na temperatura de bulbo seco pela ilha de calor

DB_{mod} = temperatura de bulbo seco modificada

O cálculo considera a temperatura medida na estação fora da malha urbana e a maior diferença diária obtida entre as temperaturas fora e dentro da malha urbana (portanto, o efeito da ilha de calor), denominado ΔDB (*change in dry bulb temperature for heat island*, em português, variação da temperatura do ar devido à ilha de calor). Como a maior diferença de temperatura urbano/rural ocorre no período noturno (OKE, 1982; 1987), segundo o

equacionamento de Crawley, nesse período os valores de temperatura do ar em estações não urbanizadas e maior diferença de temperatura entre urbano e rural devem ser somados. Para as demais horas do dia é proposta uma amortização do efeito da ilha de calor, incluindo um coeficiente multiplicador da ΔDB , que varia com o decorrer das horas do dia: 0,5 para a primeira ou última horas do dia; 0,25 para a segunda ou penúltima horas do dia; 0,0755 para a terceira ou antepenúltima horas do dia. Para as demais horas do dia, o coeficiente proposto é -0,1, o que indica que a temperatura urbana será um pouco menor que a rural em parte das horas do dia. O parâmetro ΔDB indica a intensidade máxima da ilha de calor urbana; para o seu valor, duas faixas de temperatura foram estimadas pelo autor: 1-3°C para climas mais frios (latitude 48°) e 1-5°C para as demais cidades (latitude 48°), sendo 1°C para cidades menores e 5°C para cidades com mais de 10 milhões ou mais de habitantes.

Tendo acoplado o efeito da ilha de calor nos arquivos climáticos, Crawley (2008), simulou o efeito da ilha de calor em protótipo virtual elaborado a partir de um pequeno edifício de escritórios com sistema de condicionamento artificial. Os resultados obtidos sugerem que o sobreaquecimento ocasionado pela ilha de calor modifica o consumo de energia do edifício, reduzindo-o em 10% em regiões de clima frio, aumentando mais de 20% em regiões tropicais e, em climas temperados, há uma situação mista de redução do consumo energético por aquecimento e aumento para resfriamento. Por fim, verificou que edifícios projetados para o menor uso energético serão os menos afetados, com impactos que variam entre 5 e 10% no consumo corrente de energia.

Outro método de acoplamento da ilha de calor nos arquivos climáticos foi desenvolvido por Bueno *et al.* (2013), denominado *Urban weather generator* (UWG). O UWG é um modelo composto por quatro módulos: o "*Rural Station Model*" (RSM), que calcula os fluxos de calor sensível na estação meteorológica; o "*Vertical Diffusion Model*" (VDM), que calcula perfis verticais de temperatura sobre a área rural; o "*Urban Boundary-Layer*" (UBL), que calcula as temperaturas do ar sobre o dossel urbano; e o "*Urban Canopy and Building Energy Model*" (UC-BEM) que calcula os fluxos de calor sensível urbanos e a temperatura e umidade do ar no *canyon* urbano (Figura 49). Para a aplicação do UWG há um software desenvolvido e disponibilizado por Nakano *et al.* (2015).

Em sua tese de doutorado, Bueno (2012) referencia outros trabalhos que haveriam buscado, também, calcular dados climáticos urbanos utilizando modelos meteorológicos (EREL, WILLIAMSON, 2006; GRIMMOND, OKE, 2002; SWAID, HOFFMAN, 1990, OXIZIDIS *et al.* 2008). Segundo o autor, a ferramenta desenvolvida neste trabalho, o *Urban Weather Generator* (UWG), supera as limitações encontradas nos métodos desenvolvidos anteriormente.

O UWG requer informações sobre a morfologia urbana e sobre os processos físicos que ocorrem na área urbana (STREET *et al.*, 2013), por exemplo, a emissividade e a condutividade térmica das superfícies e parâmetros da camada limite relacionados à sua altura, além de ser necessário caracterizar os *canyons* urbanos, dados difíceis de serem determinados para a cidade de São Paulo, conforme abordado a seguir.

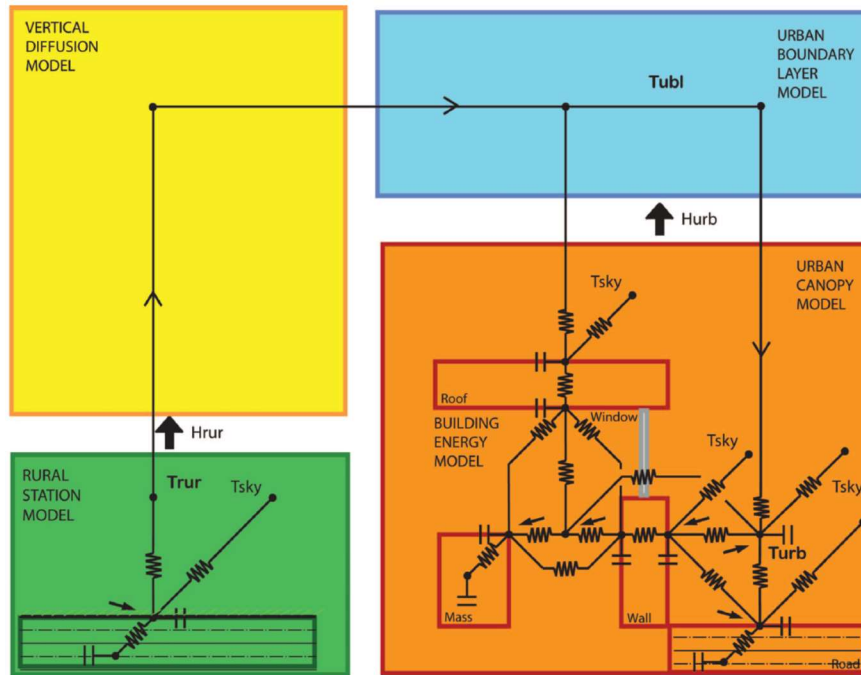


Figure 1. Diagram of the urban weather generator (UWG) scheme, which is composed of four modules: the Rural Station Model (RSM), the Vertical Diffusion Model (VDM), the Urban Boundary-Layer (UBL) model and the Urban Canopy and Building Energy Model (UC-BEM). Thermal networks indicate the main heat transfer processes included in the RSM and UC-BEM. T_{rur} , T_{ubl} and T_{urb} represent the air temperature measured at the weather station, calculated at the urban boundary layer and calculated at the urban site. The RSM provides rural sensible heat fluxes (H_{rur}) to the VDM and the UBL model. The UC-BEM provides urban sensible heat fluxes (H_{urb}) to the UBL model.

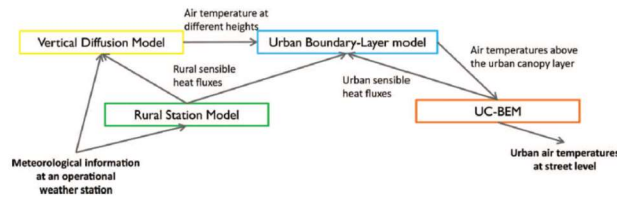


Figura 49. Diagramas explicativos do Urban Weather Generator. Fonte: Bueno *et al.* (2013).

3.4 A cidade de São Paulo no contexto climático em transição

A cidade de São Paulo está na longitude 46,6°W e na latitude de 23,3°S, na linha do trópico de Capricórnio. Cidade mais populosa e centro financeiro do Brasil, São Paulo é a maior cidade da maior região metropolitana do país e um dos maiores conglomerados do mundo. A população da cidade é, de acordo com o censo demográfico de 2010, 11.253.503 de habitantes (IBGE, 2010) e se considerada toda a região metropolitana, a população atinge cerca de 23 milhões (UNDESA, 2016).

Caracteriza-se, ainda, por uma malha urbana heterogênea, sendo que, de modo geral, a região central é mais adensada que as periferias, e onde dificilmente é possível se caracterizar *canyons* urbanos como geralmente descritos em trabalhos desenvolvidos em outras localidades, pois raramente se encontra simetria entre os dois lados de uma via, há recuos entre os edifícios, sua implantação é bastante heterogênea; todas essas características frequentes nas cidades latino-americanas. Como exemplos pode-se observar na Figura 50 que exemplifica a implantação urbana dos edifícios onde há unidades que foram estudadas neste trabalho (Apêndice - A).



Figura 50. Edifícios residenciais verticais inseridos na morfologia da cidade de São Paulo. Fonte: Google Earth.

A designação climática atribuída à cidade é de clima subtropical, com temperaturas amenas, sendo os verões mais quentes e úmidos e os invernos amenos e mais secos. Segundo a caracterização de Köppen, São Paulo fica na divisão de duas classificações: Cfa (Clima temperado úmido com verão quente) e Cwa (clima temperado úmido com inverno seco e verão quente).

Devido à latitude, a posição solar atinge 0° (sol a pino) no solstício de verão e sua trajetória ganha inclinação na direção norte conforme se aproxima do solstício de inverno (Figura 51). Tanto na estação de verão quanto na estação de inverno são registrados altos índices de radiação, com exceção dos dias nublados. Como se pode observar na Figura 52, no período do verão a principal incidência de radiação ocorre nas direções leste e oeste, enquanto no inverno há a inclinação na direção norte.

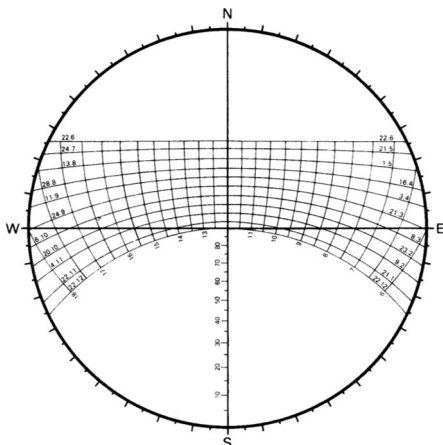


Figura 51. Carta solar latitude 24° S. Fonte: FROTA, SCHIFFER, 2001.

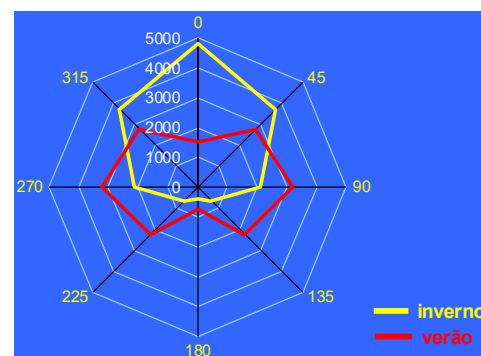


Figura 52. Distribuição da radiação solar (W/m^2) em plano vertical total diário: mês mais frio e mês mais quente. Fonte: software Climaticus 2011, versão beta¹⁴.

Sobre a incidência de ventos na cidade de São Paulo, a predominância são os ventos advindos da direção sudeste (que se destacam no outono e na primavera), com uma predominância secundária da orientação sul (principalmente no verão). Percebe-se que no

¹⁴ Fonte dados Climaticus: Normais Climatológicas (1961-1990), Brasília, 1992. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Secretaria Nacional de Irrigação, Departamento Nacional de Meteorologia.

inverno a velocidade dos ventos é reduzida em comparação com as demais estações do ano (Figura 53).

Há indicações projetuais visando o melhor desempenho térmico nesse contexto climático atual, baseadas principalmente na carta psicrométrica e aqui se destaca o Zoneamento Bioclimático Brasileiro, normatizado através da NBR 15220 (ABNT, 2005). As principais recomendações para o clima de São Paulo são, para o verão, a ventilação cruzada, e para o inverno, o aquecimento solar e a inércia térmica (através de vedações internas pesadas) (Figura 54).

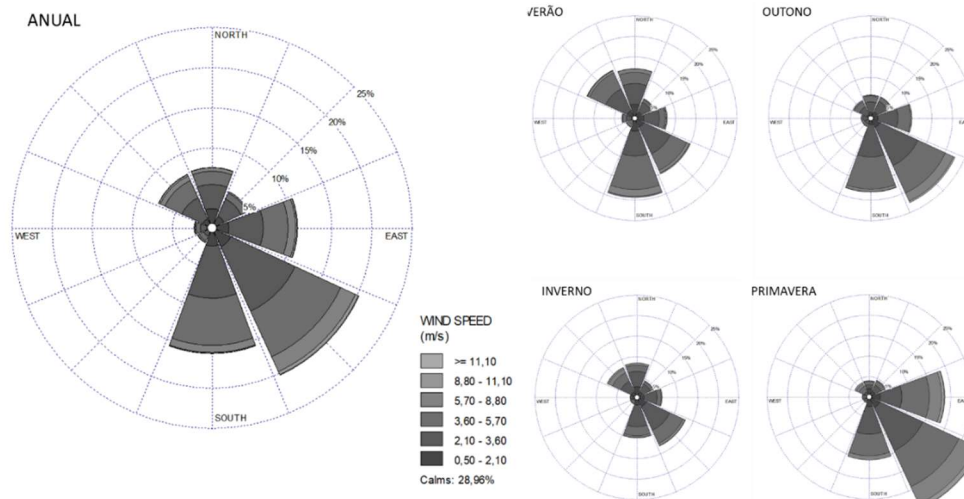


Figura 53. Orientação e velocidade dos ventos na cidade de São Paulo. Dados originados do arquivo climático do Projeto SWERA (Fonte dos dados: Aeroporto de Congonhas; ano 1984). Rosas dos ventos elaboradas utilizando o software WRPLOT View Freeware 8.0.2

6.3 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 3

Na zona bioclimática 3 (ver figuras 6 e 7) devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas tabelas 7, 8 e 9.



Figura 6 - Zona Bioclimática 3

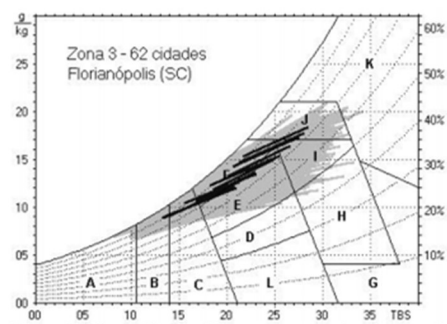


Figura 7 - Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Florianópolis, SC

Tabela 7 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 3

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Médias	Permitir sol durante o inverno

Tabela 8 - Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 3

Vedações externas
Parede: Leve refletora
Cobertura: Leve isolada

Tabela 9 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 3

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	J) Ventilação cruzada
Inverno	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)
Nota:	Os códigos J, B e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).

Figura 54. Diretrizes para a Zona Bioclimática 3 (ABNT, 2005)

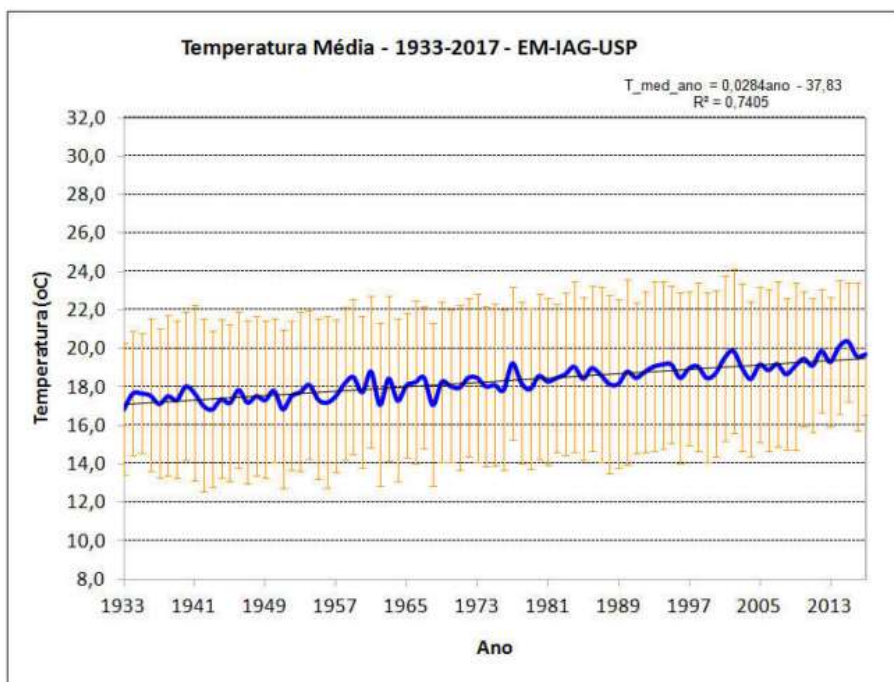


Figura 55. Temperaturas médias anuais para o período 1933-2017. As barras verticais indicam o desvio padrão de cada média. Fonte: (IAG, 2017)

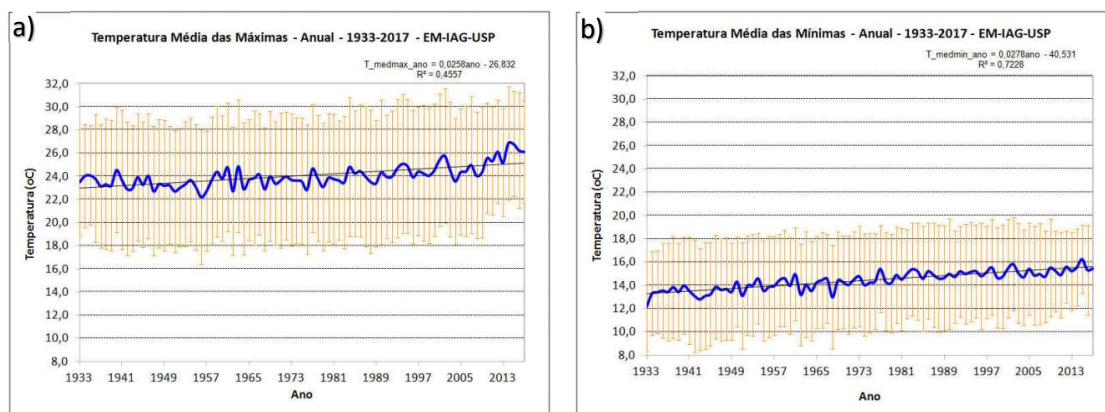


Figura 56. Temperaturas médias máximas (a) e médias mínimas (b) para o período 1933-2017. As barras verticais indicam o desvio padrão de cada média. Fonte: (IAG, 2017)

Dentre os parâmetros climáticos, temperatura e umidade relativa do ar sofrem bastante influência das alterações no clima em curso. Essas alterações podem ser observadas através da série de medições realizadas pela estação meteorológica do IAG/USP-Água Funda¹⁵, que se localiza em uma ampla área de parque, o que proporciona reduzido efeito da progressiva urbanização da metrópole sobre seus registros meteorológicos. A estação realiza registros de temperatura do ar desde o ano 1933 e de umidade relativa do ar desde 1936. A observação dos dados ao longo do tempo revela o aumento progressivo de temperatura: do início das medições até o ano de 2018 (período inferior a um século) houve um aumento nas médias anuais de temperatura de aproximadamente 3°C e respectivamente redução da umidade relativa do ar, como pode ser verificado nas Figura 55 e Figura 56 e nas Tabela 1 e Tabela 2.

¹⁵ A Estação Meteorológica se localiza no Parque de Ciência e Tecnologia da USP na Avenida Miguel Stéfano, 4200, Água Funda, zona sul de São Paulo. Coordenadas Geográficas: 23,65°S / 46,62°W. Altitude: 800m. Número na WMO: 83.004.

Tabela 1. Variação da temperatura média mensal na cidade de São Paulo ao longo dos anos. Dados de 1933 a 2014 medidos pela Estação Meteorológica do IAG/USP-Parque de Ciência e Tecnologia da USP. Elaboração da autora.

	Temperaturas (°C): médias mensais												MÉDIA
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1933	19,9	21,1	19,0	17,0	15,6	13,3	13,3	15,1	16,2	16,9	16,8	18,4	16,9
1934	20,6	21,1	20,3	18,7	16,5	15,6	13,7	15,2	16,2	16,3	18,8	19,5	17,7
1935	20,2	20,7	20,6	17,3	14,4	15,9	15,7	14,9	16,2	17,2	18,4	20,8	17,7
1936	21,4	19,7	19,5	18,5	18,8	17,0	14,9	14,0	15,4	17,6	18,0	19,9	17,9
1937	19,0	21,1	20,4	17,9	15,0	14,9	15,3	16,3	15,8	16,7	17,6	18,3	17,4
1938	22,5	20,7	21,2	18,4	15,8	14,7	14,2	14,9	16,4	17,3	18,5	19,6	17,9
1939	20,8	21,4	21,3	18,5	17,5	15,4	12,9	16,2	15,6	17,6	19,1	19,8	18,0
1940	21,4	19,8	20,9	20,1	17,8	15,9	16,4	16,4	16,2	17,3	18,3	22,6	18,6
1941	21,8	22,0	19,9	20,8	17,4	14,5	14,0	17,0	13,8	16,7	18,6	19,7	18,0
1942	20,7	21,5	20,7	18,3	15,9	14,5	11,6	14,8	15,3	17,1	18,4	18,3	17,3
1943	19,8	20,3	20,3	16,3	16,5	15,6	14,0	13,4	15,0	17,1	18,3	18,4	17,1
1944	21,2	20,2	20,7	17,0	15,3	15,0	12,9	15,9	17,1	19,7	17,6	19,2	17,6
1945	20,2	21,5	19,8	18,0	14,5	13,4	14,4	17,1	15,7	17,7	18,3	18,6	17,4
1946	20,8	22,6	19,9	17,3	17,8	14,8	13,8	16,6	17,8	18,4	18,9	19,8	18,2
1947	21,2	22,0	19,2	18,0	17,8	16,2	13,4	14,8	16,1	15,2	16,9	18,6	17,5
1948	22,0	21,4	19,0	18,4	16,3	15,2	16,2	14,1	16,7	16,7	18,7	19,4	17,8
1949	20,6	19,9	22,0	17,7	15,7	16,0	14,5	15,6	16,1	16,6	17,6	19,7	17,7
1950	20,5	20,8	20,6	18,8	17,5	16,1	14,8	17,0	17,1	16,9	17,8	20,0	18,2
1951	20,3	20,8	19,8	15,9	15,7	14,4	13,1	13,9	16,3	17,5	19,0	18,5	17,1
1952	20,7	20,0	20,5	17,1	16,7	15,2	14,9	16,7	16,0	18,0	19,0	19,8	17,9
1953	21,8	20,6	20,8	18,1	16,9	15,5	13,3	15,7	17,7	18,3	18,6	19,4	18,0
1954	22,1	21,6	20,8	18,2	16,6	16,3	15,6	16,4	17,7	17,8	18,6	19,6	18,4
1955	20,9	21,9	20,7	18,5	15,8	15,0	14,8	15,3	16,6	16,4	16,9	20,2	17,7
1956	23,4	21,2	20,2	18,2	15,0	13,4	13,9	13,7	17,7	17,1	16,8	19,1	17,5
1957	21,1	20,3	20,3	18,1	16,0	15,0	14,4	15,8	15,8	19,1	18,7	20,7	18,0
1958	21,5	22,1	20,0	17,8	16,1	15,4	16,0	17,9	16,8	18,3	20,5	21,5	18,7
1959	21,7	22,0	20,0	21,4	17,7	15,0	16,5	16,1	18,3	18,8	19,1	20,2	18,9
1960	20,1	20,3	20,1	18,4	14,8	15,0	15,1	17,0	17,2	19,7	19,2	20,5	18,1
1961	21,4	21,8	20,5	19,8	16,9	16,4	15,7	17,3	19,7	20,1	20,4	20,2	19,2
1962	20,2	20,5	20,7	18,2	15,4	13,6	13,2	15,2	17,1	16,7	18,6	19,4	17,4
1963	22,2	21,1	21,9	18,6	16,1	14,3	15,4	16,7	19,7	18,9	20,6	20,2	17,8
1964	20,3	20,8	20,4	19,4	15,9	14,2	12,7	16,3	17,3	17,0	17,6	19,2	18,6
1965	19,6	21,0	19,3	19,2	16,5	16,8	15,3	16,9	18,8	18,3	19,6	21,6	18,6
1966	22,0	23,0	20,9	19,0	17,0	16,6	16,5	15,6	16,0	18,1	18,8	20,8	18,7
1967	20,7	21,6	20,6	18,9	18,0	16,1	15,6	17,9	17,7	20,2	18,8	18,8	18,7
1968	20,8	19,9	20,4	16,8	14,2	14,5	14,2	14,5	16,2	17,7	19,9	21,4	17,5
1969	22,4	22,2	21,4	18,3	17,1	16,2	15,3	16,6	17,9	16,4	19,7	18,9	18,5
1970	20,8	21,4	21,5	19,2	18,7	17,3	15,1	15,5	16,3	17,4	17,7	22,0	18,6
1971	22,9	22,3	21,8	18,5	16,3	14,9	15,0	16,4	16,9	17,1	17,8	20,3	18,4
1972	21,7	21,1	21,7	17,6	17,7	17,7	15,4	17,0	17,5	18,7	19,8	21,2	18,9
1973	22,9	23,2	20,6	21,8	17,1	17,4	16,4	15,2	16,3	17,5	17,9	20,9	18,9
1974	21,5	22,3	21,0	18,1	17,2	14,8	15,8	16,6	16,8	17,2	19,4	19,7	18,4
1975	21,0	22,1	21,6	18,1	16,2	15,5	13,7	18,4	17,6	18,0	19,5	21,2	18,6
1976	22,3	20,7	20,8	18,9	16,5	15,3	14,8	15,8	16,1	17,4	19,5	21,1	18,3
1977	21,9	23,6	22,1	18,8	17,3	16,8	18,3	18,0	18,2	19,8	20,2	19,7	19,6
1978	22,2	21,9	21,7	18,1	15,8	15,2	16,5	15,5	17,1	19,2	19,8	20,7	18,6
1979	19,2	21,6	19,9	18,5	17,3	14,9	14,6	17,3	16,7	19,8	19,2	21,3	18,4
1980	20,7	21,7	22,9	19,9	18,7	15,4	16,3	16,9	15,7	19,3	19,5	22,5	19,1
1981	21,8	23,0	21,3	18,8	18,1	15,2	13,7	16,2	18,3	17,1	20,4	20,7	18,7
1982	19,8	22,5	20,4	17,9	16,3	17,7	16,5	17,4	17,4	18,9	21,3	20,3	18,9
1983	22,2	22,5	20,9	19,7	18,7	16,2	17,1	16,4	15,4	18,2	20,9	21,3	19,1
1984	23,5	24,0	21,1	19,1	19,5	17,3	16,6	15,3	16,4	19,6	20,3	20,3	19,4
1985	20,2	22,5	20,1	20,7	17,0	14,7	14,7	17,4	17,0	19,0	20,3	21,0	18,9
1986	23,0	22,4	21,6	20,6	19,1	16,2	15,1	17,3	16,9	18,6	21,2	21,3	19,4
1987	22,9	22,2	21,0	20,8	17,0	15,0	17,8	15,7	16,4	18,9	20,2	21,6	19,1
1988	23,4	20,9	21,7	19,6	17,1	14,6	12,9	16,5	18,6	17,8	18,9	21,0	18,6
1989	21,9	22,5	21,6	20,6	16,8	15,8	14,2	16,1	17,0	16,8	19,2	20,4	18,6
1990	23,0	22,4	22,6	21,9	16,8	15,6	14,1	15,2	16,2	20,0	21,9	21,0	19,2
1991	21,2	21,3	20,7	19,5	17,9	16,9	15,7	16,7	16,4	19,2	20,6	22,3	19,0
1992	21,8	22,5	21,9	20,2	19,0	18,0	15,4	15,3	16,8	19,1	19,7	20,6	19,2
1993	22,9	21,7	22,1	20,9	17,9	16,0	16,8	15,4	16,9	20,2	22,3	21,8	19,6
1994	21,6	24,0	21,2	20,0	19,0	15,9	16,5	16,2	18,8	20,3	20,9	22,7	19,8
1995	23,5	22,4	21,6	19,8	17,7	16,5	17,8	18,7	17,6	18,1	20,5	21,2	19,6
1996	23,2	22,6	21,7	20,3	16,8	16,0	13,9	15,5	16,8	19,2	19,7	22,1	19,0
1997	22,1	22,6	20,8	19,4	17,2	15,9	17,1	17,1	18,4	19,6	21,5	23,1	19,6
1998	23,9	23,6	22,5	20,6	17,1	15,6	16,0	18,4	18,1	18,2	19,2	22,0	19,6
1999	23,1	22,9	22,4	19,3	16,5	15,7	16,3	16,4	17,7	17,2	18,4	21,7	19,0
2000	22,0	21,6	20,9	19,8	17,3	17,3	14,6	16,2	17,4	20,9	20,5	21,9	19,2
2001	23,4	23,6	22,7	21,8	17,5	16,9	16,5	17,8	17,7	19,3	20,8	21,3	19,4
2002	22,3	21,4	23,6	22,2	18,9	18,6	15,7	19,2	17,1	22,0	21,4	22,6	20,4
2003	22,2	24,2	21,8	20,3	17,3	18,1	16,7	15,1	17,4	19,1	20,3	21,9	19,5
2004	20,7	20,8	20,3	20,6	16,7	16,0	15,3	16,3	19,9	18,6	20,2	20,6	18,8
2005	22,0	21,4	21,7	21,4	18,7	18,0	16,0	18,2	17,1	20,0	19,6	20,4	19,5
2006	22,6	22,8	22,4	19,7	16,1	16,2	16,9	17,4	17,4	19,1	20,1	22,0	19,4
2007	22,2	22,8	23,0	21,2	16,9	17,3	15,3	17,0	19,1	20,1	19,8	21,7	19,7
2008	21,1	22,1	21,5	20,2	16,8	16,4	16,1	17,6	17,0	19,8	19,6	20,3	19,0
2009	21,6	22,9	22,4	19,5	18,4	14,8	15,8	17,3	18,9	19,0	23,3	21,8	19,6
2010	22,9	23,8	22,2	19,7	17,8	15,6	17,4	16,0	18,5	17,7	20,1	22,0	19,5
2011	23,2	23,3	21,0	20,7	16,7	14,8	16,4	17,2	17,1	19,3	18,9	21,0	19,1
2012	20,7	23,4	21,6	20,5	17,4	17,0	16,4	17,8	18,9	21,1	20,0	23,7	19,9
2013	21,2	22,7	21,4	19,3	17,8	17,5	15,4	16,5	18,0	18,9	20,7	22,3	19,3
2014	24,2	24,3	22,3	20,0	17,6	17,4	16,1	16,9	19,0	20,2	20,6	22,5	20,1
2015	24,2	22,7	21,4	20,1	17,9	17,1	17,1	18,5	19,8	20,9	21,6	23,0	20,4
2016	22,3	23,8	22,5	22,6	17,5	14,5	16,3	16,7	17,5	19,5	19,9	22,3	19,6
2017	22,9	23,5	21,7	19,6	18,3	16,8	15,5	16,3	19,8	20,4	19,8	21,7	19,7
2018	22,4	21,5	22,8	20,3	18,2	17,4	16,9	16,2	18,3	19,2	20,2	22,5	19,7

Tabela 2. Variação da umidade relativa média mensal na cidade de São Paulo ao longo dos anos. Dados de 1933 a 2014 medidos pela Estação Meteorológica do IAG/USP-Parque de Ciência e Tecnologia da USP. Elaboração da autora.

	Umidade relativa (%): médias mensais												MÉDIA
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1933	82,0	86,4	88,7	85,9	85,2	83,1	80,0	83,7	85,0	84,3	87,0	87,3	84,9
1934	83,3	83,4	87,9	81,3	82,0	84,6	85,5	79,9	86,3	82,0	85,4	87,0	85,0
1935	83,1	88,1	86,7	88,8	88,2	86,8	84,2	84,4	86,2	88,7	87,2	87,0	86,6
1936	87,1	84,3	85,9	87,8	87,4	83,8	85,3	75,8	85,4	80			

Tabela 3. Dados climatológicos da cidade de São Paulo: Normais Climatológicas de 1981-2010. Fonte: INMET, 2018.

Cidade: São Paulo, SP													
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
Temp. Média Comp. (°C)	22,9	23,2	22,4	21	18,2	17,1	16,7	17,7	18,5	20	21,2	22,1	20,1
Temp. Máxima (°C)	28,2	28,8	28	26,2	23,3	22,6	22,4	24,1	24,4	25,9	26,9	27,6	25,7
Temp. Mínima (°C)	19,3	19,5	18,8	17,4	14,5	13	12,3	13,1	14,4	16	17,3	18,3	16,2
Temp. Máx. Absoluta (°C)	37	34,7	34,1	33,4	31,7	28,8	30,2	32,6	35,3	35,7	35,3	35,6	37
Temp. Mín. Absoluta (°C)	14,4	14,7	12,4	8,3	5,4	1,2	0,8	3,4	5,7	9	10,8	12,8	0,8
Precipitação Total (mm)	288,2	246,2	214,5	82,1	78,1	50,3	47,8	36	84,8	126,6	137	224,4	1616
Precip. Máx. em 24h (mm)	106,4	103,3	106,2	77,9	140,4	74	49,7	45,9	78,1	72,7	91,1	151,8	151,8
Evaporação Total (mm)	112,7	102	104,7	102,8	97,9	97,3	107,6	123,1	119,8	118,4	123,9	118,6	1329
Umidade Relativa (%)	77,2	76	77,1	75,3	75,6	73,2	71,6	69,4	72,5	74,3	73,6	75,5	74,3
Insolação Total (horas)	139,1	153,5	161,6	169,3	167,6	160	169	173,1	144,5	157,9	152,8	145,1	1894
Nebulosidade hor. (0-10)	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8

Estudos recentes alertam também para o aumento da frequência de eventos extremos na cidade como ondas de calor (BATISTA *et al*, 2016; NOBRE *et al*, 2010; MARENGO, 2006). Houve eventos de onda de calor observados nos meses de janeiro e fevereiro dos anos de 2014 e 2015, sendo que a máxima absoluta registrada 37,2°C ocorreu em outubro de 2014 (IAG/USP, 2017). Em 2016, exceto pelo mês de junho, todos os outros meses apresentaram médias mensais maiores que as Normais (de 1933-1960 e 1961-1990). Em 2016 houve 100 dias com temperaturas maiores que 30°C (a média é de 49 dias), enquanto em 2015 foram 86 dias e em 2014, 109 dias; sendo este último o ano mais quente desde 1933. Sobre a temperatura mínima, em 2017, os valores médios para todos os meses foram acima da média climatológica (1933-2016) (IAG/USP, 2017). A este cenário soma-se a incerteza quanto ao abastecimento de água e energia (ORSINI, 2015).

Tendo em vista o aumento verificado das médias de temperatura, o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) lançou em 2018 a atualização das Normas Climatológicas que englobam dados medidos entre os anos 1981 e 2010 (Tabela 3). Para a cidade de São Paulo, baseia-se nos dados medidos na estação Mirante de Santana e indicam uma temperatura média de 20,1°C e temperaturas médias mínima e máxima de 16,2°C e 25,7°C. Para o período anteriormente considerado para as Normas Climatológicas (1961-1990) as temperaturas média, média das mínimas e média das máximas registradas eram respectivamente 19,3°C, 15,5°C a 24,9°C, de modo que se verifica um aumento em todas elas no período mais recente.

Como grande metrópole que é e com a grande alteração de uso e ocupação do solo imposta na área, é fato que ocorre ilha de calor na cidade de São Paulo. Há esforços recentes para se descrever as características do fenômeno. Um estudo pioneiro foi realizado por Lombardo (1985) utilizando imagens termais e medições de temperatura e umidade relativa do

ar para confirmar a influência das alterações urbanas de uso da terra nas alterações de temperaturas em escala local. Estudos mais recentes consideram também a importância da vegetação urbana e materialidade das construções para a intensidade da ilha de calor urbana (BARROS; LOMBARDO, 2016). Estudos meteorológicos recentes Freitas *et al.* (2007), através de estudos utilizando modelagem computacional, relatam gradientes de temperatura entre a área urbana de São Paulo e as áreas rurais até superiores a 10°C no período de inverno, sendo os maiores gradientes térmicos verificados entre 15h e 21h. FERREIRA *et al.*, 2013 e FERREIRA *et al.*, 2012 incluem variáveis como fluxo de calor sensível e latente, balanço da radiação e armazenamento do fluxo de energia para a compreensão da interferência dos processos físicos na variação diurna e sazonal da ilha de calor urbana. Oliveira *et al.* (2018) investigaram a ilha de calor urbana utilizando-se de três estações micrometeorológicas na Região Metropolitana de São Paulo, com diferentes características de urbanização, incluindo uma na área rural, no período de 2013 a 2017. Indicaram que a maior intensidade da ilha de calor ocorre no período noturno, é da ordem de 6°C a 8°C e ocorre nos meses mais frios e secos (maio a agosto). Ribeiro *et al.* (2018) também encontraram maiores evidências da ilha de calor urbana no período noturno e apontam que a ICU é influenciada pela brisa marítima.

4 Material e método

No presente capítulo são expostos os caminhos percorridos para os estudos desenvolvidos neste trabalho. Inicia-se pela leitura interpretativa de dados climáticos medidos na cidade de São Paulo visando à compreensão do efeito da ilha de calor na cidade e seu acoplamento a arquivos climáticos, objetivando à simulação computacional. Para a realização deste trabalho de acoplamento optou-se pela adoção do método desenvolvido por Crawley (2018): o *Urban Weather Generator* (UWG) não foi selecionado devido à demanda apresentada pelo método relacionada à caracterização do ambiente urbano de maneira uniforme, especialmente a de *canyons urbanos*; portanto, dada a diversidade e complexidade da malha urbana da cidade de São Paulo e tendo-se em vista o resultado da comparação dos dados medidos com o método Crawley (2018), optou-se pela utilização de Crawley (2018).

Os itens seguintes abordam as simulações computacionais, subdivididas e 1ª e 2ª fase.

4.1 A ilha de calor urbana na cidade de São Paulo e o acoplamento do efeito em arquivos climáticos

Procurando melhor compreensão do fenômeno da ilha de calor urbana (ICU) na cidade de São Paulo e o acoplamento desse efeito com as mudanças climáticas globais, para fins de análise de desempenho térmico em edifícios, partiu-se de dados de medições de temperatura do ar com estações meteorológicas de referência e temporárias e comparou-se os resultados obtidos com o modelo para cálculo da inclusão do efeito em arquivos climáticos propostos por Crawley (2018).

Em seguida, procedeu-se à inclusão do efeito da ilha de calor urbana. Dentre os métodos encontrados, abordados no capítulo 3, optou-se pela aplicação do modelo proposto por Crawley (2008) pela aplicabilidade e pela pertinência observadas para o contexto da cidade de São Paulo, porém com adaptações às condicionantes locais, ou seja, com a intensidade da ICU encontrada através de dados medidos (GUSSON, DUARTE, 2018) apresentados no item 4.1.1 deste capítulo. Em seguida se deu o acoplamento de ambos os efeitos de aquecimento em arquivos climáticos de cenários futuros previamente elaborados (ALVES, 2014; ALVES et al. 2014a; 2014b; 2015a; 2015b e 2016).

Segundo Oke *et al.* (2017), sabe-se que o aumento das temperaturas globais ampliará o efeito da ilha de calor urbana. Não se sabe, porém, se a intensidade permanecerá a mesma. Dada a falta de estudos climatológicos sobre o acoplamento dos efeitos da ilha de calor urbana em cenários futuros, neste trabalho, em caráter experimental e como reflexão sobre o cenário futuro, incluído o contexto urbanizado, propôs-se a adoção do mesmo critério de inclusão da ilha de calor urbana nos cenários climáticos representativos de diferentes períodos.

4.1.1 Dados medidos de temperatura do ar

Procurando compreender um pouco mais os padrões de temperatura do ar na cidade de São Paulo, bem como os dados de variação entre as temperaturas urbanas e em áreas menos urbanizadas, foram utilizados dados de medições pontuais realizadas em uma área densamente urbanizada na cidade de São Paulo (GUSSON, DUARTE, 2018)¹⁶, e de estações meteorológicas suburbanas fixas na cidade.

As medições pontuais foram realizadas com estações meteorológicas Campbell Scientific com os seguintes sensores:

- Termohigrômetro Campbell Scientific, modelo HMP45C-L.
 - Precisão das medições de temperatura do ar: $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ (a 20°C); $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ (a 60°C) e $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$ (a -40°C). Precisão das medições de umidade relativa do ar: 0 a 90%: $\pm 2\%$ e de 90% a 100%: $\pm 3\%$;
- Anemômetro ultrassônico 2D Gill Instruments; modelo WindSonic1
 - Precisão das medições de velocidade e direção do ar: direção $\pm 3^{\circ}$. Velocidade: $\pm 2\%$ @ 12m/s.
- Piranômetro Kipp and Zonen modelo CMP3-L.
 - Precisão das medições: acuidade esperada para somas diárias = $\pm 10\%$; acuidade típica: $\pm 5\%$.



Figura 57. Vista aérea da localização das estações meteorológicas temporárias Paulista e Bela Vista.

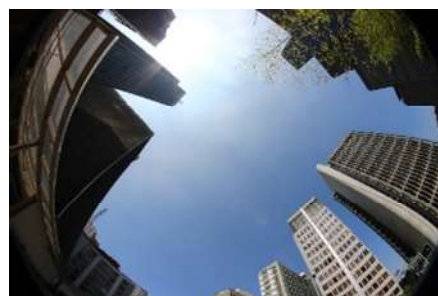


Figura 2. Imagem de visão de céu da estação Paulista.



Figura 3. Imagem de visão de céu da estação Bela Vista.

As medições ocorreram em 2 pontos situados na área externa de edifícios na Avenida Paulista e no Bairro Bela Vista (Figura 57, Figura 58 e Figura 59). O distrito da Bela Vista apresenta

¹⁶ Os dados medidos apresentados aqui foram levantados em abril de 2016, pela estudante de doutorado Carolina dos Santos Gusson, cuja pesquisa estuda o impacto da densidade construída sobre o microclima urbano. O trabalho citado assim como a presente tese de doutorado foram desenvolvidos no Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética da FAU/USP.

o maior adensamento populacional do município de São Paulo e ocupa a terceira posição em adensamento construído, além de apresentar a tipologia de edifício vertical mais presente na cidade de São Paulo, que é a torre descolada das bordas do lote (GUSSON *et al.*, 2012). As medições foram realizadas no mês de abril de 2016. Trata-se de um período interessante como estudo de caso pois, de acordo com dados da estação meteorológica do IAG/USP, foi o mês de abril mais quente já medido, cuja temperatura média foi 22,6°C. A temperatura média para o mês de abril, desde que se iniciaram as medições na Estação IAG/USP (de 1933 a 2018) foi 19,2°C (Tabela 1), portanto, a temperatura média de abril de 2016 foi 3,4°C acima da média do mês. Observou-se ainda neste mês 3 semanas de bloqueio frontal, com padrões de temperatura semelhante entre os dias, amplitudes térmicas diárias em torno de 10°C, sem precipitação ou ventos fortes (GONÇALVES, 2018).

Foram utilizados também dados de estações meteorológicas fixas pré-existentes, aqui chamadas de estações de referência:

- Estação Meteorológica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP (IAG/USP). Localizada no Parque de Ciência e Tecnologia da USP, na Avenida Miguel Stéfano, 4200, Água Funda, zona sul de São Paulo. Coordenadas Geográficas: 23,65°S / 46,62°W. Altitude: 800m. Número na WMO: 83.004 (Figura 60 e Figura 61).
 - Sensor de medição de temperatura do ar e umidade relativa Aspiration Psychrometer 32, Assmann Type. Precisão nos registros de umidade relativa do ar: ±1%; de Temperatura do ar: ±0,1°C.
- Estação Mirante de Santana do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Localizada na Praça Vaz Guaçu, Jardim São Paulo, zona Norte de São Paulo. Número na WMO: 86.910 (Figura 62 e Figura 63).
 - Sensor de temperatura do ar QMT 103. Precisão: acima de +0,08 a 0°C; Sensor de umidade relativa do ar QMH 101/102.
- Estação SBSP, no aeroporto de Congonhas, da Rede Metar, com dados obtidos para uso exclusivo em pesquisa junto ao Laboratório Master¹⁷ do IAG/USP. O aeroporto de Congonhas se localiza na Av. Washington Luiz, zona sul da capital paulista (Figura 64).
 - Estação Vaisala SH95. Precisão das medições de Temperatura do ar: ±0,1°C.

A localização das estações temporárias e de referência pode ser observada na Figura 65.

As estações de referência localizam-se dentro na malha urbana da cidade, mas fora do centro expandido. A estação do INMET (Mirante de Santana), situa-se em uma praça, na zona norte da cidade; a do aeroporto de Congonhas, na zona sul da cidade; e a estação do IAG/USP, por localizar-se em um parque de grandes dimensões, o Parque da Água Funda na zona sul da cidade, está menos sujeita às interferências urbanas. O efeito da localização reflete-se nos valores de temperatura e umidade relativa do ar registrados, sendo que as estações INMET e Congonhas apresentam um padrão semelhante entre si, enquanto a estação IAG/USP destaca-se pelas maiores amplitudes diárias de temperatura do ar, principalmente devido às temperaturas mínimas mais baixas do que aquelas verificadas nas demais estações.

As medições realizadas na malha urbana adensada (Paulista e Bela Vista) apresentam temperaturas com amplitudes diárias menores do que as observadas nas estações meteorológicas e destacam-se, principalmente, as temperaturas mínimas mais elevadas. Ambas

¹⁷ Meteorologia aplicada a sistemas de tempo regionais. Disponível em: <http://www.master.iag.usp.br/>
Acesso em: 01 fev. 2017.

registraram temperaturas do ar variando de 17°C a mais de 30°C ao longo de todo o período de medição.



Figura 60. Estação IAG/USP, no Parque da Água Funda. Fonte: Página no Facebook da Estação Meteorológica do IAG/USP (ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO IAG-USP, 2012).

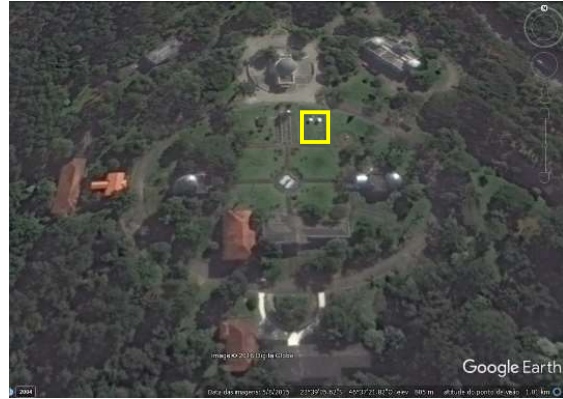


Figura 61. Imagem aérea da Estação IAG/USP, no Parque da Água Funda. Fonte: elaborado sobre imagem do Google Earth (GOOGLE, 2013).



Figura 62. Estação Mirante de Santana, vista do observador. Fonte: Google Earth (GOOGLE, 2013).



Figura 63. Imagem aérea da Estação Mirante de Santana. Fonte: elaborado sobre imagem do Google Earth (GOOGLE, 2013).



Figura 64. Imagem aérea do Aeroporto de Congonhas. Fonte: Google Earth (GOOGLE, 2013).

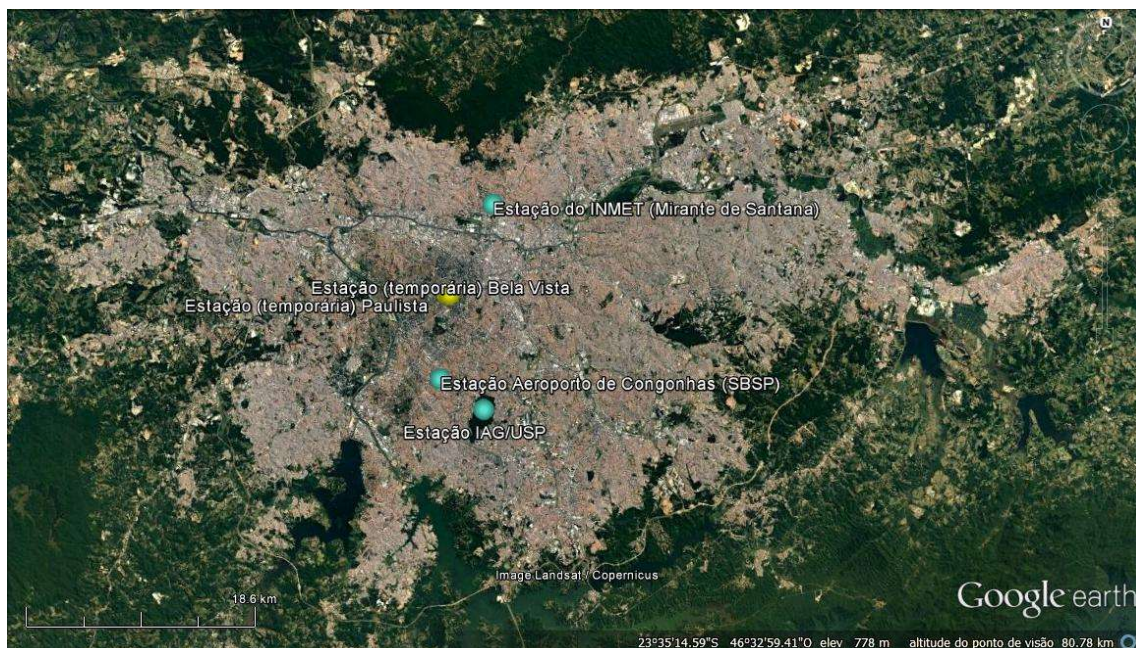


Figura 65. Mancha urbana de parte da RMSP, com a localização das estações de medição: na área central adensada e estações meteorológicas fixas existentes. Fonte: elaborado sobre imagem do Google Earth (GOOGLE, 2013).

Se interpretarmos a densidade urbana do sítio de implantação das estações meteorológicas de referência aqui utilizadas, podemos entender que há um aumento do adensamento urbano que vai do menos adensado, estação do IAG/USP, para uma situação intermediária (estações Mirante de Santana, INMET; e do aeroporto de Congonhas) e situação mais adensada (Paulista e Bela Vista). Portanto, quanto maior a densidade urbana, menores as amplitudes diárias de temperatura e maiores as temperaturas mínimas verificadas (Figura 67).

O período de medição considerado neste estudo foi de 6 a 26 de abril de 2016 (Figura 66). Para melhor visualização, os dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar medidas em 4 dias do período total de medição (7 a 10 de abril de 2016) estão representadas nos gráficos da Figura 67. Observa-se que as medições realizadas nas estações Paulista e Bela Vista são bastante coincidentes entre si, com pequena variação entre os valores de temperatura do ar registrados, sendo que as medições realizadas na Paulista apresentam valores de temperatura do ar com picos um pouco mais elevados que as medições da Bela Vista (Figura 67a). Os maiores valores de temperatura do ar na estação Paulista que na Bela Vista podem ser atribuídos à maior insolação, consequência do maior fator de visão de céu (0,4 na Paulista e 0,2 na Bela Vista), como se pode verificar na Figura 93. Para representar, então, as temperaturas da região densamente urbanizada da capital paulista, passou-se a utilizar os dados médios de temperaturas registradas em ambos os pontos (Tabela 4).

Tabela 4. Média dos dados de temperatura medidos nos edifícios Bela Vista e Paulista (região densamente urbanizada da cidade de São Paulo) entre os dias 6 e 26 de abril / 2016.

Temperaturas médias : 6 a 26 de abril de 2016		
	Bela Vista	Paulista
média	25,5	25,6
média das máximas	29,8	30,2
média das mínimas	21,9	21,9

Para visualização do efeito de ilha de calor na cidade e, principalmente, a relação entre as temperaturas registradas nas estações temporárias na região mais adensada da cidade de

São Paulo e as estações meteorológicas de referência, foram calculadas as diferenças de temperatura entre elas (ΔT) (Figura 67b).

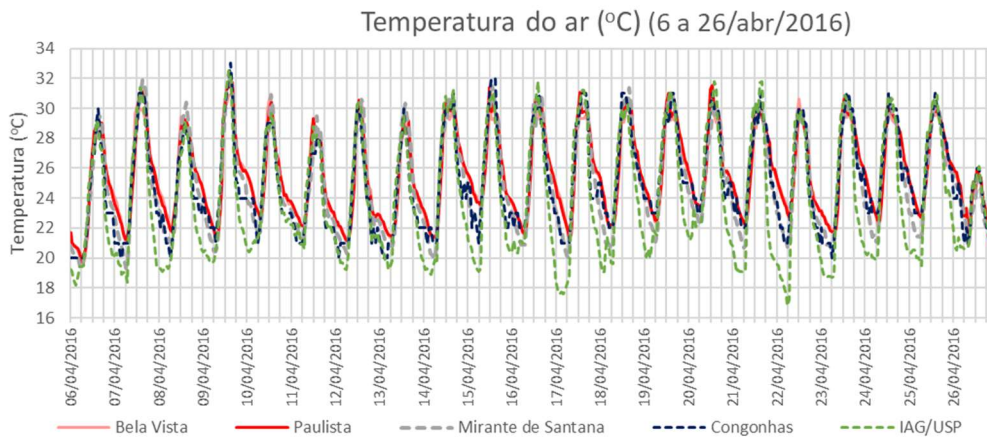


Figura 66. Representação da temperatura do ar em todo o período de medição para o estudo da ilha de calor de São Paulo: 6 a 26 de abril de 2016.

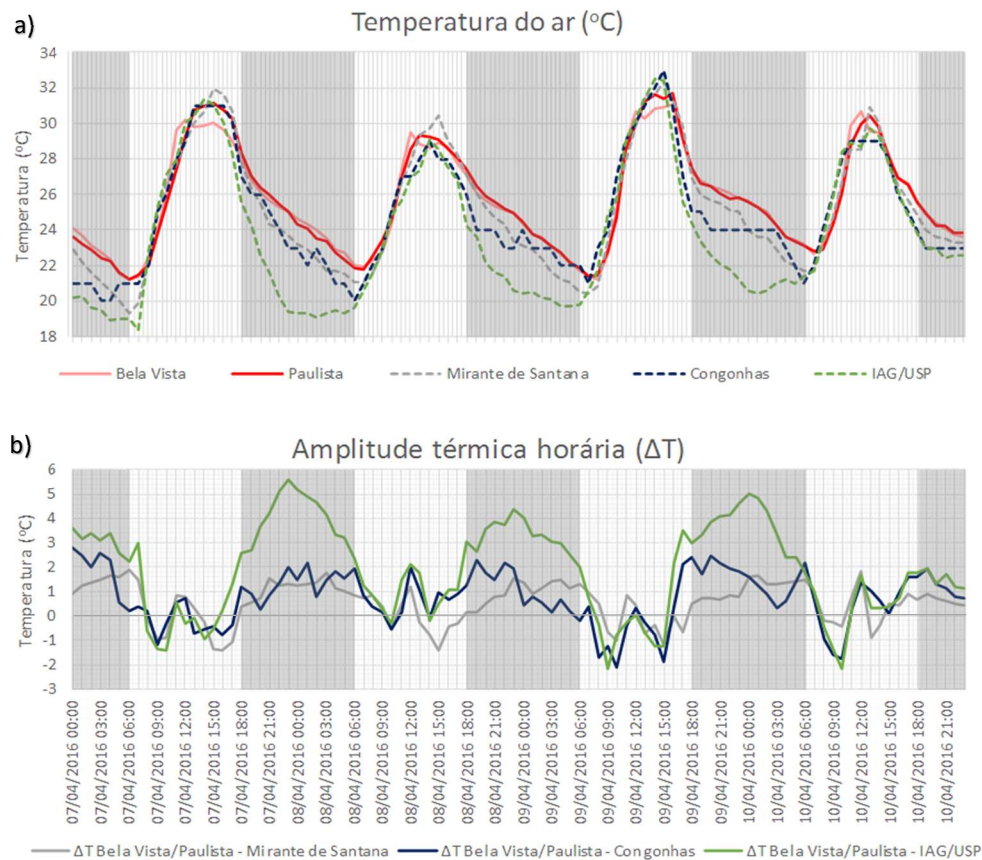


Figura 67. Período de 7 a 10 de abril/2016. a) temperatura do ar medida pelas estações meteorológicas, sendo duas delas pontuais, localizadas na malha urbana adensada (Paulista e Bela Vista) e as outras três, fixas, (Mirante de Santana, Congonhas e IAG/USP), localizadas onde a malha urbana é menos densa. b) Diferença de temperatura (ΔT) entre as das estações meteorológicas da malha urbana adensada (temperatura média das estações Paulista e Bela Vista) e cada uma das demais estações levantadas.

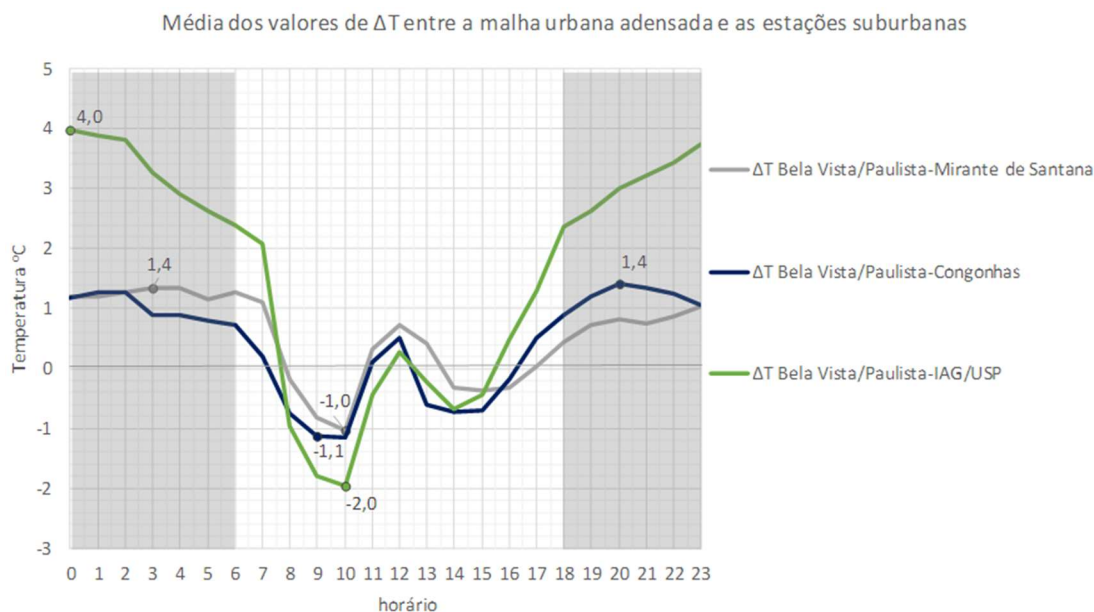


Figura 68. Média dos valores de ΔT entre a malha urbana adensada e as demais estações em cada horário do período de medições (de 06 a 26 de abril de 2016).

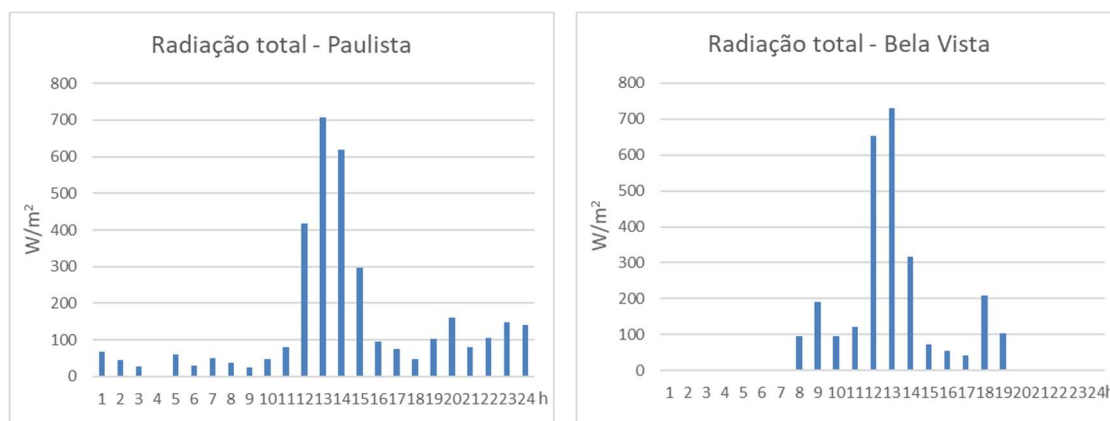


Figura 69. Radiação total média dos dias de medição registrada nas estações temporárias Paulista e Bela Vista

Como resultado desta relação, observa-se um padrão diário em que a ΔT entre os pontos mais adensados da malha urbana (Bela Vista/Paulista) e as estações de referência, suburbanas (Mirante de Santana, Congonhas e IAG/USP) é maior no período noturno, quando a diferença de temperatura entre a malha urbana adensada e os locais mais afastados alcança seus valores máximos. É bastante claro que a ΔT envolvendo a estação IAG/USP apresenta valores consideravelmente maiores do que aqueles referentes às demais estações no período noturno. Nota-se ainda que a ΔT envolvendo a estação Congonhas tende a apresentar seu pico nas primeiras horas do período noturno, por volta das 20h, enquanto o pico com relação à estação Mirante de Santana ocorre, geralmente, de madrugada, por volta das 3h. Quanto à estação do IAG/USP, pode-se dizer que ocorre uma defasagem mais longa durante todo o período noturno, que vai das 18h às 6h.

No meio da manhã e no meio da tarde, ΔT atinge valores negativos ou tendendo a zero, ou seja, o meio urbano mais adensado tende a apresentar temperaturas mais baixas que as das demais estações meteorológicas, o que é mais acentuado para o período da manhã do que para o período da tarde. Por volta do meio dia, em contraste com as horas da manhã e da tarde, há

mais um pico (ainda que bem menor do que o da noite), em que as temperaturas registradas na malha urbana adensada voltam a apresentar temperaturas um pouco mais altas que as das localidades mais afastadas, em contraste com o que ocorre nos meios dos períodos da manhã e da tarde. Entende-se que este fenômeno ocorre devido à incidência solar direta na estação, o que não ocorre na maior parte do dia devido ao sombreamento ocasionado pelos edifícios altos ao redor (Figura 69).

Quanto aos valores de ΔT , o máximo encontrado foi $6,5^{\circ}\text{C}$ e o menor $-3,6^{\circ}\text{C}$, ambos entre a malha urbana adensada e a estação IAG/USP. Da diferença entre a malha urbana adensada e a estação Mirante de Santana, os valores máximo e mínimo encontrados foram, respectivamente, $2,8^{\circ}\text{C}$ e $-2,0^{\circ}\text{C}$ e, com relação à estação Congonhas, $4,1^{\circ}\text{C}$ e $-3,0^{\circ}\text{C}$.

Os valores médios horários de variação com relação à malha urbana adensada encontrados com relação a cada estação estão representados no gráfico da Figura 68 e, a máxima e mínima variação de temperatura, ΔT , encontrada para cada estação e seu horário de ocorrência são, respectivamente, para Mirante de Santana: $1,4^{\circ}\text{C}$ às 3h e $-1,0^{\circ}\text{C}$ às 10h; para Congonhas: $1,4^{\circ}\text{C}$ às 20h e $-1,1^{\circ}\text{C}$ às 9 e 10h; e para IAG/USP: $4,0^{\circ}\text{C}$ às 0h e $-2,0^{\circ}\text{C}$ às 10h.

A Figura 69 mostra a radiação solar incidente em ambas as estações temporárias (Paulista e Bela Vista), com picos muito bem marcados próximos às 12h e abrupta redução desta incidência nos horários por volta de 11h e 15/16h, principalmente devido ao sombreamento ocasionado pelo entorno. Essa incidência solar se reflete na temperatura do ar nessas estações, com seu aumento relativo às estações suburbanas. Pode-se observar ainda o registro de radiação, mesmo no período noturno, o que ocorre principalmente devido às fontes de iluminação artificial urbanas.

4.1.2 O acoplamento dos fenômenos de aquecimento urbano e global para a produção de arquivos climáticos

Crawley (2008) sugere dois valores máximos de ΔDB : 1°C (para cidades com menos de 10 milhões de habitantes) e 5°C (para cidades com mais de 10 milhões de habitantes). Conforme abordado no capítulo 3, São Paulo é uma cidade de 11 milhões de habitantes, inserida em uma região metropolitana de 23 milhões de habitantes, então, de acordo com Crawley (2008), o valor empregado deveria ser de 5°C . Porém, como se verificou, para a cidade de São Paulo, há arquivos climáticos baseados em dados originados em estações meteorológicas suburbanas, a do INMET/Mirante de Santana e a do aeroporto de Congonhas. Assim, ainda que a intensidade da ilha de calor pareça razoável, se comparada com os resultados obtidos para a estação IAG/USP, para as outras estações, o valor é superestimado.

Por outro lado, para a comparação dos coeficientes propostos por Crawley (2008) com a curva de diferença de temperatura entre cada uma das estações meteorológicas de referência, todas elas foram reduzidas a 1°C de intensidade máxima da ilha de calor: cada uma das diferenças médias de temperatura horária foi dividida pelo máximo valor de diferença média de temperatura com relação àquela estação de referência; finalmente, todos foram multiplicados por 1°C . Pode-se observar a similaridade entre a proposta de Crawley e os coeficientes das situações medidas, o que revela a pertinência do método para a ilha de calor de São Paulo (Figura 70). Então, levando-se em consideração os resultados obtidos para o período e considerando-se os arquivos climáticos existentes para a cidade, baseados em dados do aeroporto de Congonhas e a estação Mirante de Santana, entende-se que o ΔT mais adequado para a aplicação do método proposto por Crawley é de $1,4^{\circ}\text{C}$.

Deste modo, utilizando o equacionamento exposto no capítulo 3 (equações de 1 a 5), foram gerados arquivos climáticos com a incorporação do efeito da ilha de calor urbana usando o $\Delta DB = 1,4^{\circ}\text{C}$.

O arquivo climático base utilizado para a confecção de todos os arquivos climáticos foi originado do projeto “Solar and Wind Energy Resource Assessment” (SWERA) que, juntamente com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e o Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina (LABSOLAR/UFSC), disponibilizou arquivos climáticos TMY¹⁸ para 20 cidades brasileiras. Foi obtido na página eletrônica do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, LabEEE, da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC¹⁹, cujo ano base é 1984 e a fonte dos dados é a estação do aeroporto de Congonhas, em São Paulo. Deste arquivo climático, que neste trabalho será denominado “SWERA”, derivaram 4 outros, representativos de anos posteriores, desenvolvidos em estudo anterior (ALVES, 2014; ALVES *et al.* 2014a; 2014b; 2015a; 2015b e 2016): futuro próximo (2015-2044), futuro intermediário (2045-2074) e futuro distante (2076-2096).

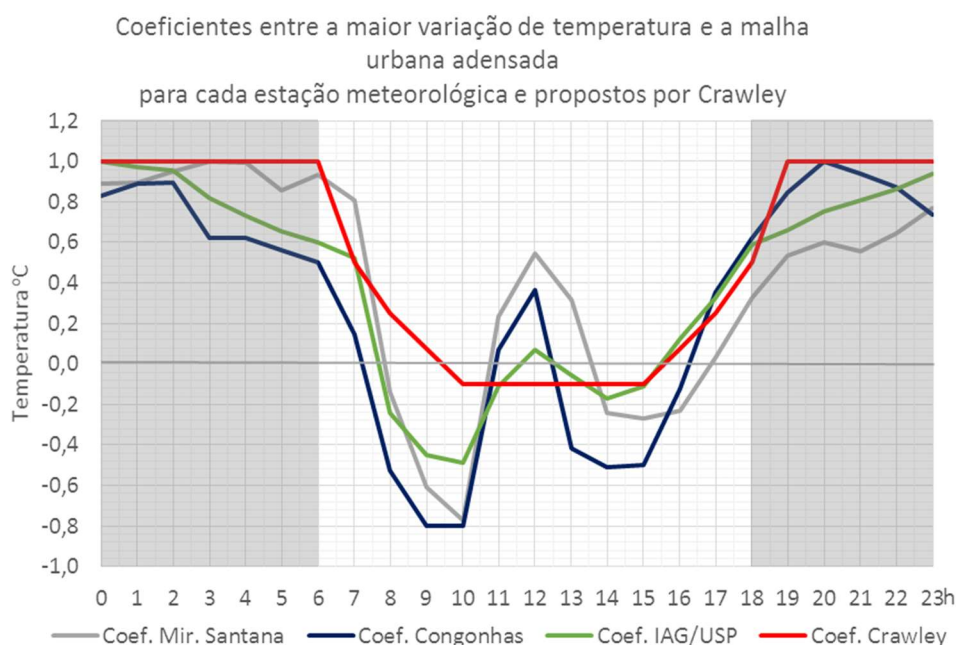


Figura 70. Coeficientes entre a maior variação de temperatura e a malha urbana adensada com relação a cada estação meteorológica para os dados medidos na cidade de São Paulo e propostos por Crawley.

Como a ilha de calor é, no cálculo, representada apenas pela alteração na temperatura do ar, os dados de umidade relativa do ar precisam ser recalculados baseados na umidade específica de cada horário.

Para a transformação dos dados de umidade relativa do ar em função das alterações nos dados de temperatura, baseou-se na relação de Clausius-Clapeyron. Esta descreve a relação entre a pressão de vapor de saturação em função da temperatura. Abaixo segue uma relação semi-empírica desta equação dada pela modelo de August-Roche-Magnus, que fornece uma

¹⁸ TMY, *Test Meteorological Year*, é uma compilação de meses sem extremos de temperatura, provenientes de diferentes anos, gerando um ano climático de um ano que nunca existiu, mas que apresenta temperaturas sem extremos para cada mês (LABEEE, 2005)

¹⁹ Este arquivo climático foi elaborado durante a pesquisa de mestrado da autora. Endereço eletrônico <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin>. Acesso em janeiro/2014.

aproximação muito boa da equação, usando a pressão em hPa e a temperatura em graus Celsius:

$$e_s(T) = 6,11 * \exp\left(\frac{17,6*T}{T+243}\right) \quad (6)$$

$e_s(T)$ = pressão de vapor de água na mistura de ar úmido (hPa)

T = Temperatura (em °C)

Através desta equação, estabelece-se uma relação entre a pressão de vapor da temperatura do arquivo climático original e aquela recalculada com o efeito previsto da ilha de calor. Por meio desta relação é possível encontrar um coeficiente multiplicador da umidade relativa do ar da temperatura do ar original, que resulta na umidade relativa à nova temperatura do ar.

$$UR \text{ recalculada} = UR \text{ original} \left(\frac{e(T \text{ original})}{e(T \text{ recalculada})} \right) \quad (7)$$

4.2 Simulações computacionais termodinâmicas

A simulação computacional de desempenho de edifícios é uma estratégia multidisciplinar, de amplo escopo e orientada em função das questões que se deseja explorar. Normalmente baseada em métodos numéricos que buscam proporcionar e aproximar soluções de um modelo que se assemelha à realidade, é uma das ferramentas mais poderosas para análise, existentes atualmente (amplamente utilizada em diversas áreas). É importante, porém ressaltar, que a simulação não fornece soluções ou respostas e que é uma atividade complexa para a qual é necessário bastante critério e atenção buscando resultados coerentes e de qualidade (HENSEN, LAMBERTS, 2011).

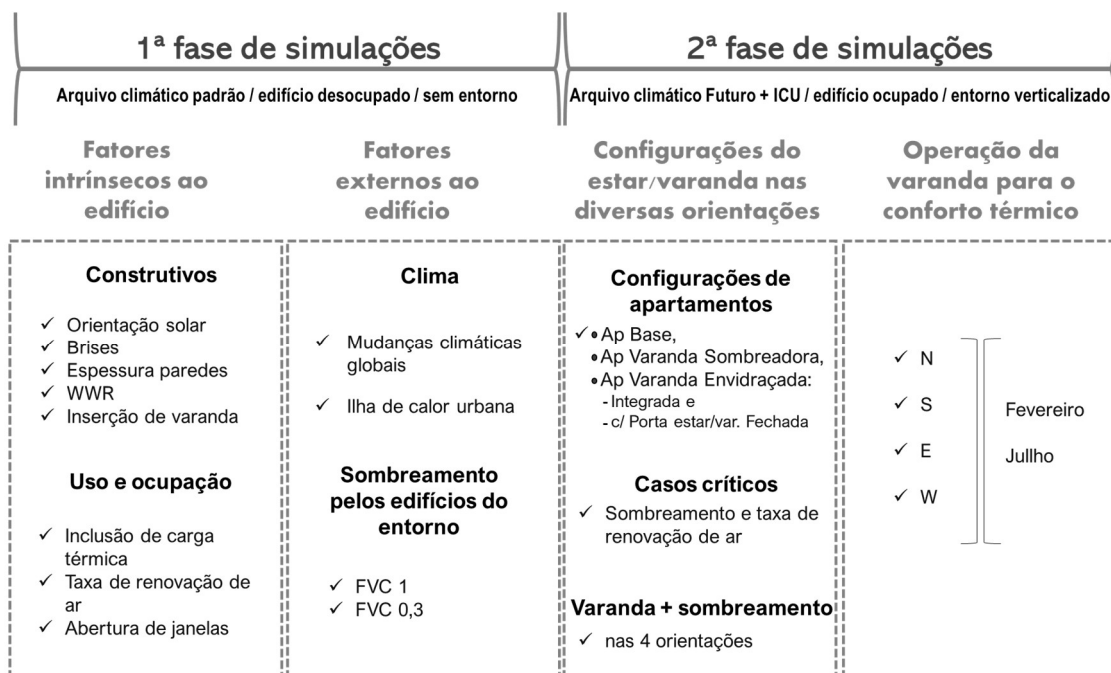


Figura 71. Fluxograma das simulações computacionais de desempenho térmico.

O modelo resultante é uma unidade residencial hipotética, denominada Apartamento Base (ou “Ap Base” como será referido neste trabalho) com 52 m² de área, composta por cozinha e área de serviço contíguas em formato de corredor, com ventilação única para ambas, diretamente ligadas ao ambiente conjugado de estar e jantar, dois dormitórios e um banheiro, com um pequeno espaço de circulação ligando estar/jantar, o banheiro e os dois dormitórios. O pé-direito proposto foi de 2,6m; são propostas 5 aberturas, sendo as do estar/jantar, da cozinha/área de serviço e de ambos os dormitórios com dimensões 1,20m x 1,20m (1,44m²) (Figura 73). Todas essas janelas são compostas por duas folhas de vidro, de correr, com possibilidade de abertura de até 50% do vão para ventilação. A janela do banheiro tem 0,60m x 0,60m (0,36m²), maxim-ar. A abertura do ambiente do estar/jantar está orientada na direção norte. Os elementos construtivos foram compostos por paredes de alvenaria de bloco de concreto com revestimento de argamassa clara, sendo as paredes internas com espessura de 12cm ($U=2,75W/m^2C$) e as externas com 16cm ($U=2,32W/m^2C$); laje de concreto, piso cerâmico; e janelas com caixilho em alumínio e vidro simples de 8mm.

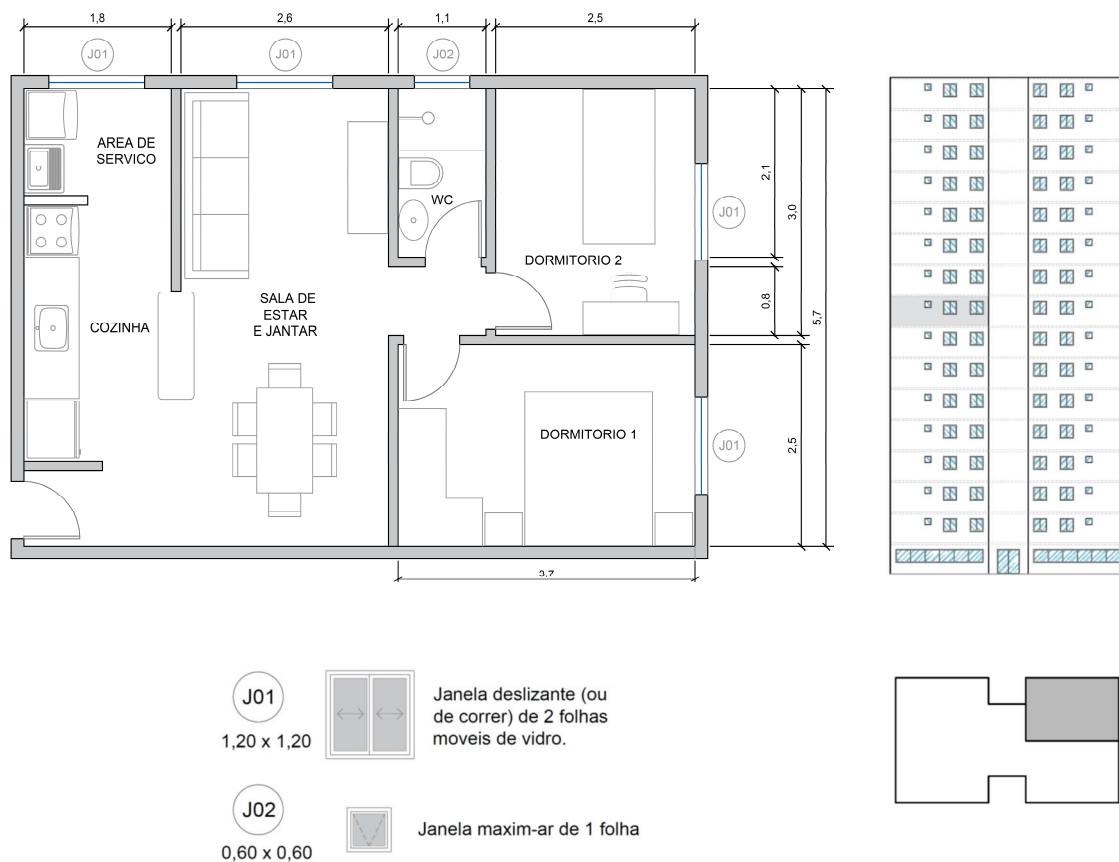


Figura 73. Apartamento Base. Esquerda superior: planta da unidade; direita superior: elevação do edifício com destaque para o 8º pavimento, onde se localiza o Ap Base estudado; esquerda inferior: descrição das janelas da unidade; direita inferior: planta esquemática do edifício com localização do apartamento estudado.

A unidade residencial descrita se insere em um edifício de apartamentos, com planta em “H”, sendo 4 apartamentos por pavimento, em um total de 15 pavimentos mais o pavimento térreo, sendo que a unidade estudada foi posicionada no 8º pavimento (posição intermediária entre os demais do edifício). A distância de piso a piso entre os pavimentos é de 2,75m, somando uma altura total do edifício de 44m.

As características termofísicas dos materiais empregados na simulação computacional encontram-se na Tabela 5 e a composição dos componentes construtivos na Tabela 6.

Este modelo de apartamento embasou a 1ª fase de simulações.

Tabela 5. Características termofísicas dos materiais empregados na simulação computacional termodinâmica.

Materiais opacos	Condutividade (W/m ² °C)	Calor específico (J/kg°C)	Densidade (kg/m ³)	Refletância solar	Emissividade
bloco de concreto	0,6	1063	1760	0,35	0,9
argamassa	0,65	754	1600	0,7	0,8
concreto	1,45	920	2200	0,35	0,9
madeira	0,138	2805	500	0,4	0,9
metal - alumínio	204	896	2700	0,5	0,216
piso cerâmico	0,46	837	900	0,7	0,9

Material transparente	Condutividade (W/m ² °C)	Transmitância solar	Refletância solar	Transmitância luminosa	Emissividade
vidro incolor	1	0,76	0,07	0,87	0,9

Tabela 6. Componentes construtivos.

componentes construtivos	materiais					espessura total (mm)
	material					
Janelas - moldura	material	alumínio				
	espessura (mm)	1,5				1,5
Janelas - painel	material	vidro incolor				
	espessura (mm)	8				8
Parede externa	material	argamassa clara	bloco de concreto	argamassa clara		
	espessura (mm)	20	110	30		160
Parede interna	material	argamassa clara	bloco de concreto	argamassa clara		
	espessura (mm)	20	80	20		120
Piso cerâmica/laje	material	cerâmica	argamassa	concreto	pintura clara	
	espessura (mm)	10	30	69	1	110
Porta - moldura	material	madeira				
	espessura (mm)	10				10
Porta - painel	material	madeira				
	espessura (mm)	35				35

Sobre esta unidade hipotética foram realizadas variações para fins de comparação dos resultados relacionados ao conforto térmico. A principal delas, sobre a qual a 2ª fase de simulações se apoia, se refere à inclusão de uma varanda (área 5,2m²), sem alteração da área total da unidade. Para esta inclusão o ambiente do estar/jantar foi recuado como pode ser observado na Figura 74. Este tipo de varanda, que se dá como um recorte da sala, sem que haja projeção para fora dos limites da vedação do bloco construído, tem sido amplamente adotada nos lançamentos imobiliários, incluindo o período de recorte deste trabalho, conforme capítulo 2. À exceção da porta da varanda (porta de correr com duas folhas de vidro com 1,60 m x 2,10m, 3,36m²) as caixilharias e a planta de localização da unidade no edifício são idênticos ao do Ap Base (Figura 73).

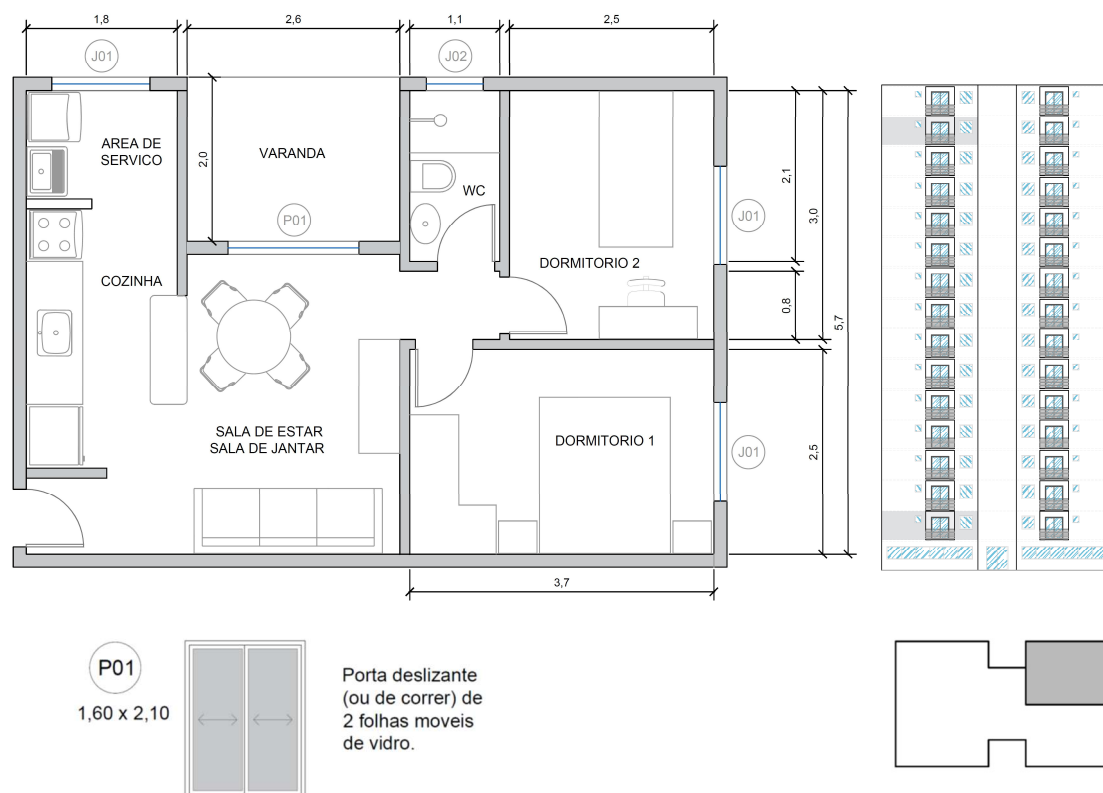


Figura 74. Apartamento Varanda. Esquerda: planta da unidade; direita: elevação do edifício com destaque para os 1º e 14º pavimentos, principais unidades estudadas; esquerda inferior: descrição da porta entre a varanda e o estar; direita inferior: planta esquemática do edifício com localização do apartamento estudado.

Para a leitura e representação dos resultados das simulações foram gerados gráficos e tabelas. A principal variável utilizada nas análises é a temperatura operativa (TO). A TO é definida, de acordo com a norma ISO 7726, como a temperatura uniforme de um recinto em que um ocupante trocaria a mesma quantidade de calor por radiação mais convecção que no ambiente real, não uniforme. O seu cálculo, utilizando os dados de temperatura do ar (Tar) e temperatura radiante média (TRM) segue o equacionamento a seguir (ISO, 1998):

$$T_o = A * T_{ar} + (1 - A)TRM \quad (8)$$

Tar = temperatura do ar

TRM = temperatura radiante média

O valor de A é encontrado em função da velocidade do ar (Var), em metros por segundo (m/s) (Tabela 7):

Tabela 7. Valor de A em função da Var. (ISO, 1998)

Var	<0,2	0,2 a 0,6	0,6 a 1,0
A	0,5	0,6	0,7

Como frequentemente, em ambientes internos, a velocidade do ar é bastante baixa, com $Var < 0,2$, ou a diferença entre Tar e TRM é pequena ($< 0,4^\circ\text{C}$), a TO pode ser calculada com boa aproximação como a média entre Tar e TRM.

Para a avaliação da condição de conforto utilizou-se o modelo de conforto adaptativo da norma ASHRAE 55 (2017): *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. O modelo de conforto adaptativo foi adotado desde a versão de 2004 (ASHRAE, 2004; 2010; 2013;

2017) da norma e propõe a utilização do gráfico da Figura 75. Este modelo se aplica a ambientes sem sistemas de ventilação mecânica, taxa metabólica dos ocupantes entre 1,0 e 1,3 met (semi sedentário), possibilidade de adaptação da vestimenta pelos usuários (de 0,5 a 1,0 clo) e faixa de temperatura externa média determinante aceitável (*prevailing mean outdoor temperature*) entre 10°C e 33,5°C. O gráfico determina limites de temperatura operativa aceitável ou não, dentro dos parâmetros de expectativa de haver, nas condições encontradas, 80% ou 90% de usuários satisfeitos, sendo que 80% é recomendado para a maior parte dos casos e 90% para aqueles em que se deseja um padrão mais alto de conforto térmico. A determinação da faixa de temperaturas limites para a condição de 80% dos usuários em conforto podem ser definidas através das equações que seguem, sendo T_n a temperatura operativa interna neutra, $T_{pma(out)}$ a temperatura externa média determinante aceitável e a T_{op} a temperatura operativa interna (todas em °C):

$$T_n = 0,31 T_{pma(out)} \quad (9)$$

$$(T_n - 3,5) \leq T_{op} \leq (T_n + 3,5) \quad (10)$$

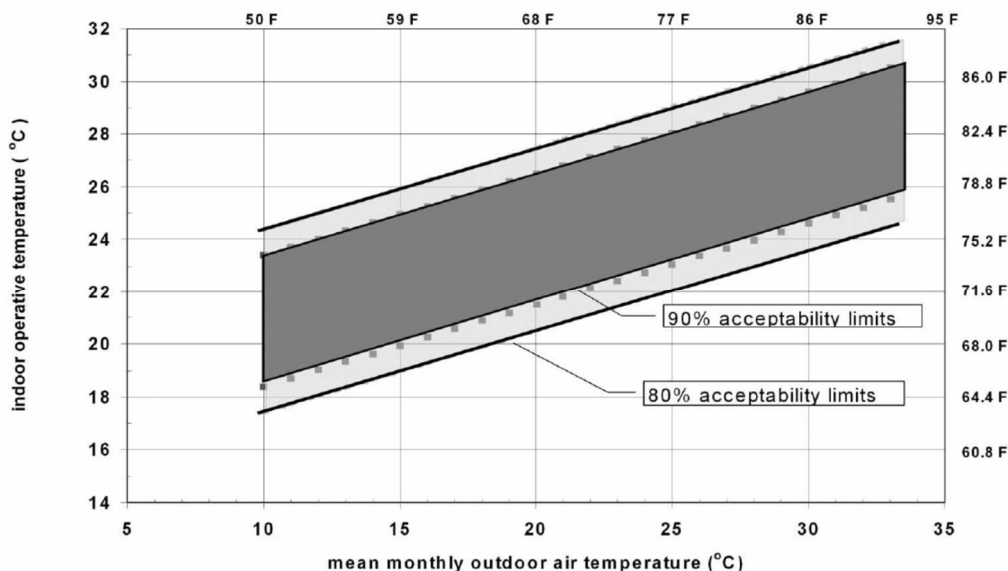


Figura 75. Modelo adaptativo da norma norte-americana ASHRAE 55 (2013). Fonte: ASHRAE, 2017.

O modelo adaptativo da norma ASHRAE tem limitações de aplicabilidade neste trabalho, por se tratar de um modelo desenvolvido para escritórios e a partir de dados de diversas partes do mundo. Conforme abordado no capítulo 3, há outros índices de conforto adaptativo, a exemplo daquele aplicado na norma europeia EN 15251: 2007 (*Indoor Environmental Input Parameter for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics*) e o índice de conforto adaptativo mais recentemente elaborado por De Dear e equipe (DE DEAR *et al.*, 2018). O primeiro, da norma europeia, tem a peculiaridade de ser baseado em climas tipicamente europeus, em geral com temperaturas mais baixas que as brasileiras. O segundo, por sua vez, é um índice de conforto adaptativo desenvolvido, pela primeira vez, baseado especificamente em usos residenciais; sua base de dados, porém, se restringe a cidades da Austrália e em unidades habitacionais que operam em modo misto (hora naturalmente ventilado, hora com resfriamento por ar-condicionado). Dentre as possibilidades e restrições existentes no que diz respeito a índices de conforto entende-se, portanto, o da norma ASHRAE 55 como é um bom indicativo do desempenho e da condição de conforto de determinado ambiente avaliado e optou-se por adotá-lo, utilizando o limiar de 80% de usuários satisfeitos.

Foi realizada uma seleção de meses e dias representativos de períodos quente e frio com o objetivo de se escolher aqueles que fossem mais representativos para a leitura e análise

dos resultados. Para isso, foi feito um breve estudo como pode ser observado a seguir na Tabela 8 e nos gráficos das Figura 76, Figura 77, Figura 78 e Figura 79. Por apresentarem temperaturas mais baixas ou altas e linhas de tendência mais estáveis em comparação com os demais meses, os selecionados foram, respectivamente, os meses de fevereiro e julho. Além dos meses representativos, foram escolhidos 3 dias consecutivos mais estáveis, dentro dos referidos meses, para posterior plotagem e visualização dos dados resultantes das simulações. Os dias selecionados foram 9 a 11 de fevereiro e 17 a 19 de julho (Figura 78 e Figura 79).

Tabela 8. Leitura dos dados de Temperatura do ar °C mensais do arquivo climático SWERA.

Temperaturas	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Média	22,8	22,7	22,5	20,4	18,0	16,2	16,0	17,6	17,6	18,9	20,0	21,9
Máxima	34,0	35,0	32,0	31,8	29,5	26,0	27,0	31,0	32,0	33,0	32,0	31,0
Mínima	14,0	16,0	16,0	13,6	11,5	7,0	8,0	5,0	10,0	12,0	14,0	14,0
Moda	21,0	21,0	20,0	20,0	16,0	15,0	15,0	13,0	17,0	19,0	18,0	20,0
Mediana	22,0	22,0	22,0	20,0	17,0	16,0	15,9	17,0	17,0	18,0	19,0	21,8

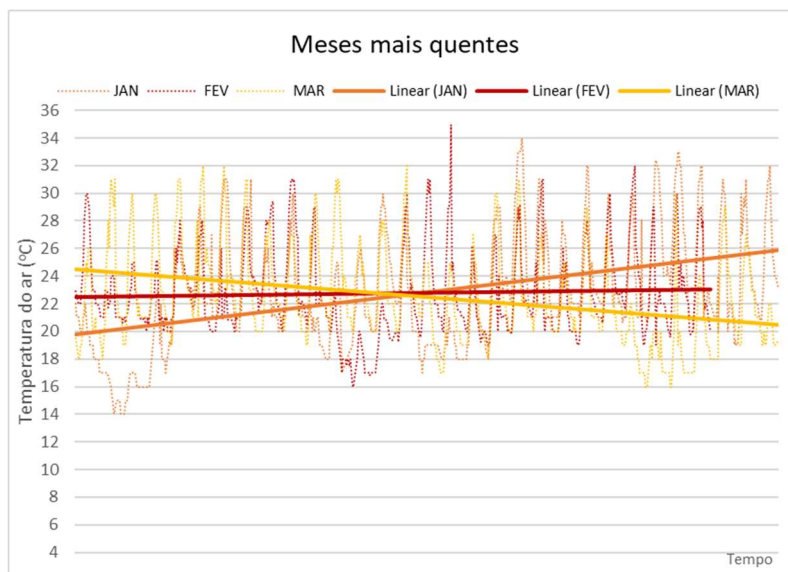


Figura 76. Representação gráfica dos dados de temperatura do ar °C do arquivo climático SWERA dos meses do ano com temperatura mais elevada e respectivas linhas de tendência: janeiro, fevereiro e março.

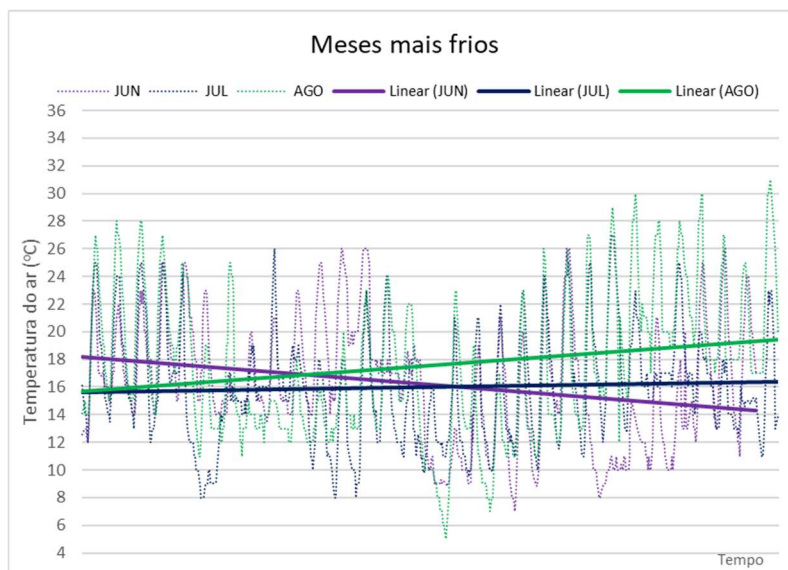


Figura 77. Representação gráfica dos dados de temperatura do ar °C do arquivo climático SWERA dos meses do ano com temperatura mais baixa e suas respectivas linhas de tendência: junho, julho e agosto.

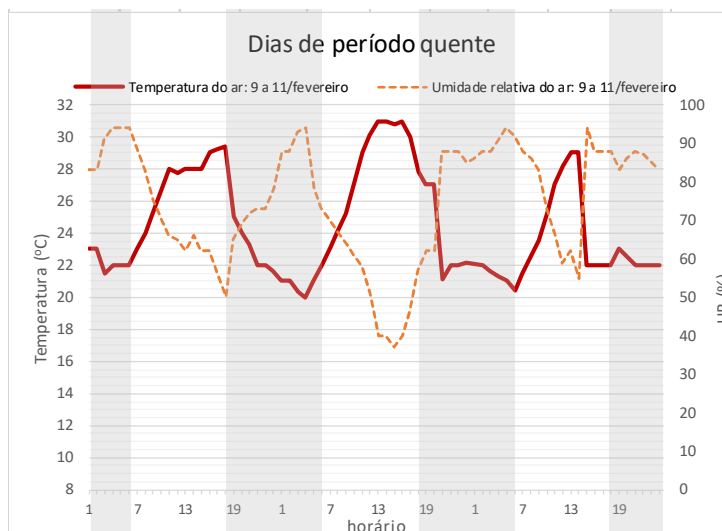


Figura 78. Representação dos dados de temperatura do ar °C e umidade relativa do ar do arquivo climático SWERA dos dias selecionados como “período de calor”: 9 a 11/fev.

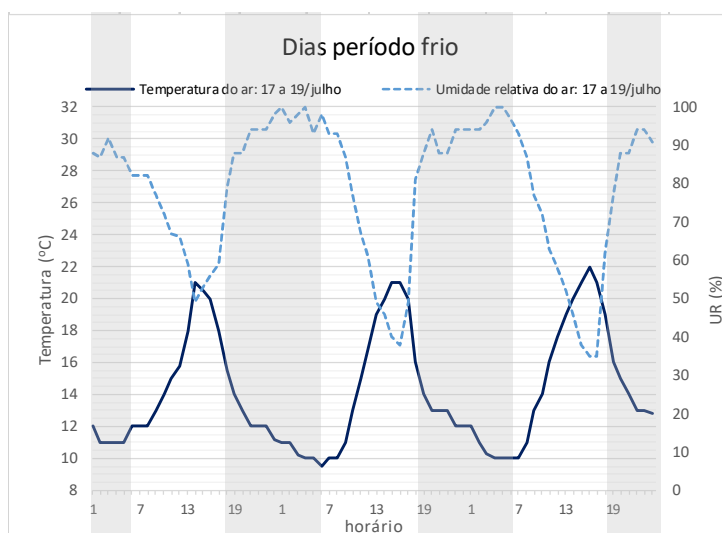


Figura 79. Representação dos dados de temperatura do ar °C e umidade relativa do ar do arquivo climático SWERA dos dias selecionados como “período frio”: 17 a 19/jul.

Os resultados, baseadas nos parâmetros de conforto e TO conforme descrito, foram, então, representados em formato de gráficos e tabelas.

Os resultados da condição de conforto encontrados foram representados através de gráficos de barras em termos anuais e mensais dos meses de fevereiro e julho. As porcentagens de horas em desconforto por calor em vermelho, horas em conforto em verde e horas em desconforto por frio em azul.

Os resultados também foram representados em gráficos de linha apresentando temperatura do ar externo e temperatura operativa no ambiente estar da simulação. Neste caso adotou-se dois tipos de gráficos:

- Gráficos de temperatura do ar externo e temperaturas operativas internas de médias horárias mensais: representam um panorama do comportamento da temperatura operativa dos ambientes simulados ao longo de 1 ano. Para sua elaboração foram utilizadas médias da TO de cada uma das horas do dia para cada um dos meses do ano. Deste modo, cada mês é representado como se fosse 1 dia (24h). Por se tratar de uma média para cada um dos horários, os extremos são suavizados, mas ainda assim é

possível visualizar as tendências anuais de desempenho. Situações mais extremas podem ser observadas nos gráficos representativos de dias quentes e frios selecionados, conforme descrito a seguir.

- Gráficos de temperatura do ar externo e temperaturas operativas internas de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul): conjunto de dois gráficos que representam, de maneira mais detalhada, dias selecionados com características de serem dias quentes (9 a 11/fev) e frios (17 a 19/jul), cuja seleção foi explicitada anteriormente. Os dias foram selecionados a partir da leitura do arquivo climático adotado na 1ª fase de simulações (SWERA). Na segunda fase de simulações manteve-se os dias selecionados por entendê-los adequados aos estudos, utilizando-se os demais arquivos climáticos. Nos casos em que se considerou a unidade ocupada (carga térmica incluída) esses gráficos contam com hachura que demarca a zona de conforto segundo o parâmetro da norma ASHRAE 55 (2017) para os dias representados.

Além disso, utilizou-se tabelas de dados médios anuais e/ou mensais (fevereiro e julho) de temperatura operativa média, média das máximas, média das mínimas e amplitudes diárias. Estas foram adotadas para a visualização de parâmetros numéricos médios representativos.

4.2.1 1ª Fase de Simulações

A 1ª Fase de Simulações parte do Ap Base conforme descrito anteriormente, sem elementos no entorno que possam exercer algum tipo de influência sobre ele e utilizando o arquivo climático SWERA. Inicialmente a unidade foi considerada não ocupada, adotou-se uma taxa de ventilação fixa de 2 renovações por hora²¹ em todos os ambientes da unidade residencial e não se utilizou aquecimento ou resfriamento ativos.

Procedeu-se a uma série de simulações que buscaram avaliar, inicialmente, o efeito de características intrínsecas ao próprio edifício, que se traduziram em parâmetros construtivos e de uso e ocupação. Em seguida, a busca foi por estudar os efeitos de fatores externos ao edifício, tanto do entorno (traduzidos em efeitos de sombreamento) quanto às questões climáticas, ligadas aos fenômenos de aquecimento a que os centros urbanos estão expostos (mudanças climáticas globais e ilha de calor urbana).

4.2.1.1 Fatores intrínsecos ao edifício: aspectos construtivos

Orientação solar

Foram estudadas as 4 principais orientações solares: norte (N), sul (S), leste (E) e oeste (W). Para isso o modelo foi mantido igual em todos os casos, alterando-se apenas o ângulo que define a orientação norte no modelo tridimensional da simulação.

Na cidade de São Paulo, latitude aproximada de 24°, no Trópico de Capricórnio, dos dois extremos da posição solar tem-se que: no solstício de verão às 12h, o sol está a pino (90°) e, no mesmo horário, no solstício de inverno, sua inclinação é de 43°N. As características de altura solar fazem com que as fachadas norte e sul sejam mais facilmente sombreadas e as fachadas leste e oeste, por receberem insolação em ângulos solares de 0 a 90°, oferecem maiores dificuldades de sombreamento (Figura 80).

²¹ A decisão de adotar 2 renovações por hora decorre de testes de simulações computacionais realizados e comparados com dados medidos, que mostraram que, para adoção de taxa de renovação constante, esse foi o valor que mais aproximou os dados obtidos em simulações e medições.



Figura 80. Trajetória solar anual nas diferentes orientações do Ap Base.

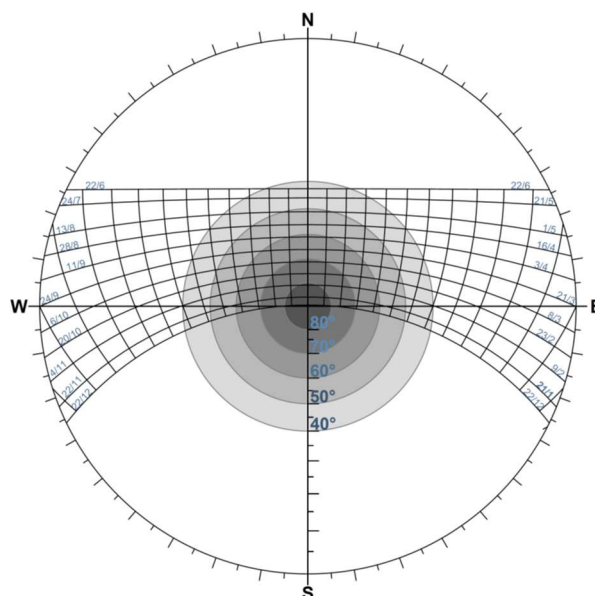


Figura 81. Carta Solar Latitude 24°, com ângulos de incidência solar.

Além disso sabe-se que o ângulo de incidência influencia no fator solar das superfícies translúcidas e, segundo resultados obtidos por Santos e Roriz (2012), que estudaram o fator solar para variações de ângulos de incidência com intervalos de 10°, quanto maior a angulação testada, menor o fator solar. Para o vidro comum incolor de 8mm, com o ângulo de incidência de 70°, o fator solar relativo é 0,75 e, para o ângulo de 80°, 0,48. De acordo com o Tas Theory Manual²², que dispõe sobre as bases de cálculo para as simulações, o modelo adota as equações

²² O Theory Manual está disponível em:

<http://edsl.myzen.co.uk/downloads/manuals/Theory%20Manual.zip>. Último acesso em 19/11/2018.

de Fresnel para os cálculos de transmissão e absorção em materiais translúcidos nos casos de incidência solar não normal à superfície.

As maiores alturas solares ocorrem nos horários mais próximos ao meio dia para todas as fachadas e, para as fachadas norte e sul, nos dias mais próximos ao solstício de verão (Figura 81).

Brisas

Propõe-se, então, elementos sombreadores (brises) para as diferentes orientações solares.

Há um pequeno sombreamento em todos os casos devido à espessura da parede, cuja máscara está representada na Figura 82 (Obs: a máscara de sombreamento foi sobreposta à carta solar na orientação norte para exemplificação).

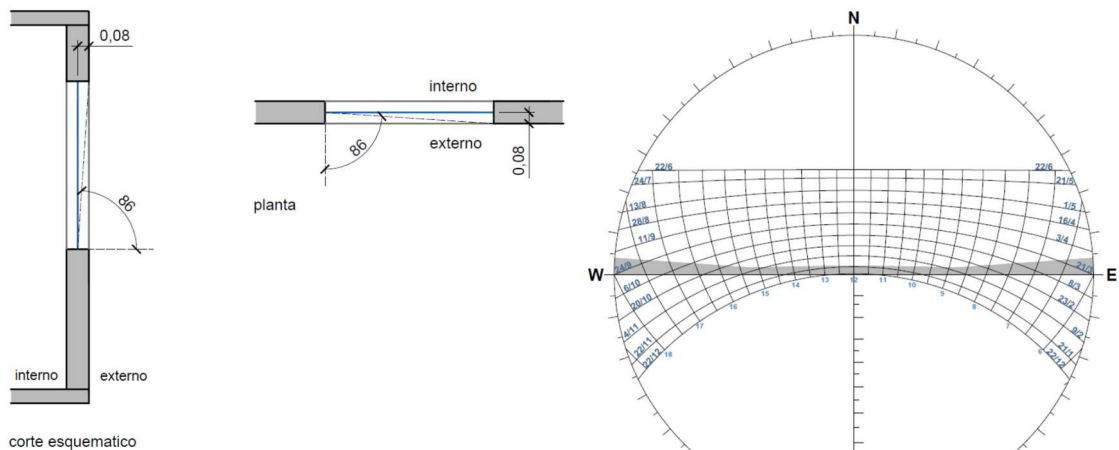
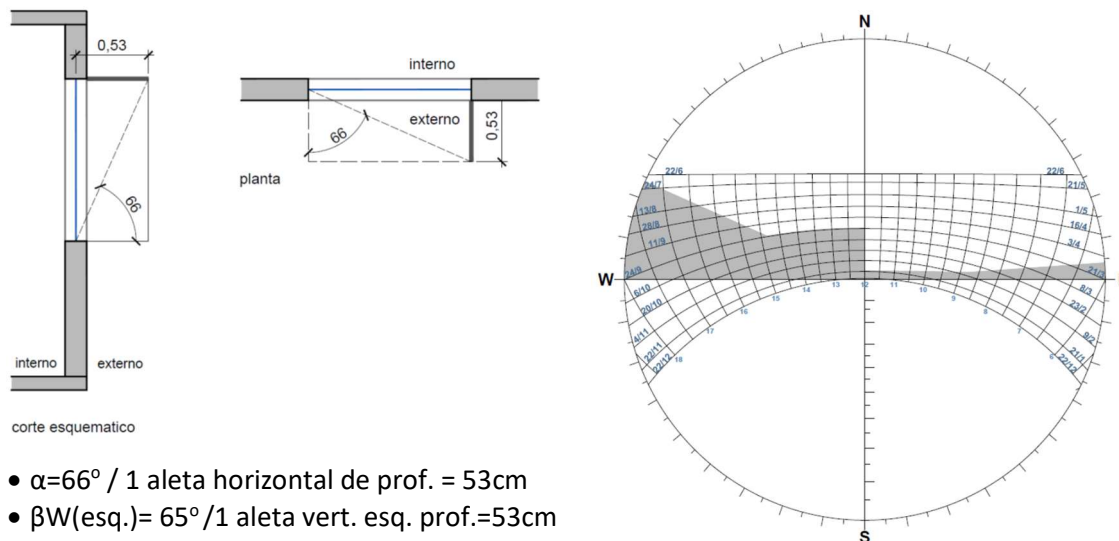


Figura 82. Ângulos e máscara de sombreamento na janela devido à espessura da parede. O sombreamento foi representado para a fachada orientação norte.

Para a orientação norte, foram feitas duas propostas de brise:

N brise assimétrico (Figura 83)

Sombreamento total proporcionado no período da tarde: na primavera/verão (de 24/09 a 21/03).



- $\alpha=66^\circ$ / 1 aleta horizontal de prof. = 53cm
- $\beta_W(\text{esq.})=65^\circ$ / 1 aleta vert. esq. prof.=53cm

Figura 83. Ângulos e máscara de sombreamento do brise "N - brise assimétrico".

N brise horizontal (Figura 84)

Sombreamento só na primavera/verão (de 24/09 a 21/03 - aproximadamente das 10 às 14h).
De abril a setembro (período frio) há sombreamento parcial.

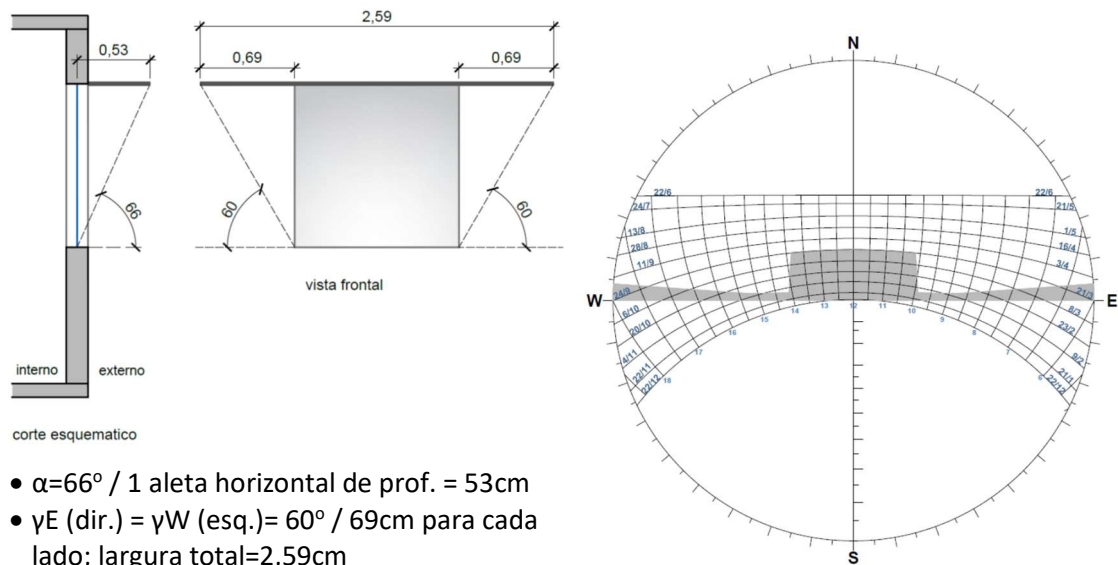


Figura 84. Ângulos e máscara de sombreamento do brise "N - brise horizontal".

Na orientação sul, pela menor incidência solar, foi feita uma única proposta de brise, com sombreamento total de todas as horas de insolação direta incidente:

S - sombreamento total (Figura 85)

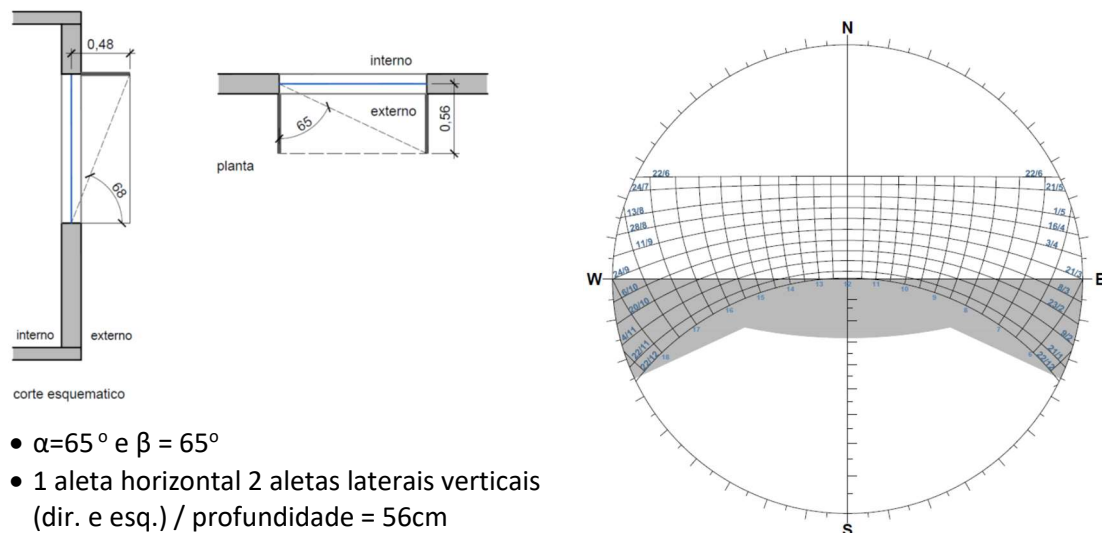


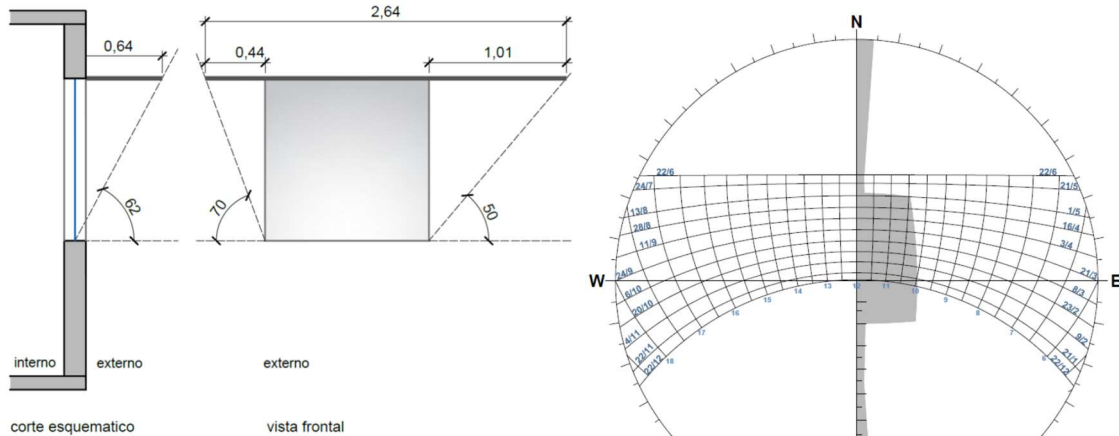
Figura 85. Ângulos e máscara de sombreamento do brise "S - sombreamento total".

Para as orientações leste e oeste foram desenhados brises simétricos, o primeiro com sombreamento menor, sombreado totalmente a abertura nas 2 horas mais próximas do meio dia e outro com máscara de sombreamento maior, atingindo metade (4) das horas da manhã e da tarde. Em ambos os casos, para os dias mais frios do ano (de maio até meados de agosto) se propôs um sombreamento parcial.

E - brise menor (Figura 86)

Sombreamento total a partir de 10h no solstício de verão. Sombreamento total a partir do horário entre 10h e 10:30 (dependendo do dia do ano), de janeiro a maio e de agosto e dezembro.

De maio a agosto (período frio) há sombreamento parcial.



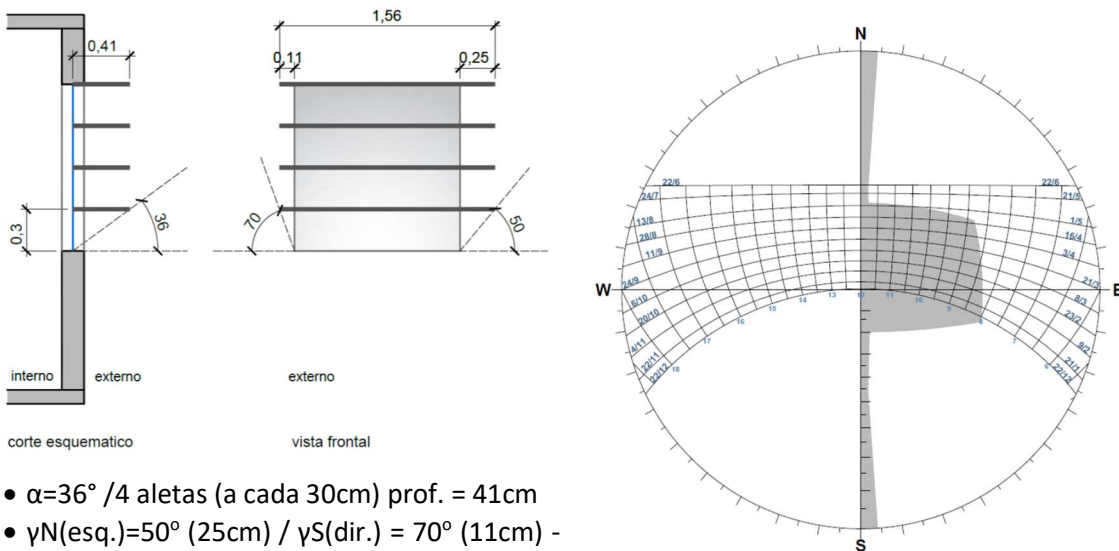
- $\alpha=62^\circ$ / 1 aleta horizontal prof.=64cm
- $\gamma_N(\text{esq.}) = 50^\circ$ (101cm) / $\gamma_S(\text{dir.}) = 70^\circ$ (44cm)
- comprimento total=2,64m

Figura 86. Ângulos e máscara de sombreamento do brise "E - brise menor".

E - brise maior (Figura 87)

Sombreamento total a partir de 8h no solstício de verão. Sombreamento a partir do horário entre 8h e 9:15 (dependendo do dia do ano), de janeiro e maio e de agosto e dezembro.

De maio a agosto (período frio) há sombreamento parcial.



- $\alpha=36^\circ$ / 4 aletas (a cada 30cm) prof. = 41cm
- $\gamma_N(\text{esq.})=50^\circ$ (25cm) / $\gamma_S(\text{dir.}) = 70^\circ$ (11cm) -
- comprimento total = 1,56m

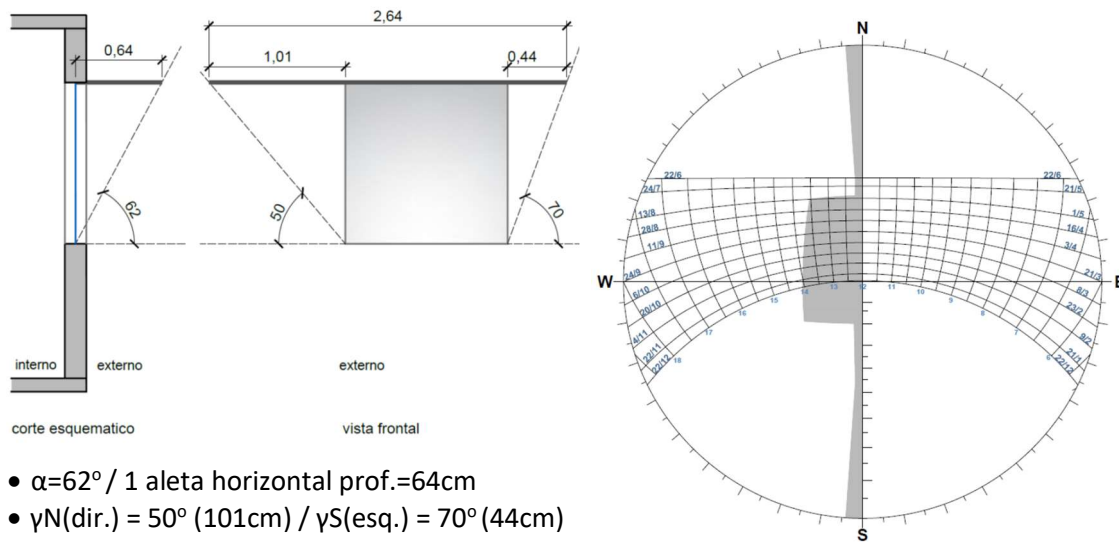
Figura 87. Ângulos e máscara de sombreamento do brise "E - brise maior".

W - brise menor (Figura 88)

Sombreamento total até as 14h no solstício de verão.

Sombreamento total até o horário entre 13:30 e 14h de janeiro a maio e de agosto e dezembro.

De maio a agosto (período frio) há sombreamento parcial.



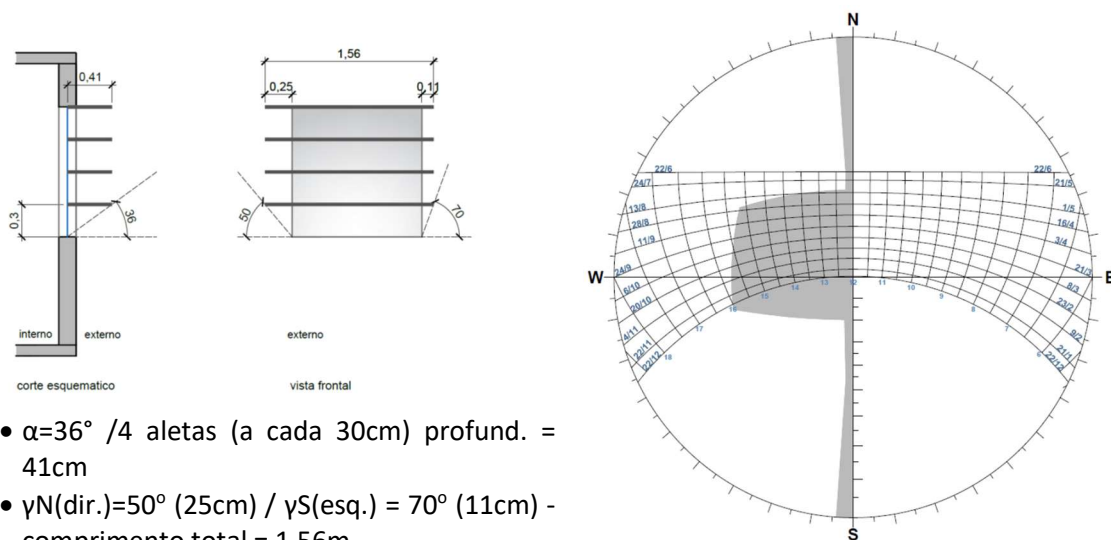
- $\alpha=62^\circ$ / 1 aleta horizontal prof.=64cm
- $\gamma_N(\text{dir.})=50^\circ$ (101cm) / $\gamma_S(\text{esq.})=70^\circ$ (44cm)
- comprimento total=2,64m

Figura 88. Ângulos e máscara de sombreamento do brise "W - brise menor".

W - brise maior (Figura 89)

Sombreamento até as 16h no solstício de verão. Sombreamento total até o horário entre 15:15 e 16h de janeiro a maio e de agosto a dezembro.

De maio a agosto (período frio) há sombreamento parcial.



- $\alpha=36^\circ$ / 4 aletas (a cada 30cm) profund. = 41cm
- $\gamma_N(\text{dir.})=50^\circ$ (25cm) / $\gamma_S(\text{esq.})=70^\circ$ (11cm) - comprimento total = 1,56m

Figura 89. Ângulos e máscara de sombreamento do brise "W - brise maior".

Espessura das paredes externas

Nesta etapa do trabalho alterou-se a espessura das paredes externas do modelo de apartamento adotado. No modelo original, a espessura das paredes externas é de 16cm e, das internas, 12cm. Nesta sequência de simulações, as paredes internas foram mantidas com 12cm e as paredes externas adquiriram as seguintes espessuras: 12cm, 16cm, 25cm, 30cm, cujos

respectivos coeficientes globais de transmissão térmica (U) são 2,75W/m²°C, 2,32 W/m²°C, 1,73 W/m²°C e 1,51 W/m²°C (Figura 90).

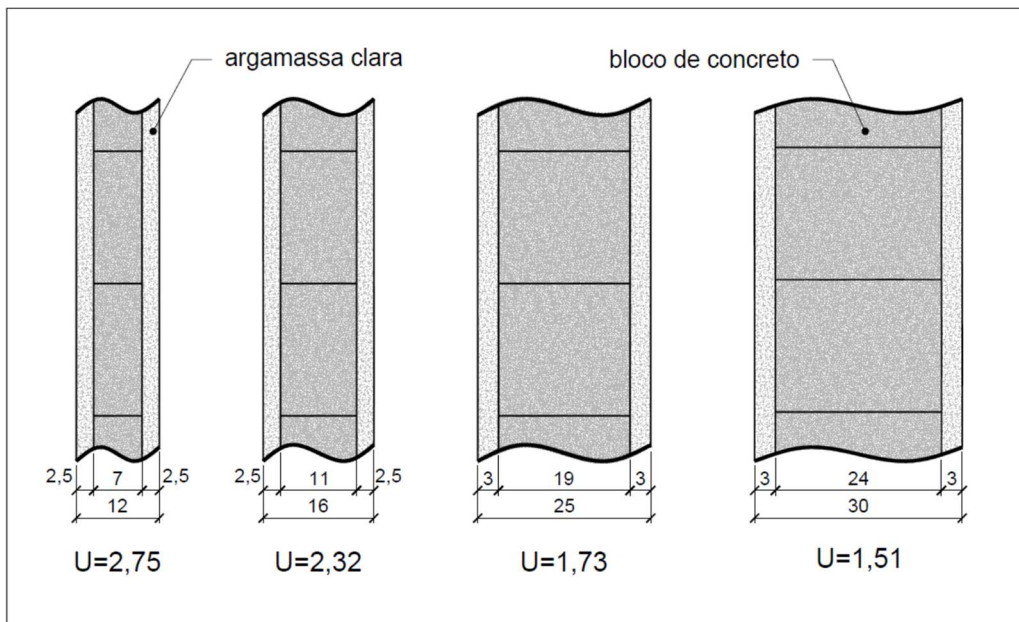


Figura 90. Espessura das paredes externas para simulações computacionais e respectivos valores do Coeficiente Global de Transmissão Térmica (U), em W/m²°C.

Taxa de área de vedação envidraçada (*Window to Wall Ratio – WWR*)

A vedação do estar/jantar, conforme proposto no caso base, possui uma parede de 2,60m X 2,60m (6,76m³), com uma janela envidraçada de 1,20m por 1,20m (1,44m³), sendo, portanto, um WWR de aproximadamente 20%.

Para este estudo foi proposta a alteração do WWR por variação das dimensões da abertura, tendo sido propostas situações, além do caso base, com 10% (janela de 0,82m x 0,82m), 30% (janela de 1,42m x 1,42m) e 50% (1,60m x 2,10m no nível do piso). Nesse último caso (WWR 50%), portanto, foi proposta uma porta de correr para posteriores estudos com inserção de varandas. A alteração da dimensão da abertura se deu apenas neste ambiente. As aberturas dos demais ambientes se mantiveram com sua dimensão original.

Este tipo de varanda, que se dá como um recorte da sala, sem que haja projeção para fora dos limites da vedação do bloco construído, tem sido amplamente adotada nos lançamentos imobiliários, incluindo o período de recorte deste trabalho, conforme capítulo 2.

Inserção de varandas

Para esta série de simulações, partiu-se da proposta com WWR de 50%, sendo que a caixilharia é uma porta de 1,60m de largura e 2,10m de altura (3,36m²). A partir desse caso, mantendo-se a mesma caixilharia, propôs-se a inserção de uma varanda, recuando, para isso, a parede do estar (Figura 74), sem alteração da área do apartamento base. Neste caso o estar foi reduzido para introdução da varanda, conforme se verifica nos lançamentos imobiliários, abordados no capítulo 2. Foram feitas duas propostas de varanda, a primeira “pequena”, com 0,80m de profundidade (2,08m²) e a segunda “grande”, com 2,00m de profundidade (5,2m²). A máscara de sombreamento que ambas as varandas descritas realizam na porta envidraçada,

entre o estar e a varanda, estão representadas na Figura 91. Em um segundo momento, à varanda de maiores dimensões foi incluído um fechamento envidraçado (WWR 100%).

Como a introdução da varanda ocorreu através da redução da área do estar, em todas as configurações de planta aqui confrontadas, esse ambiente (o Estar, definido na simulação computacional como uma zona) foi parametrizado com as mesmas dimensões e posição para permitir a melhor comparação dos resultados. Assim, o ambiente do estar foi subdividido nos casos do Ap Base com WWR 50% e do Ap com Varanda Pequena, e a área remanescente foi denominada “Frente Estar” (Figura 92).

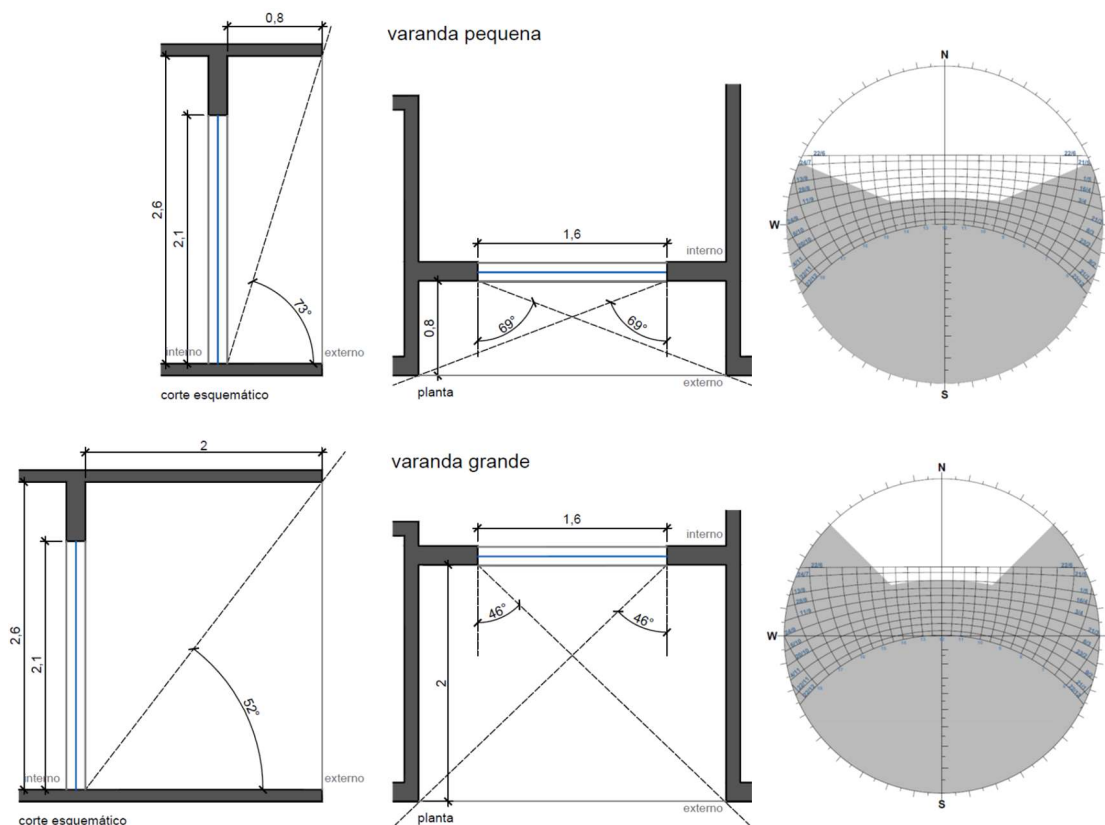


Figura 91. Varandas pequena (0,8m) e grande (2,0m) e respectivos sombreamentos na porta da varanda.

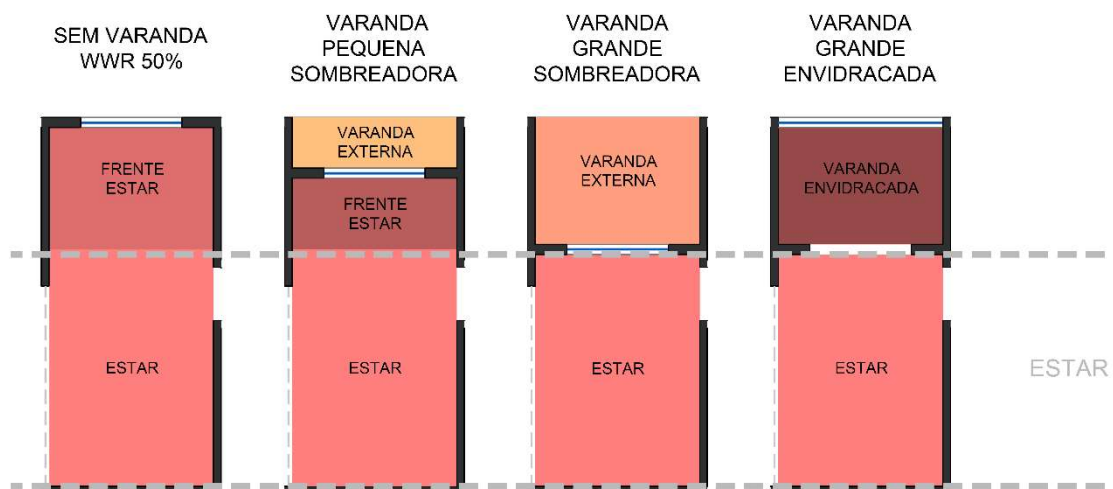


Figura 92. Subdivisão do ambiente do Estar nas configurações com inserção de varanda.

4.2.1.2 Fatores intrínsecos ao edifício: uso e ocupação

Por entender que, nessas simulações, o apartamento encontra-se ocupado, foi avaliado além das TO, também a condição de conforto obtida com as simulações de desempenho térmico.

Inclusão de carga térmica

A inclusão de carga térmica nos ambientes para a simulação visa a mimetizar o calor imputado no ambiente devido ao seu uso e ocupação. Neste trabalho considerou-se uma agenda simplificada, com ocupação da unidade por 3 moradores. Um deles permaneceria no apartamento durante todo o dia. As outras duas pessoas sairiam às 7h e retornariam às 19h. Das 19h às 23h os 3 moradores permaneceriam no ambiente do estar e das 23h às 7h nos quartos (2 pessoas no dormitório 1 e 1 pessoa no dormitório 2). Incluiu-se 1 televisor ligado no estar das 7h às 23h; 1 notebook e 1 LED das 19h às 23h. Há, ainda, uma geladeira ligada 24h/dia na cozinha, com funcionamento intermitente. As cargas térmicas foram consideradas conforme Tabela 9.

Tabela 9. Cargas térmicas consideradas para o Apartamento Base.

Apartamento Base							Total				
Ambiente	Fonte	Horário	Potência (W)	Carga (W)	áreas (m ²)	W/m ²		7 às 19h	19 às 23h	23 às 7h	
estar	2 LED	19 às 23h	12	24	14,72	1,63	Ilum. Sens.	0,00	1,63	0,00	
	1 TV	7 às 23h	90	54 *		3,67	Equip. sensível	3,67	6,12	0,00	
	1 notebook	19 às 23h	60	36 *		2,45					
	1 pessoa	7 às 19h				63 sens.	4,28	Pessoas sensível	4,28	12,84	0,00
						52 (lat)	3,53				
3 pessoas	19 às 23h			189 sens.	12,84	Pessoas latente	3,53	10,60	0,00		
				156 (lat)	10,60						
dorm. 1	2 pessoas dormindo	23 às 7h		80 sens.	9,27	8,63	P.sensível	0,00	0,00	8,63	
				80 (lat)		8,63	P.latente	0,00	0,00	8,63	
dorm. 2	1 pessoa dormindo			40 sens.	7,60	5,27	P.sensível	0,00	0,00	5,27	
				40 (lat)		5,27	P.latente	0,00	0,00	5,27	
coz/AS	geladeira	24h	120	30 **	10,44	2,87	Eq.sensível	2,87	2,87	2,87	

* Adoção do critério de que 60% da potência nominal dos aparelhos elétricos (exceto aqueles cuja função seja aquecimento) é cedida ao ambiente como calor (FROTA, SCHIFFER, 2003).

** Por ter, a geladeira, uma função térmica, entende-se que 100% da potência do equipamento, quando ligado, é cedida como calor ao ambiente. Foi estimado que ela estaria ligada 25% do tempo e, por isso, foi considerado que, a cada hora, é esse o percentual da potência cedido como calor ao ambiente (HERNANDEZ NETO, 2018).

Também foi avaliada a inclusão de carga térmica na unidade com a varanda envidraçada integrada ao estar, ou seja, com WWR 100%.

Por se considerar a presença de usuários além de se avaliar as variáveis resultantes, foi avaliada a condição de conforto através dos parâmetros da norma ASHRAE 55 (2017). As demais simulações que avaliam uso e ocupação (Taxa de Ventilação e Ventilação Natural) também consideram cargas térmicas.

Taxa de ventilação

Foram testadas algumas opções variando a taxa de ventilação determinada para as simulações. Conforme já foi abordado, o valor determinado para o Ap Base foi de 2 renovações por hora, constante ao longo das 24h do dia. Para essa série de simulações foram adotados 6

padrões de taxa de renovação, utilizando as taxas de 2 e 10 renovações por hora (R/h), variando o período em que elas ocorreriam: 24h/dia; durante todo o período diurno (das 7h às 23h); e durante parte dos períodos da tarde e da noite, que é quando o ambiente atingiu suas maiores temperaturas internas (das 15h às 21h). Essas variações de horário têm o objetivo de mimetizar as ações cotidianas de abertura de janelas no período diurno e fechamento no período noturno, pois entende-se que, com a abertura das janelas, a taxa de renovação tende a ser maior. Nos demais horários adotou-se a taxa de renovação de 0,5 R/h (frestas). Todas essas simulações contam com a inclusão de carga térmica.

Ventilação natural

O modelo TAS realiza simulações com fluxo de ar natural e forçado. Para a ventilação natural, inclui funções de controle de abertura que podem ser, por exemplo, orientadas de acordo com dia/horário ou com temperatura interna ou externa.

O fluxo de ar através das aberturas é calculado através de um modelo que leva em consideração as características de fluxo e pressão das aberturas, efeito do vento e efeito chaminé e demais fluxos de ar definidos na parametrização da simulação. O *Theory Manual* do modelo, porém, traz uma limitação para o cálculo de ventilação natural em aberturas verticais (janelas): o modelo de cálculo aplica-se apenas a aberturas com arestas vivas, que têm dimensão pequena com relação ao espaço que elas conectam e alerta, portanto, que se deve tomar cuidado nos casos em que a área da abertura é comparável à da seção transversal dos espaços adjacentes.

Sabendo-se que as aberturas são todas operáveis e, principalmente, que as pessoas tendem a buscar o maior conforto, realizaram-se estudos com operação das aberturas. A taxa de ventilação imposta foi, para esta série de simulações, considerada zero e, portanto, todas as trocas de ar ocorrem por ventilação natural. Inicialmente foram realizadas simulações com operação das janelas do estar, do serviço e dos dormitórios. Esses estudos, porém, revelaram que o modelo não responde bem quando ocorre ventilação cruzada através da abertura de janelas em mais de uma orientação, conforme mostrado no Apêndice - C. Deste modo, os estudos apresentados aqui contemplam apenas a operação da janela do estar.

O modelo proporciona algumas opções para as simulações térmicas utilizando abertura de janelas. Pode ser através de uma porcentagem da área total de abertura (*value/factor*), fixa em certas horas do dia e definida através de uma agenda (*schedule*) e com um valor também determinado para as demais horas (*setback value*), assim como as aberturas podem ser informadas hora a hora para um dia ou para cada uma das horas do ano, ou ainda através de uma função. Neste trabalho utilizou-se a imposição de um valor associado a uma agenda e a um *setback value* e também a operação em função da temperatura do ar do ambiente do estar.

A janela adotada tem dimensões de 1,20m x 1,20m, caixilhos em alumínio e 2 folhas de vidro simples (8mm) e com área efetiva de ventilação máxima de 50% do vão.

Foi proposta uma série de simulações visando, em sua maior parte, parâmetros considerados mais plausíveis na operação de uma residência: abertura da janela principalmente no período diurno e fechamento no período noturno. Em todos os casos foi considerada uma área efetiva de ventilação (*setback value*) de 1% do vão da janela, entendendo-se que as janelas comumente utilizadas no Brasil não são estanques e sempre apresentam frestas.

As simulações realizadas nesta etapa foram:

- Área efetiva de ventilação (máxima) de 50% do vão das 8h às 20h;
- Área efetiva de ventilação de 10% do vão das 8h às 20h;
- Abertura da janela em função da temperatura do ar do estar (início de abertura: 21°C / abertura total: 24°C) 24h/dia;
- Abertura da janela em função da temperatura do ar do estar (início de abertura: 21°C / abertura total: 24°C) das 8h às 20h;
- Abertura da janela em função da temperatura do ar do estar (início de abertura: 21°C / abertura total: 24°C) das 8h às 20h + Ventilação noturna: janelas do estar e serviço com abertura fixa de 10% do vão;
- Abertura da janela em função da temperatura do ar do estar (início de abertura: 21°C / abertura total: 24°C) das 8h às 20h e fechamento da abertura quando a temperatura do ar externo ultrapassa a do ar interno + Ventilação noturna: janelas do estar e serviço com abertura fixa de 10% do vão.

Todas essas simulações contam com a inclusão de carga térmica.

4.2.1.3 Fatores externos ao edifício: clima e sombreamento pelo entorno

Nesta etapa foram propostas simulações com os diferentes arquivos climáticos elaborados neste trabalho e em trabalho anterior (ALVES, 2014) (com efeito de alterações climáticas previstas e em curso relacionadas ao aquecimento global e à ilha de calor urbana); e também o sombreamento à radiação solar devido ao entorno verticalizado.

Arquivos climáticos: Cenários de aquecimento

Adotou-se arquivos climáticos representativos dos fenômenos de aquecimento aos quais os centros urbanos estão expostos: aquecimento global e ilha de calor urbana (5.1. A ilha de calor urbana na cidade de São Paulo e o acoplamento do efeito em arquivos climáticos). Foram realizadas simulações computacionais, além do arquivo climático padrão, com 3 cenários de aquecimento global e, a cada um deles, foi associado o efeito da ilha de calor baseado no método desenvolvido por Crawley (2008).

Os arquivos climáticos adotados nesta sequência de simulações foram:

- SWERA²³ – arquivo climático TMY, ano base 1984, disponível na página do LABEEE²⁴;
- SWERA + ICU – Baseado no arquivo climático anterior e com acoplamento do efeito da ilha de calor urbana
- Futuro próximo - Representativo dos anos 2015 a 2044
- Futuro próximo + ICU – Baseado no arquivo climático anterior e com acoplamento do efeito da ilha de calor urbana
- Futuro intermediário - Representativo dos anos 2045 a 2074
- Futuro intermediário + ICU - Baseado no arquivo climático anterior e com acoplamento do efeito da ilha de calor urbana
- Futuro distante - Representativo dos anos 2076 a 2096

²³ O projeto do Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA), juntamente com o INPE e LABSOLAR/UFSC, disponibilizou arquivos climáticos TMY para 20 cidades brasileiras.

²⁴ Disponível em: [http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin]. Último acesso em 08 de agosto de 2018.

- Futuro distante + ICU - Baseado no arquivo climático anterior e com acoplamento do efeito da ilha de calor urbana

Sombreamento do entorno

O modelo de edifício, conforme simulado até o momento, é isolado, sem outros que realizem sombreamento sobre ele, portanto, o fator de visão de céu (FVC)²⁵ é igual a 1. A fim de se testar o efeito do sombreamento de uma área urbana densa, foi feita uma analogia com a região das medições de temperatura externa em área densamente urbanizada da cidade de São Paulo (Bela Vista e Paulista) (Figura 57, Figura 58 e Figura 59). O dado foi obtido através da imagem de visão de céu com lente olho de peixe no nível da rua, nos pontos das medições; a partir das imagens, o cálculo do fator de visão de céu foi realizado utilizando o software Rayman e corresponde a 0,2 na Bela Vista e 0,4 na Paulista (Figura 93).



Figura 93. Imagem de visão de céu com lente olho de peixe, no nível da rua, nos locais onde foram realizadas as medições na Paulista e na Bela Vista e respectivos Fatores de Visão de Céu (FVC).

Foi, então, proposta uma volumetria com edifícios todos de mesma altura do edifício das simulações computacionais (44m) (Figura 94), cujo FVC no centro da volumetria, ao nível do solo, apresenta FVC de valor 0,3, intermediário entre aqueles verificados na Bela Vista e na Paulista (Figura 95).

²⁵ O fator de visão de céu (FVC) é um indicador utilizado para descrever a geometria urbana. Pode ser entendido como a relação entre a radiação originária da abóbada celeste incidente em uma determinada superfície plana (considerando as obstruções pelos obstáculos diversos) e aquela incidente na mesma superfície sem obstruções (WATSON; JOHNSON, 1987). Varia de 0 (totalmente obstruído) a 1 (nenhuma obstrução).

O mesmo desenho foi reproduzido no modelo tridimensional do Tas (Figura 96) e o modelo de apartamento (Ap Base) foi, então, simulado nas diferentes orientações solares, com resultados verificados para os 14º (penúltimo), 8º (intermediário) e 1º (1 acima do térreo) pavimentos, a fim de se avaliar o desempenho térmico da unidade posicionada em diferentes alturas e, conseqüentemente, sujeita a diferentes condições de sombreamento conforme pode ser observado nas Figura 97, Figura 98 e Figura 99.

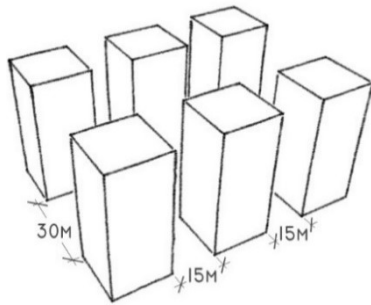


Figura 94. Volumetria proposta para visão de céu.

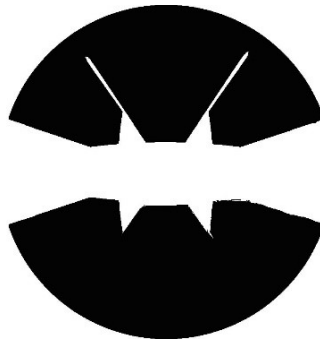


Figura 95. Imagem do fator de visão de céu do modelo proposto para cálculo do FVC (FVC=0,3).

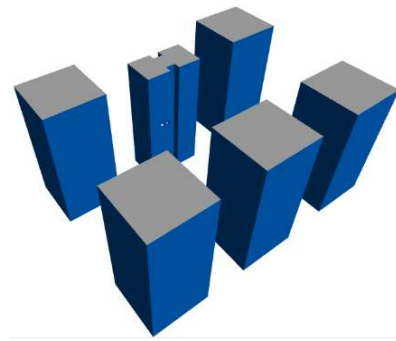


Figura 96. Modelo tridimensional no software Tas com edifícios no entorno.

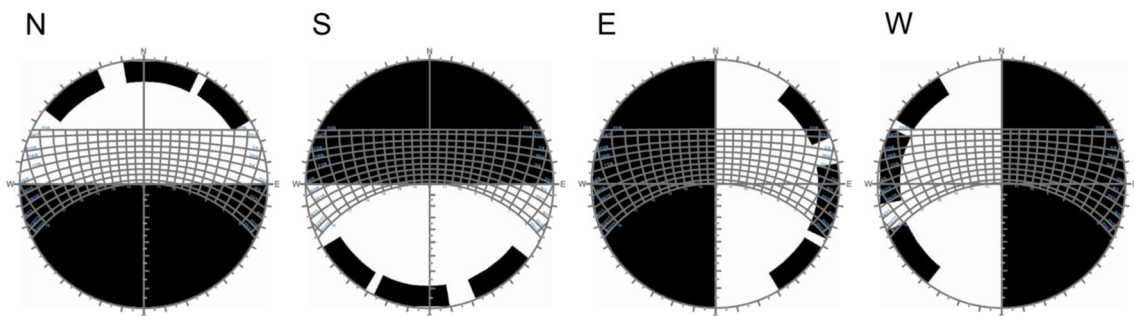


Figura 97. Sombreamento ocasionado pelo entorno nas diferentes orientações solares para a unidade residencial localizada no 14º pavimento.

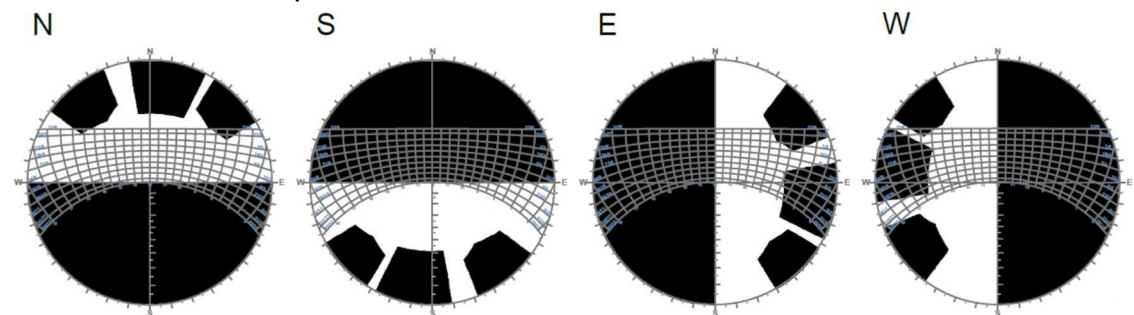


Figura 98. Sombreamento ocasionado pelo entorno nas diferentes orientações solares para a unidade residencial localizada no 8º pavimento.

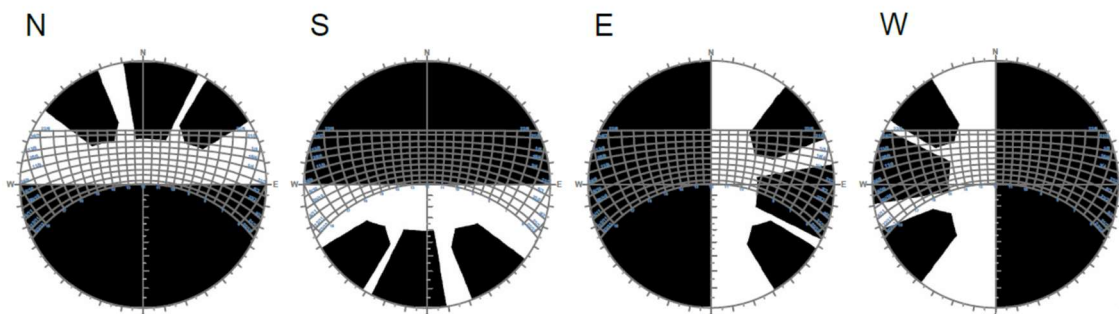


Figura 99. Sombreamento ocasionado pelo entorno nas diferentes orientações solares para a unidade residencial localizada no 1º pavimento.

Para fins de representação, será utilizada a nomenclatura FVC 1 e FVC 0,3 para referência às situações respectivamente sem e com entorno verticalizado, porém, faz-se a ressalva de que o referido valor de Fator de Visão de Céu se refere ao ponto central da volumetria e não ao seu valor no ponto avaliado em cada uma das simulações computacionais (caixilharia de diversos pavimentos).

4.2.2 2ª Fase de Simulações

A 2ª fase de simulações aborda o edifício de uma maneira mais completa e orientada à busca do melhor desempenho em condições que se aproximam mais do cenário que se pretende retratar: um horizonte climático aproximadamente 50 anos à frente, em contexto de urbanização adensada e com a edificação ocupada. Entende-se que os edifícios construídos no presente, tendo uma vida útil esperada de pelo menos 50 anos, deverão enfrentar, na cidade de São Paulo, um contexto de clima em aquecimento e intensificação da urbanização. De acordo com Duarte (2015), a questão atual não é se “Deve-se adensar?”, mas “Como se deve adensar?”, entendendo-se a necessidade de compatibilização do adensamento com a qualidade ambiental e de uma relação de troca da cidade com o edifício, de modo que nos cenários retratados nessa nova fase de simulações a questão do adensamento urbano é tomada como premissa. Deste modo, foram adotados os parâmetros de simulação conforme segue:

- Arquivo climático “Futuro Intermediário + ICU” (2045 a 2074) a fim de representar um cenário urbanizado de um futuro que não está longe de ocorrer e que os edifícios produzidos no presente devem enfrentar, já que sua vida útil deve atingir e até exceder esse período.
- Sombreamento do entorno (FVC = 0,3 no centro da volumetria), com a finalidade de representar o contexto urbano adensado. Foram estudados o 1º e o 14º pavimentos, por serem situações mais próximas dos limites (Figura 74).
- Carga térmica interna, com o objetivo também de se avaliar o conforto térmico do ambiente do estar, e tendo em vista que o conforto é diretamente ligado à existência de usuários, incluiu-se carga térmica correspondente à ocupação já descrita anteriormente.
- Taxa de ventilação fixa de 4R/h, das 15h às 23h e 0,5R/h nos demais horários do dia. Essa ventilação pressupõe a abertura de janelas no horário em que ocorrem as maiores taxas de renovação e busca dar uma resposta que se aproxime da necessidade de remoção de carga térmica da unidade habitacional (conforme Apêndice - C), tendo em vista que o período da tarde é quando ocorre o maior aquecimento devido ao aumento

da temperatura do ar externo e o período da noite é quando ocorre uso e ocupação mais intenso do ambiente do estar, com maiores cargas térmicas.

Como nesta fase do trabalho está sendo considerada a unidade residencial ocupada, será analisada a condição de conforto do ambiente do estar da unidade (índice de conforto adaptativo da norma ASHRAE 55 (2017)).

Para a representação dos dados dessa fase de simulação, principalmente devido às temperaturas mais altas do arquivo climático, os gráficos de linhas que apresentavam TO entre 9°C e 35°C passaram a apresentar TO entre 11°C e 37°C.

Foram estudadas as diferentes variações do Ap Base, sem a varanda e com a inclusão da varanda em diversas configurações (de fechamento ou não), buscando as possibilidades para se obter conforto térmico de maneira passiva.

4.2.2.1 As configurações de estar / varanda nas diversas orientações: Ap Base, Ap Varanda Sombreadora e Ap Varanda Envidraçada: Integrada e Porta Estar/Varanda Fechada

Tendo em vista o diferente desempenho apresentado pelo modelo Ap Base e suas principais variações com a inserção de varanda, neste item explora-se o desempenho destas diferentes configurações de estar/varanda, utilizando-se do arquivo climático Futuro Intermediário + ICU, com o entorno verticalizado e carga térmica interna incluída, considerando apartamentos no 1º (3m de altura) e no 14º (41,25m de altura) pavimentos.

As configurações de estar/varanda são (Figura 100):

- Ap Base: sem inclusão de varanda;
- Ap Varanda Sombreadora: varanda incluída e não recebe fechamento, ou seja, mantém-se como um ambiente de transição entre interno e externo e funciona como um sombreador;
- Ap Varanda Envidraçada Integrada: varanda incluída e com fechamento envidraçado. Estar e varanda ficam integrados pois não há fechamento da porta entre esses ambientes;
- Ap Varanda Envidraçada com Porta Fechada: varanda incluída e com fechamento envidraçado. Estar e varanda ficam separados pela porta de vidro entre os ambientes fechada.

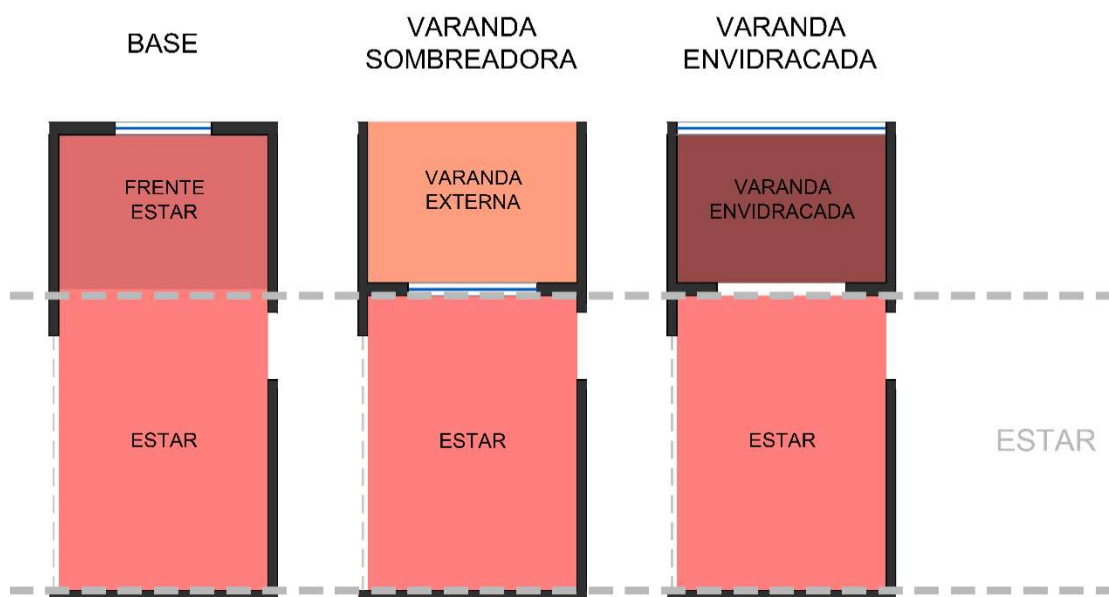


Figura 100. Subdivisão do ambiente do Estar nas configurações de apartamento: Ap Base, Ap Varanda Sombreadora e Ap Varanda Envidracada (Integrada e com Porta Estar/Varanda Fechada).

Em todos os casos os resultados foram extraídos para o ambiente do estar. No Ap Base, o estar foi subdividido em dois compartimentos para que os resultados para análise fossem extraídos do espaço (zona) de mesma posição relativa que os demais (de maneira similar ao item “Inserção de Varandas” da 1ª Fase de Simulações). É importante ter como horizonte que os resultados para o ambiente da varanda são mais críticos (amplitudes e temperaturas máximas muito mais elevadas).

A carga térmica interna foi incluída em todos os modelos, conforme o item sobre inserção da carga térmica da 1ª fase de simulações. Nos casos em que a varanda se torna um ambiente considerado interno, pela existência do fechamento envidraçado externo, a carga total do estar foi distribuída entre os ambientes Estar/Varanda. No caso do Ap Varanda Sombreadora, em que o ambiente da varanda é externo, a totalidade de carga térmica foi colocada no ambiente do estar, o que faz com que, neste caso, o valor de carga térmica por unidade de área seja maior que nos demais casos.

4.2.2.2 Casos críticos: sombreamento e taxa de ventilação

A partir dos resultados obtidos nas simulações anteriores, observa-se que as situações com menor porcentagem de conforto são:

- Em fevereiro: apartamento com Varanda Envidracada Integrada, 14º pavimento, orientação leste;
- Em julho: apartamento com Varanda Envidracada Integrada, 14º pavimento, orientação norte.

Observa-se, portanto, que os casos mais críticos ocorrem por desconforto por calor e derivam da exposição à insolação, por se tratar, em ambos os casos, do apartamento com WWR 100% (Ap Varanda Envidracada Integrada), localizarem-se no 14º pavimento (que é o menos sujeito a sombreamento pelo entorno) e, no mês de fevereiro, quando as fachadas mais

expostas à incidência de radiação solar direta são as leste e oeste, enquanto em julho ocorre inclinação solar na direção norte.

Sobre o Ap Varanda Porta Fechada: além da grande semelhança entre seu desempenho e o do Ap Varanda Integrada, sabe-se que, para o incremento da ventilação natural, é necessária a abertura da caixilharia entre os ambientes do estar e da varanda e, por isso, a varanda será considerada integrada.

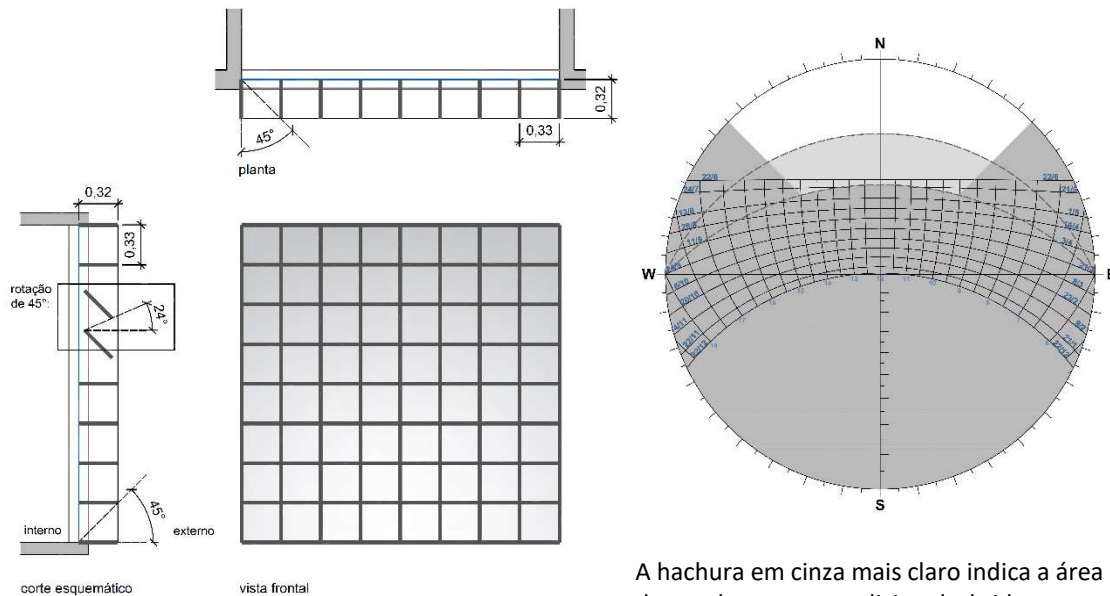
Observa-se que é muito frequente que os usuários de apartamento com caixilharia de vidro na varanda a abram de maneira parcial (por exemplo apenas 1 ou 2 folhas), o que faz com que a insolação continue a incidir sobre a superfície de vidro, ainda que a área esteja reduzida. Deste modo, a varanda continuará sendo considerada com vedação de vidro, ainda que as taxas de ventilação sejam incrementadas.

Os dois casos mencionados anteriormente foram, então, estudados isoladamente, cada um no respectivo mês, exemplificativos dos casos mais críticos.

Inicialmente foi abordada a estratégia de sombreamento. Foram estudadas opções que proporcionem sombreamento a fim de se reduzir a exposição à insolação; para tanto, foram propostos elementos sombreadores (brises). Partiu-se daqueles já estudados na 1ª Fase de Simulações, porém, revistos para esta fase dos estudos de simulações.

De maneira diferente do que ocorre com o sombreamento proporcionado pela varanda sem o fechamento envidraçado, eles foram propostos com aletas de dimensões limitadas, de maneira a não ocasionar grandes dificuldades para a retirada do ar quente por convecção. Foram propostos também de maneira a se limitarem à área da varanda envidraçada, sem se projetarem para as laterais, sombreando superfícies da vedação de outros ambientes e dificultando a possibilidade de operação no caso de serem brises móveis.

Na 1ª fase de simulações, visando as recomendações da NBR 15220 (ABNT, 2005), de aquecimento solar no período do inverno, o brise foi desenhado na orientação norte sem ocasionar sombreamento total no período do inverno. Tendo em vista, porém, os resultados verificados nesta fase, em que se adota um clima futuro e em contexto de ilha de calor (portanto com temperaturas do ar maiores), além da grande área envidraçada, verifica-se a necessidade de sombreamento também no inverno na orientação norte. Por isso o brise da 1ª fase foi reproposto com ângulos de sombra vertical e horizontal (α e β) de 45° e, no caso de rotação das aletas horizontais em 45°, o ângulo de sombra vertical (α) resultante é de 24° (Figura 101).



- $\alpha=45^\circ$ / 8 aletas horizontais. Prof. = 32cm
- $\beta= 45^\circ$ /9 aletas verticais. Prof.=32cm

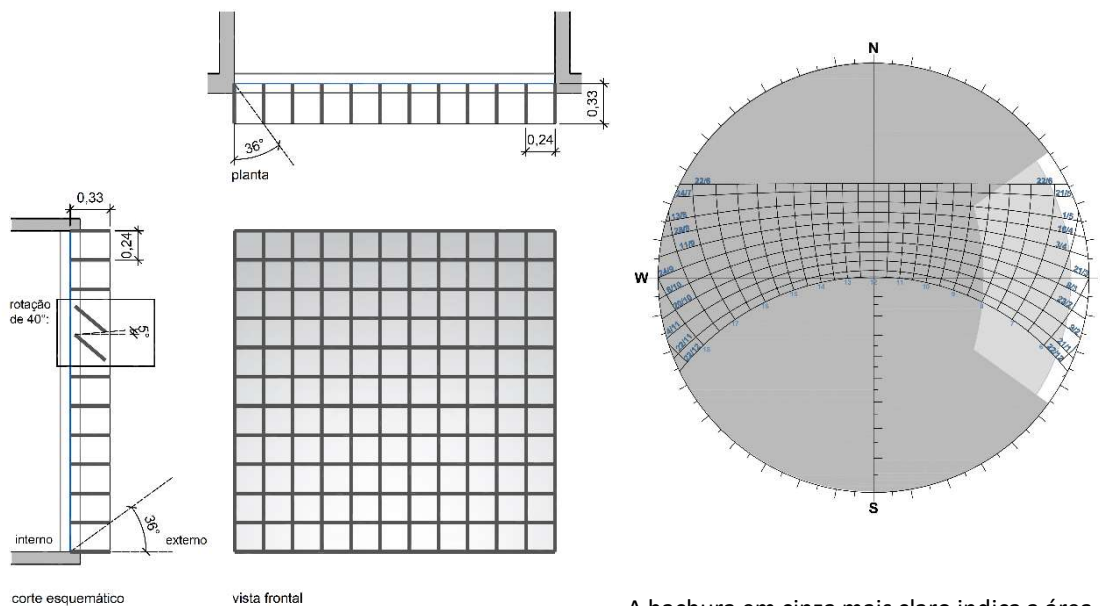
Rotação de 45° das aletas horizontais: $\alpha=24^\circ$

A hachura em cinza mais claro indica a área de sombreamento adicional obtida com a rotação das aletas horizontais em 45° . As linhas curvas pontilhadas representam o limite do sombreamento caso as aletas verticais sejam suprimidas.

Figura 101. Ângulos e máscara de sombreamento do brise na superfície envidraçada da varanda, orientação norte.

Na orientação leste utilizou-se o mesmo ângulo de sombra vertical (α) já adotado na 1ª fase de simulação, para o brise denominado “maior” naquele momento (36°), que proporciona sombreamento total da abertura entre 8h e 8h45min, dependendo da época do ano. De maneira diferente da 1ª fase de simulações, a dimensão das aletas se restringiu à dimensão da área envidraçada (2,6m x 2,6m) e, para a composição do brise, foram então incorporadas aletas verticais, de modo que o brise promova sombreamento em todos os meses do ano. A rotação das aletas horizontais em 40° faz com que o ângulo de sombreamento horizontal passe a ser 5° e, assim, proporcione sombreamento total a partir da primeira hora do dia (Figura 102).

Tendo em vista tanto a criticidade das situações estudadas, quanto o fato desse ambiente, quando com fechamento envidraçado ser utilizado como interno, foram expostos os resultados tanto para o ambiente do estar quanto da varanda, para melhor compreensão do comportamento térmico de toda a extensão do ambiente em conjunto, estar + varanda.



- $\alpha=36^\circ$ / 11 aletas horizontais. Prof. = 33cm
- $\beta=36^\circ$ / 12 aletas verticais. Prof.=33cm

A hachura em cinza mais claro indica a área de sombreamento adicional obtida com a rotação das aletas horizontais em 40° .

Rotação de 40° das aletas horizontais: $\alpha=5^\circ$

Figura 102. Ângulos e máscara de sombreamento do brise na superfície envidraçada da varanda, orientação leste.

Abordou-se, na sequência, a variação da taxa de ventilação. Foram propostas taxas de ventilação maiores, de maneira a proporcionar maior remoção de carga térmica do ambiente interno. Entende-se que na unidade estudada (que não conta com condicionamento ativo, mas opera naturalmente ventilada) o aumento das taxas de ventilação ocorrerá por abertura de janelas. A abertura do fechamento envidraçado da varanda, por exemplo, pode proporcionar grande aumento da taxa de renovação de ar. Porém, no presente caso, supõe-se a abertura apenas parcial da superfície, de modo que as taxas de renovação de ar aumentariam, mas continuaria ocorrendo a insolação na maior parte da superfície. Como, no Tas, ao se abrir a janela, será considerada a renovação de ar calculada pelo próprio modelo e não haverá mais o controle total das taxas de ventilação, optou-se por considerar a superfície envidraçada toda fechada e imputar taxas de renovação de ar pré-definidas, entendendo-se que a maior parte da superfície envidraçada ainda continua fazendo a vedação da varanda. É necessário, porém, ressaltar, que assim como ocorre ao longo de todo o trabalho, trata-se de uma busca pela representação do efeito do fenômeno sobre o desempenho e não necessariamente a maneira como ele ocorre.

Em ambas as situações estudadas partiu-se das taxas de ventilação adotadas desde o início, nesta 2ª fase de simulações, que foi de 4 R/h das 15h às 23h e 0,5 R/h (apenas infiltração pelas aberturas) das 23h às 15h. A partir dessa taxa de renovação inicial foram feitas propostas a fim de se obter maiores períodos em conforto térmico nos meses estudados em cada caso. Foram adotadas as mesmas taxas de ventilação para todos os ambientes do apartamento à exceção dos dormitórios, nos quais, no período noturno, foram mantidas taxas de 0,5R/h, considerando-se a dificuldade de deixar janelas abertas no período noturno nesses ambientes enquanto há pessoas dormindo; nos outros períodos as taxas de renovação de ar dos dormitórios foram iguais às dos demais ambientes.

Dos resultados das simulações anteriores, observando-se o mês de julho, na orientação norte com brises, há aproximadamente 90% de horas em conforto. Deste modo, o aumento das taxas de renovação de ar associado ao brise promoveria resfriamento excessivo e, conseqüentemente, aumento das horas em desconforto por frio. Por isso foram estudados incrementos nas taxas de renovação de ar na configuração sem brise. Neste caso foi adotado sempre o horário de 15h às 23h com uma taxa de ventilação maior e os demais horários (das 23h às 15h) ou 0,5 R/h, que representa apenas infiltração pelas janelas, ou 2R/h que, por sua vez, representa uma ventilação um pouco maior para esse período.

Na orientação norte, mês de julho, foram testadas as seguintes taxas de renovação de ar:

- 4R/h das 15às23h e 0,5R/h das 23às15h (original);
- 6R/h das 15às23h e 0,5R/h das 23às15h;
- 6R/h das 15às23h e 2R/h das 23às15h; e
- 10R/h das 15às23h e 2R/h das 23às15h.

Na situação mais crítica, a orientação leste no mês de fevereiro, em que não há desconforto por frio e há excessivo desconforto por calor, tendo em vista a grande demanda por resfriamento encontrada, adotou-se, para todos os casos aqui estudados, de 2 a 4 R/h no período noturno e, no período diurno, de 10 a 20, ou seja, sempre considerando a ventilação noturna presente e altas taxas de ventilação diurna. Para o período diurno, nesse caso, foram consideradas duas faixas de horários: período da tarde e da noite (das 15h às 23h) e ao longo de todo o dia (das 7h às 23h). As taxas de renovação de ar aqui propostas são maiores do que aquelas trabalhadas até o momento devido à grande demanda por resfriamento colocada pela maior superfície envidraçada, um clima em aquecimento, além de ser o mês mais quente, conforme observado nas simulações anteriores. O modelo adotado para essas simulações foi aquele com o envidraçamento externo da varanda fechado e o brise com ângulos de 36°; a taxa de ventilação que apresentou maior quantidade de horas em conforto foi também testada na situação com brise de aletas horizontais rotacionadas (maior sombreamento).

Na orientação leste, mês de fevereiro, foram testadas as seguintes taxas de renovação de ar:

- 4R/h das 15h às 23h e 0,5R/h das 23h às 15h (original);
- 10R/h das 15h às 23h e 2R/h das 23h às 15h;
- 10R/h das 7h às 23h e 2R/h das 23h às 7h;
- 10R/h das 7h às 23h e 4R/h das 23h às 7h;
- 20R/h das 7h às 23h e 4R/h das 23h às 7h; e
- 20R/h das 7h às 23h e 4R/h das 23h às 7h.

Nas situações com a taxa de ventilação original (4R/h das 15h às 23h e 0,5R/h das 23h às 15h) e naquelas em que se obteve a maior porcentagem horas em conforto foram expostos, além dos resultados para o ambiente do estar, os resultados para o ambiente da varanda, entendendo-se que, nesse caso, trata-se de um ambiente interno e, por isso, o modelo adaptativo de conforto térmico (ASHRAE 55:2017) é apropriado para sua avaliação.

4.2.2.3 Varanda com vidro aberto e sombreamento

Tendo em vista a dificuldade de se obter a maior parte do tempo em conforto no período mais quente estudado, em fevereiro, foi proposta uma última configuração de operação levando

em conta as possibilidades da varanda: o vidro do fechamento foi considerado aberto e com o elemento de sombreamento, o brise. Nesse caso o ambiente da varanda assume um caráter híbrido, pois está parcialmente protegido pelo sombreador, porém, exposto a intempéries, a exemplo de chuva e ventos (situação similar ao que ocorre nos casos de fechamento externo com elementos vazados. Neste caso foi estudado o 14^o pavimento do apartamento com a varanda, em todas as orientações. A ventilação foi mantida conforme padrão adotado para esta 2^a fase de simulações: 4R/h das 15h às 23h e 0,5R/h das 23h às 15h (para fins de parametrização, a porta entre a varanda e o estar foi mantida fechada).

4.2.2.4 Operação da varanda para o conforto térmico

Fechando esse ciclo de simulações computacionais foram, então, propostas possibilidades de operação dos fechamentos da varanda buscando o melhor conforto térmico para cada uma das 4 principais orientações solares. O objetivo foi, em todos os casos, obter pelo menos 75% de horas em conforto de modo naturalmente ventilado. Neste momento foram considerados como elementos operáveis:

- a porta entre o estar e a varanda;
- o fechamento envidraçado da varanda; e
- os brises externos, conforme demandado por cada orientação (ângulos sombreadores horizontais (α) nas orientações: norte - 45 °; sul – 68°, leste e oeste - 36°).

Tendo em vista que a maior massa térmica se mostrou positiva para a obtenção de maior conforto térmico ao longo de todo o ano, foram adotadas paredes mais espessas que aquelas originalmente praticadas: paredes externas de 30cm de espessura (no modelo original a espessura é 16cm) e paredes internas de 16cm (no modelo original a espessura é 12cm). As espessuras aqui empregadas são factíveis pelo mercado, já adotadas em imóveis de mais alto padrão no mesmo período estudado.

Para a ventilação foram adotadas taxas de renovação de ar por hora pré-determinadas. O fechamento envidraçado da varanda foi considerado ou totalmente fechado ou totalmente aberto. Nos casos em que o fechamento envidraçado da varanda ficou fechado, a porta entre estar e jantar foi considerada totalmente aberta, visando à integração dos ambientes. As aletas dos brises foram dispostas de maneira não rotacionada, por ser esta uma ação que, conforme simulações anteriores, não proporcionou grande vantagem para o conforto térmico, ao mesmo tempo em que provoca maior obstrução da vista para o exterior e o escurecimento do ambiente interno.

5 Análise dos resultados

A análise dos resultados se inicia por uma breve leitura dos arquivos climáticos gerados e posteriormente utilizados nas simulações computacionais e em seguida se debruça sobre o estudo dos resultados obtidos com todos os conjuntos de simulações computacionais termodinâmicas realizadas. As análises dos resultados são comparativas entre as propostas colocadas pelas simulações. A principal variável utilizada nas análises é a temperatura operativa (TO). Para a avaliação da condição de conforto utilizou-se o modelo de conforto adaptativo da norma ASHRAE 55 (2017).

5.1 A ilha de calor urbana na cidade de São Paulo e o acoplamento do efeito em arquivos climáticos

Tendo em vista as observações a partir do estudo das medições realizadas por Gusson e Duarte (2018), abordadas no capítulo 4, foram gerados arquivos climáticos com a incorporação do efeito da ilha de calor urbana usando o $\Delta T=1,4^{\circ}\text{C}$ (Figura 70).

Os arquivos climáticos resultantes da incorporação do efeito da ilha de calor (ICU) em cada um dos arquivos climáticos previamente elaborados, com a incorporação do efeito do aquecimento global (ALVES, 2014; ALVES *et al.* 2014a; 2014b; 2015a, 2015b, 2016), está representado na Figura 103, com todos os dados anuais e na Figura 104 representando 1 único dia (8/abril). É possível verificar a progressão da temperatura do ar entre os dados representativos dos diferentes períodos (representando o aquecimento global) e a relação de cada um deles, com a incorporação do efeito da ilha de calor: temperatura um pouco mais baixa no arquivo com inclusão do efeito da ICU nas horas próximas ao meio dia e mais altas no período noturno. A Tabela 10 apresenta a temperatura do ar, média anual, para cada um dos arquivos climáticos sendo que, entre o arquivo climático base e o cenário Futuro Próximo o incremento foi de $1,0^{\circ}\text{C}$, para o Futuro Intermediário, $2,3^{\circ}\text{C}$, e para o Futuro Distante, $3,5^{\circ}\text{C}$. A inclusão do efeito da ICU provoca um aumento médio de $0,7^{\circ}\text{C}$ com relação aos seus respectivos cenários de mudanças climáticas.

Estes arquivos climáticos foram utilizados na etapa de simulações computacionais termodinâmicas.

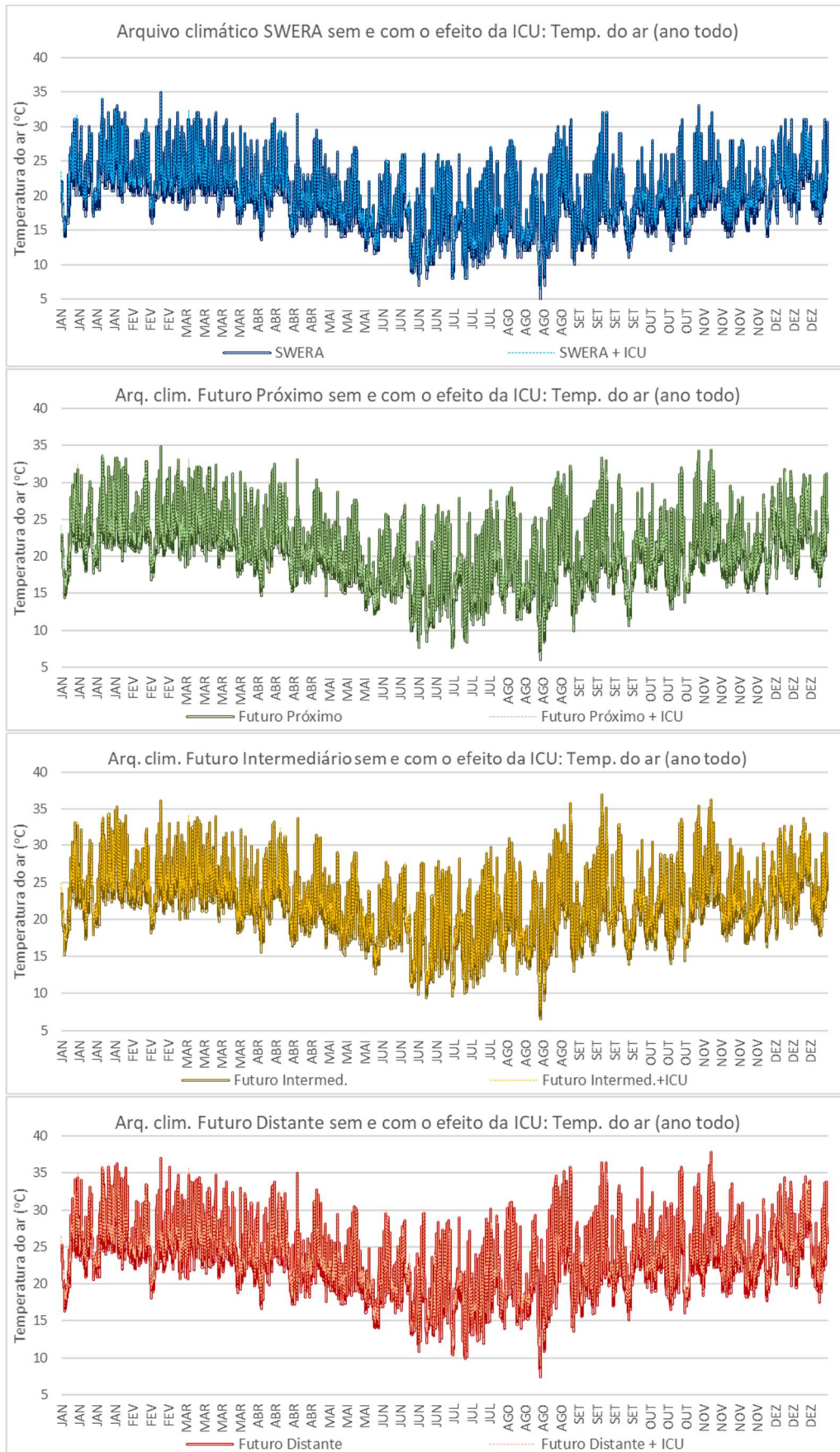


Figura 103. Arquivos climáticos gerados pela incorporação do efeito da ilha de calor urbana através do equacionamento proposto por Crawley (CRAWLEY, 2018): representação de 1 ano completo para cada arquivo climático.

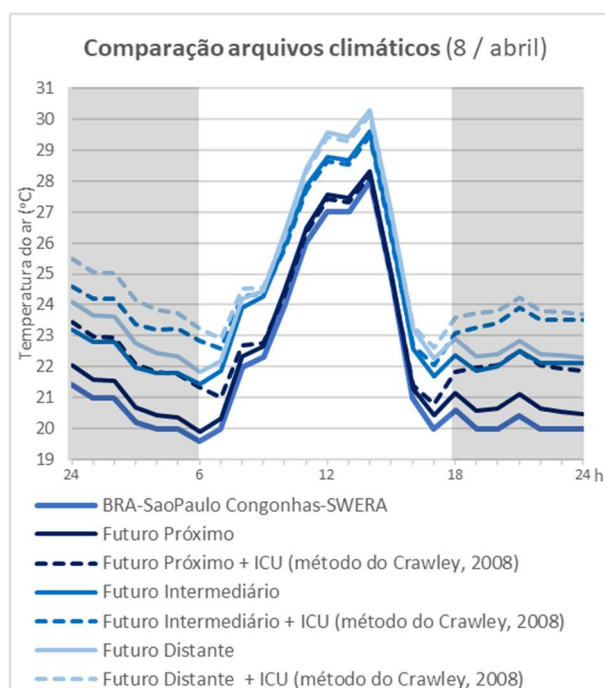


Figura 104. Arquivos climáticos gerados pela incorporação do efeito da ilha de calor urbana através do equacionamento proposto por Crawley (CRAWLEY, 2018): representação de 1 dia (8/abril).

Tabela 10. Arquivos climáticos gerados pela incorporação do efeito da ilha de calor urbana através do equacionamento proposto por Crawley (CRAWLEY, 2018): temperaturas do ar médias anuais.

	Temperatura média anual
BRA-SaoPaulo Congonhas-SWERA	19,5
Futuro Próximo	20,5
Fut. Próximo + ICU (método do Crawley, 2008)	21,2
Futuro Intermediário	21,8
Fut. Intermediário + ICU (método do Crawley, 2008)	22,5
Futuro Distante	23,0
Fut. Distante + ICU (método do Crawley, 2008)	23,7

5.2 Simulações computacionais termodinâmicas

Conforme abordado no capítulo 4, as simulações são divididas em 1ª e 2ª fases e partem de um modelo de unidade habitacional em edifício vertical denominado Ap Base, sobre o qual são feitas propostas de alterações com a finalidade de verificação do desempenho decorrente. Os resultados expostos, de maneira geral, se referem ao ambiente do estar e são analisados comparativamente entre as propostas submetidas à simulação computacional.

5.2.1 1ª Fase de Simulações

A 1ª fase de simulações utiliza-se de arquivo climático padrão para a cidade de São Paulo, considera a unidade habitacional desocupada e não considera o entorno verticalizado. Esta fase se divide em 2 grupos: fatores intrínsecos e fatores externos ao edifício. Nos fatores intrínsecos são abordados aspectos construtivos e de uso e ocupação. Nos fatores externos, cenários climáticos e sombreamento pelo entorno verticalizado.

5.2.1.1 Fatores intrínsecos ao edifício: aspectos construtivos

Neste item são avaliados os efeitos da orientação solar, da inserção de brises, variação da espessura das paredes externas da unidade habitacional, variação da área envidraçada (WWR) do estar e inserção de uma varanda (em algumas diferentes configurações) neste ambiente.

Orientação solar

O primeiro conjunto de simulações dos fatores intrínsecos ao edifício/aspectos construtivos aborda o desempenho do ambiente do estar nas 4 principais orientações solares: norte (N), sul (S), leste (E) e oeste (W).

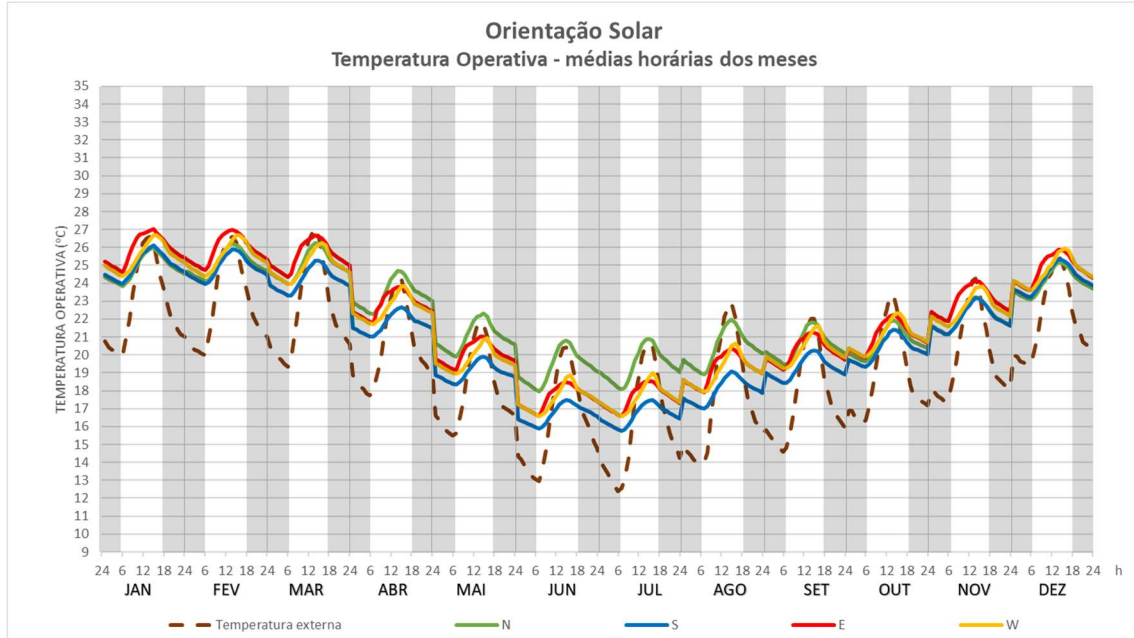


Figura 105. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos de orientação solar do ambiente do estar.

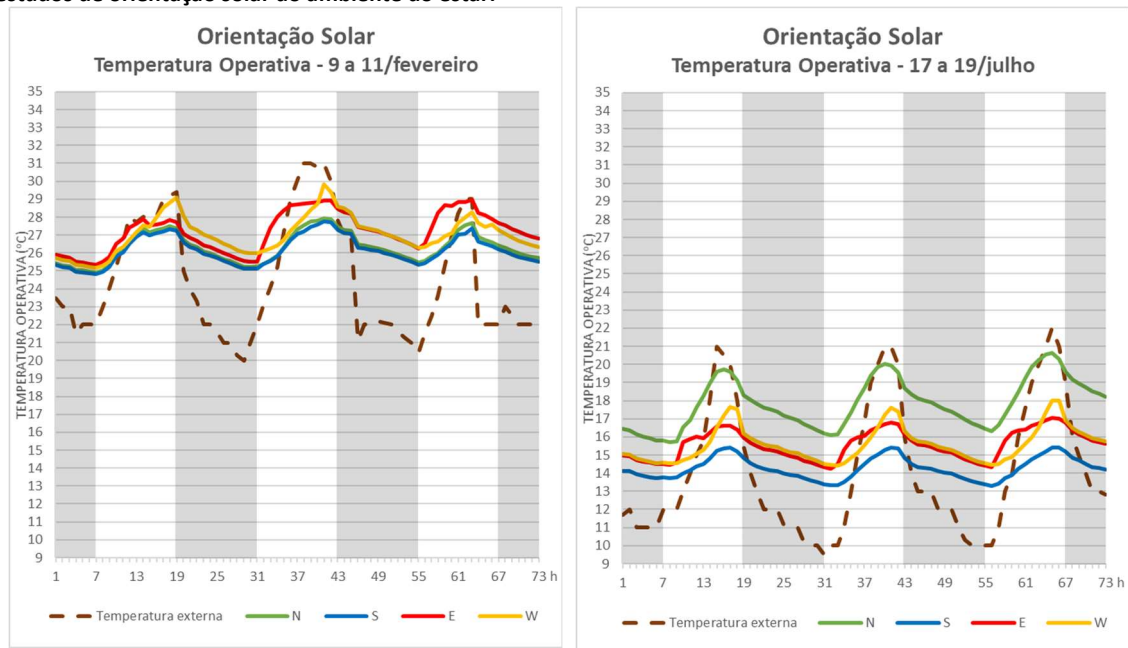


Figura 106. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de orientação solar do ambiente do estar.

Tabela 11. Temperaturas médias, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os meses de fevereiro e julho para estudos de orientação solar.

		Orientação Solar			
		N	S	E	W
Média	fev	25,1	24,9	25,9	25,5
	jul	19,4	16,6	17,6	17,6
Média das máximas	fev	26,4	26,2	27,2	27,1
	jul	21,1	17,6	18,7	19,1
Média das mínimas	fev	24,0	23,9	24,6	24,4
	jul	17,9	15,6	16,4	16,4
Média das amplitudes diárias	fev	2,4	2,3	2,7	2,7
	jul	3,2	2,0	2,3	2,7

Da leitura dos resultados (Figura 105, Figura 106 e Tabela 11) nota-se que, com relação às demais orientações, a norte proporciona temperaturas operativas (TO) mais amenas no verão e mais aquecidas no inverno, conforme esperado; as orientações leste e oeste tendem a se manter mais elevadas no verão (principalmente a leste que se aquece rapidamente pela manhã e leva mais tempo para se beneficiar das temperaturas mais baixas no fim da tarde e noite) e também tendem a apresentarem uma situação intermediária entre o desempenho das orientações norte e sul no inverno; a orientação sul, por sua vez, se mantém menos aquecida que as demais ao longo de todo o ano sendo que, no verão, apresenta TO muito semelhante à da orientação norte e no inverno notavelmente mais baixa. Em termos de média mensal, no mês de julho na orientação norte a TO fica 1,8°C acima das orientações leste e oeste e 2,8°C acima da sul no estar. No mês de fevereiro, por sua vez, a fachada leste (a mais aquecida) fica a 0,4°C acima da oeste e 1,0°C acima da sul (a menos aquecida).

Nas orientações norte e sul (em especial a norte), a dualidade de desempenho entre verão e inverno (aqui representada por fevereiro e julho) é mais significativa, devido às características de posicionamento solar ao longo do ano, já abordadas no capítulo 4. Quanto às orientações leste e oeste, a variação de inclinação solar é menos sentida em termos anuais e não há alteração de padrão de desempenho ao longo do ano (na orientação leste, o ambiente continua se aquecendo pela manhã e mantendo TO mais altas durante o dia, enquanto na oeste o maior aquecimento se dá no período da tarde, quando há um pico de TO bastante evidente).

Para melhor compreensão do comportamento térmico das unidades leste e oeste, os gráficos da Figura 107 representam as temperaturas do ar e radiante média junto com os dados de ganhos solares. Pode-se visualizar claramente que os ganhos solares no estar da unidade ocorrem entre 7h e 19h em fevereiro e entre 8h e 18h em julho, o que corresponde ao período de insolação do dia. Na orientação leste, o maior ganho de calor ocorre pela manhã, quando há incidência solar direta nesta fachada e há uma brusca queda no período da tarde, quando esta fachada recebe apenas radiação indireta; o maior ganho de calor corresponde a 652W às 9h do dia 10/fev. O inverso ocorre na orientação oeste, que recebe radiação direta apenas no período da tarde, quando pode-se verificar brusco aumento dos ganhos solares. O maior ganho solar verificado para o ambiente de orientação oeste entre os dias representados foi de 685W às 16h, também no dia 10/fev. Em geral, como pode ser observado nos gráficos, os picos de ganhos solares da orientação oeste atingem valores mais elevados que a orientação leste, à exceção do dia 11/fev, quando se pode verificar aumento da nebulosidade (atingiu o valor de 90%) no período da tarde.

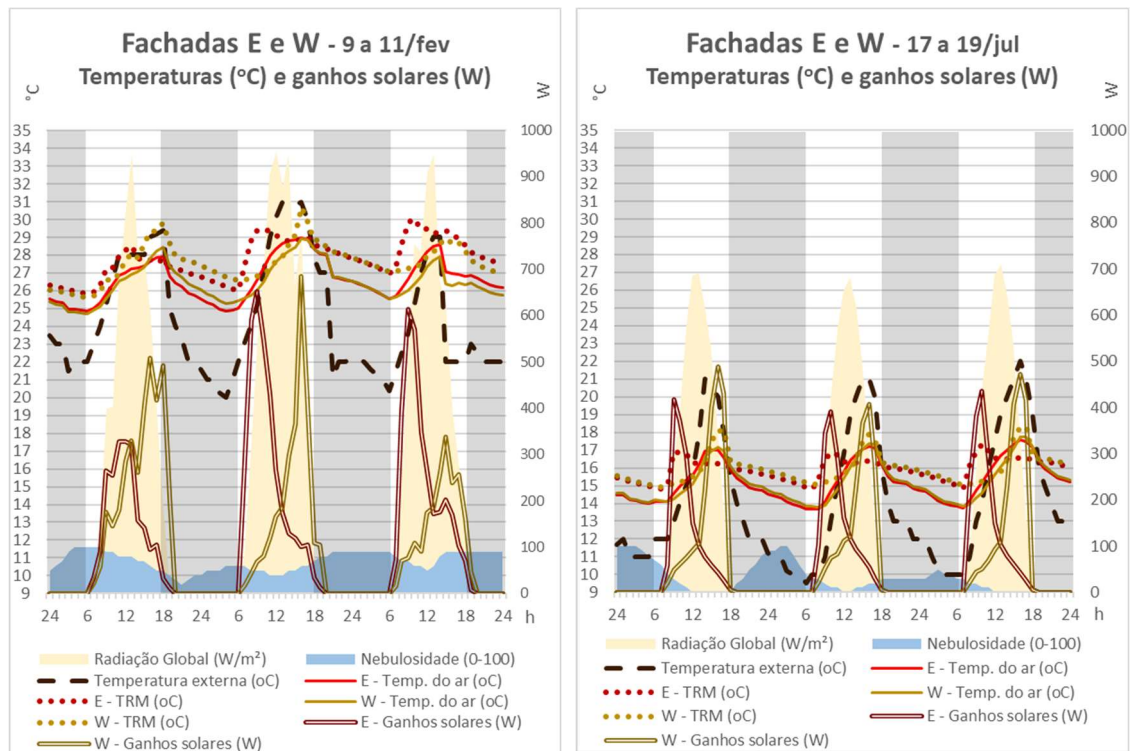


Figura 107. Parâmetros externos (radiação global, nebulosidade e temperatura do ar) e parâmetros internos do ambiente do estar (temperatura radiante e ganhos solares das orientações leste e oeste dos períodos (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul).

Brisas

O segundo conjunto de simulações dos fatores intrínsecos ao edifício/aspectos construtivos avalia o efeito da inserção de brises na janela do estar, nas 4 principais orientações. Os resultados para as diferentes orientações foram expostos em gráficos e tabela conjuntos para todas elas (Figura 108, Figura 109 e Tabela 12).

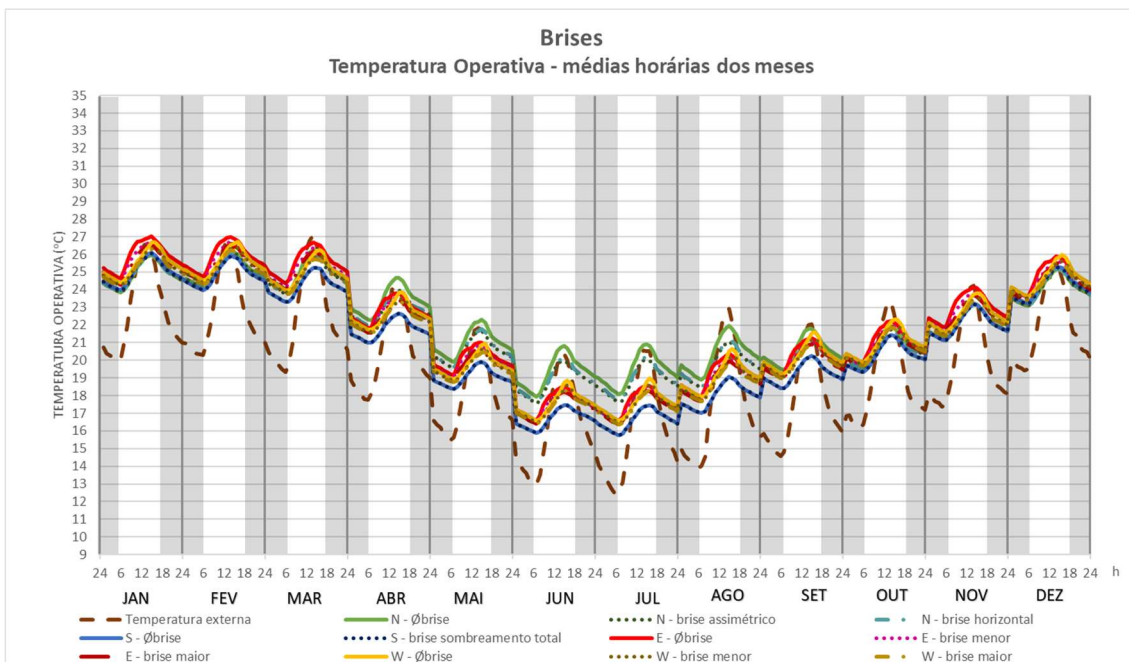


Figura 108. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos de brisas nas 4 principais orientações solares.

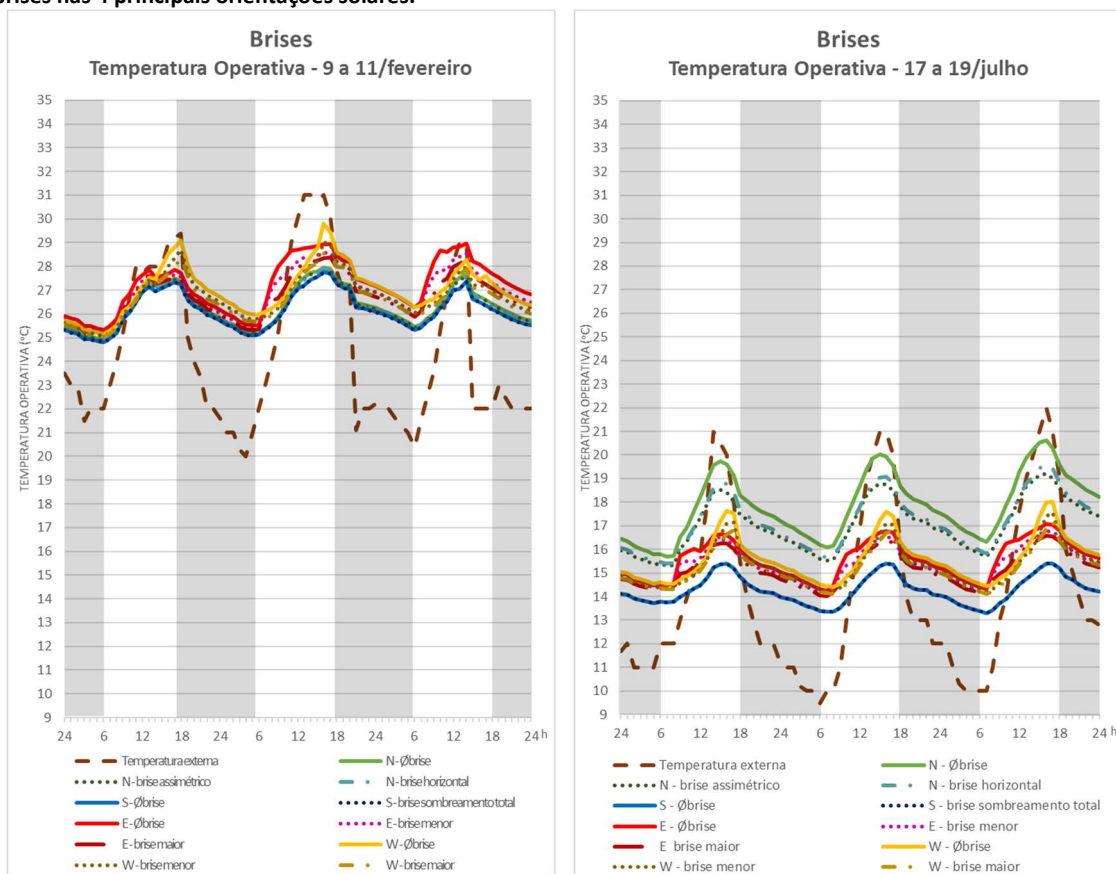


Figura 109. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de inserção de brisas nas 4 principais orientações solares.

Tabela 12. Temperaturas médias, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os meses de fevereiro e julho para estudos de inserção de brises nas 4 principais orientações solares.

		Brises										
		N			S		E			W		
		∅brise	brise assimé	brise horizo	∅brise	brise	∅brise	brise menor	brise maior	∅brise	brise menor	brise maior
Temperatura média	fev	25,1	25,0	25,0	24,9	24,9	25,9	25,6	25,5	25,5	25,3	25,2
	jul	19,4	18,8	18,9	16,6	16,6	17,6	17,4	17,3	17,6	17,4	17,3
Média das máximas	fev	26,4	26,4	26,4	26,2	26,2	27,2	27,0	26,8	27,1	26,8	26,6
	jul	21,1	20,2	20,4	17,6	17,6	18,7	18,6	18,4	19,1	18,8	18,6
Média das mínimas	fev	24,0	24,0	24,0	23,9	23,8	24,6	24,4	24,3	24,4	24,3	24,2
	jul	17,9	17,5	17,5	15,6	15,6	16,4	16,3	16,2	16,4	16,3	16,2
Média das amplitudes diárias	fev	2,4	2,4	2,4	2,3	2,3	2,7	2,5	2,5	2,7	2,5	2,4
	jul	3,2	2,8	2,9	2,0	2,0	2,3	2,3	2,2	2,7	2,5	2,4

Dos resultados de temperatura operativa das propostas sem e com brise para a orientação solar norte percebe-se que, no período do verão, a inclusão do brise praticamente não provoca alterações na TO do ambiente interno, conforme esperado, já que as elevadas alturas solares nesse período justificam a pequena penetração da radiação solar que incide sobre a janela, conforme discutido no capítulo 4. A diferença de TO entre as simulações com e sem brise na média do mês de fevereiro é de 0,1°C (e entre os dois modelos de brise é 0), ou seja, não são perceptíveis ao usuário. No inverno, por sua vez, percebe-se que há redução da temperatura operativa do ambiente devido à inserção do brise. O desempenho resultante da inserção de ambos os desenhos propostos é semelhante, sendo que o brise assimétrico, pelo sombreamento da radiação direta proporcionado nas horas da tarde na maior parte do ano, resulta em uma redução um pouco maior da TO interna, em relação ao brise horizontal. A maior redução de TO pela inclusão dos brises ocorre no período da tarde, sendo que, dos dias expostos, a maior redução verificada foi de 1,4°C para o brise assimétrico e de 1,1°C para o brise horizontal, entre as 15h e as 16h do dia 19/jul.

Na orientação sul o elemento sombreador praticamente não ocasiona alterações na temperatura operativa do ambiente estudado ao longo de todo o ano.

Da introdução de brises nas orientações leste e oeste, pode-se verificar uma pequena redução nas temperaturas do ambiente, que é maior para o brise que promove o maior sombreamento (“brise maior”) em ambas as orientações. Dos dias representados nos gráficos, as maiores reduções de temperatura devido à inserção dos brises nessas orientações ocorre, para a orientação leste, entre 9h e 10h do dia 11/fev e tem o valor de 1,4°C e para a orientação oeste é de 1,3°C às 16h do dia 10/fev (Figura 112).

Nos padrões de redução de TO médias anuais por horário do dia é possível verificar que as maiores reduções de temperatura na orientação leste ocorrem por volta de 10h, sendo que a redução média anual para este horário é de 0,4°C e 0,7°C (brise menor e brise maior respectivamente) e, na orientação oeste, por volta das 16h, sendo as reduções médias de TO para este horário de 0,3°C e 0,6°C, ou seja, na fachada leste, pela manhã, e na oeste, pela tarde, períodos em que o sombreamento da radiação direta ocorre nas respectivas orientações (Tabela 13).

Da leitura da eficiência apresentada pelos brises pode-se dizer que sua inclusão foi mais eficiente (resultou em maior redução da TO do ambiente): nas orientações leste e oeste, em especial em fevereiro; e na orientação norte, no inverno.

Tabela 13. Redução de TO devido à inserção de brise nas orientações leste e oeste. Para o cálculo foram consideradas as diferenças entre temperaturas médias para cada horário ao longo do ano de simulações, entre a situação sem brise e com brise.

		Redução de TO médias anuais por horário do dia																							
brise		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Leste	menor	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	maior	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,7	0,7	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Oeste	menor	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	maior	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	0,6	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

Espessura das paredes externas

O terceiro conjunto de simulações dos fatores intrínsecos ao edifício/aspectos construtivos trabalha com variação da espessura das paredes externas da unidade. A espessura, no modelo base, é de 16cm (e 12cm para paredes internas) e foram estudadas, além da espessura inicial, 12cm, 25cm e 30cm.

Os resultados mostram que o aumento da espessura das paredes externas (aumento de massa térmica) tem como consequência a maior inércia térmica, reduzindo as amplitudes de TO e também aumentando as TO médias. Entre as simulações com a menor (12cm) e a maior (30cm) espessura de paredes externas estudadas, há uma redução nas amplitudes médias diárias de 0,3°C para fevereiro e de 0,4°C para julho e aumento de TO média de 0,3°C em ambos os meses (Tabela 14). O impacto observado, portanto, tem pequena ordem de grandeza. O padrão de alteração no desempenho observado é o mesmo ao longo de todo o ano (sem efeitos de sazonalidade) (Figura 110 e Figura 111).

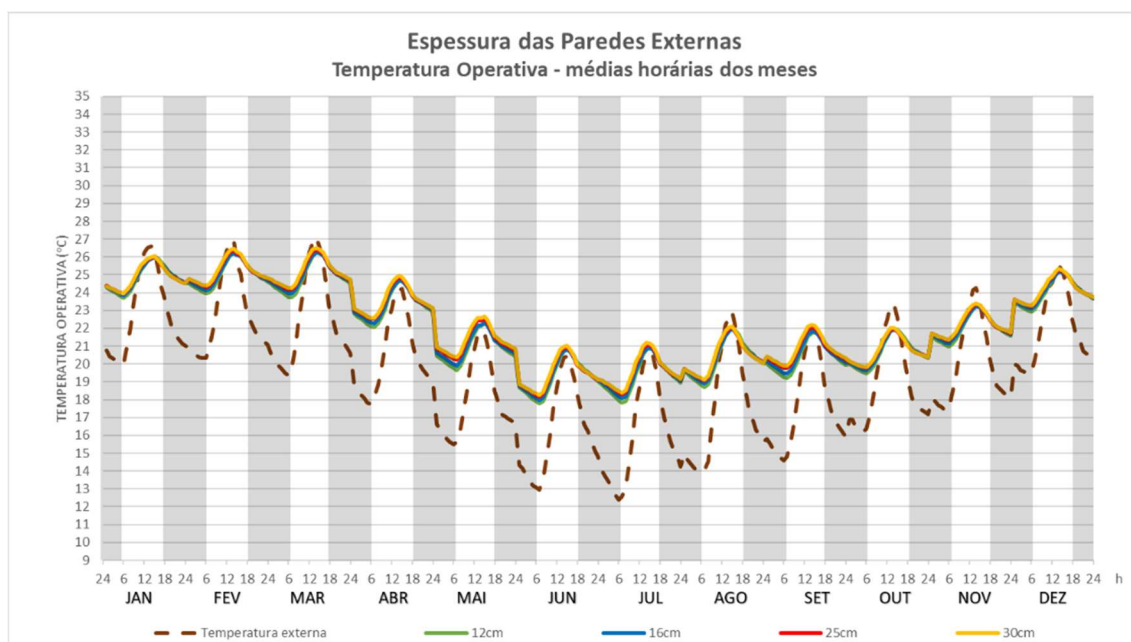


Figura 110. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos de espessura das paredes externas.

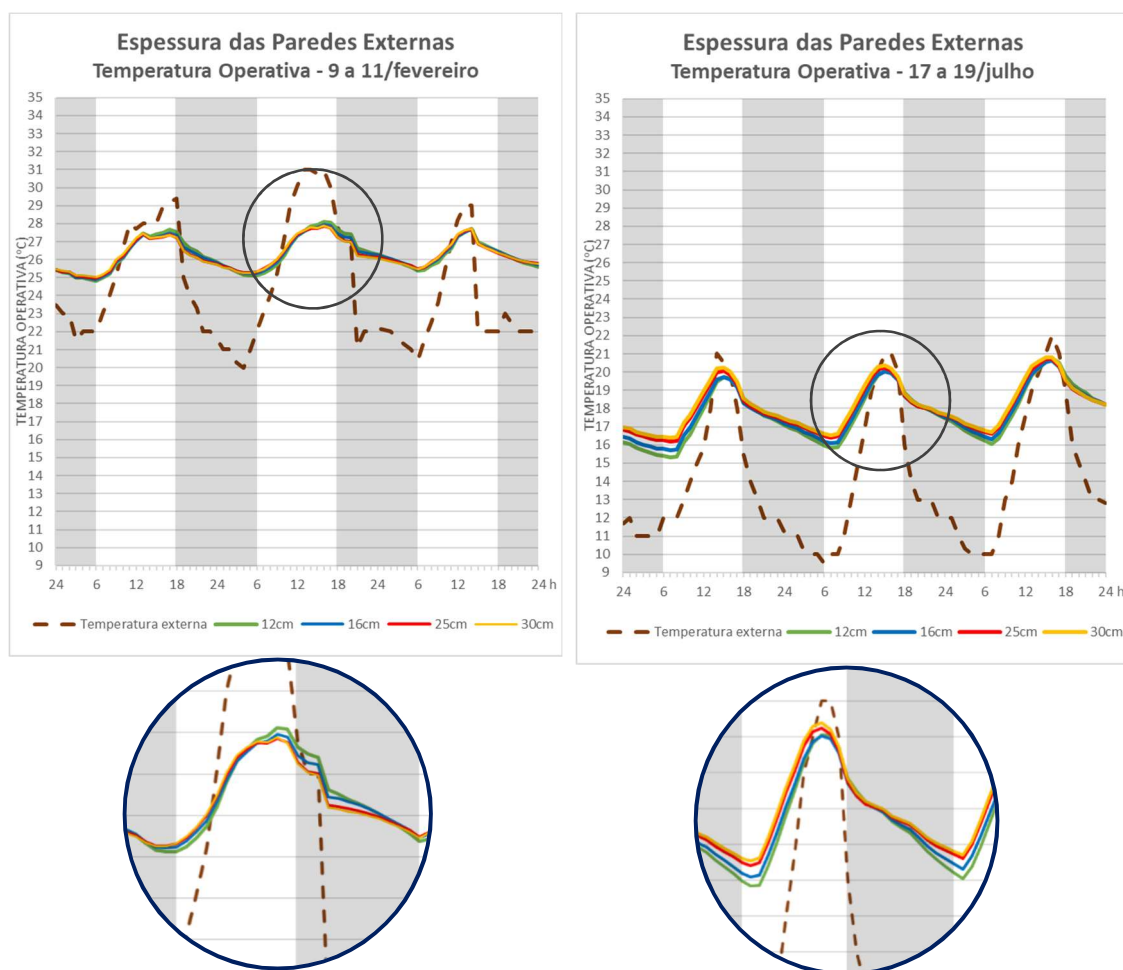


Figura 111. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de espessura das paredes externas.

Tabela 14. TO médias, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os meses de fevereiro e julho para estudos de espessura das paredes externas.

		Espessura das paredes externas			
TO em °C		12cm	16cm	25cm	30cm
Média	fev	25,0	25,1	25,2	25,3
	jul	19,3	19,4	19,6	19,6
Média das máximas	fev	26,5	26,4	26,6	26,6
	jul	21,1	21,1	21,3	21,4
Média das mínimas	fev	23,8	24,0	24,2	24,3
	jul	17,6	17,9	18,2	18,2
Média das amplitudes diárias	fev	2,6	2,4	2,3	2,3
	jul	3,5	3,2	3,1	3,1

Taxa de área de vedação envidraçada (*Window to Wall Ratio – WWR*)

O quarto conjunto de simulações dos fatores intrínsecos ao edifício/aspectos construtivos trabalha com variação da taxa de área da vedação externa do estar (WWR). O apartamento Base tem WWR de 20% e foram estudados, além deste, os seguintes WWR: 10%, 30% e 50%, este último adquirindo dimensionamento e posição de uma porta (1,6m x 2,1m: similar a uma porta de acesso a uma varanda externa).

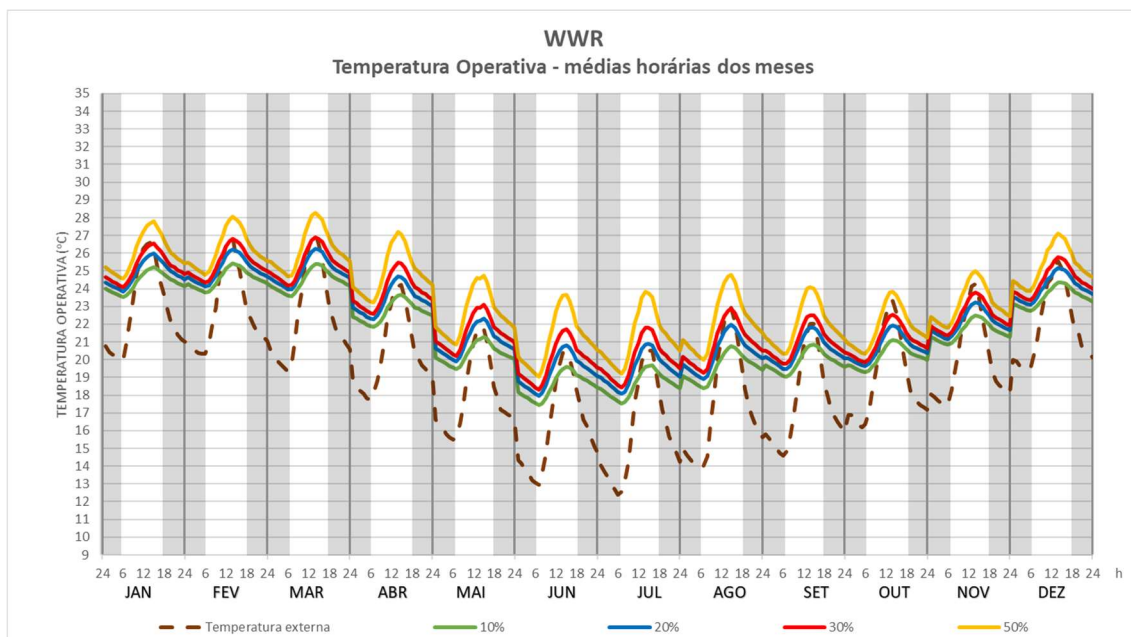


Figura 112. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos de diferentes WWR.

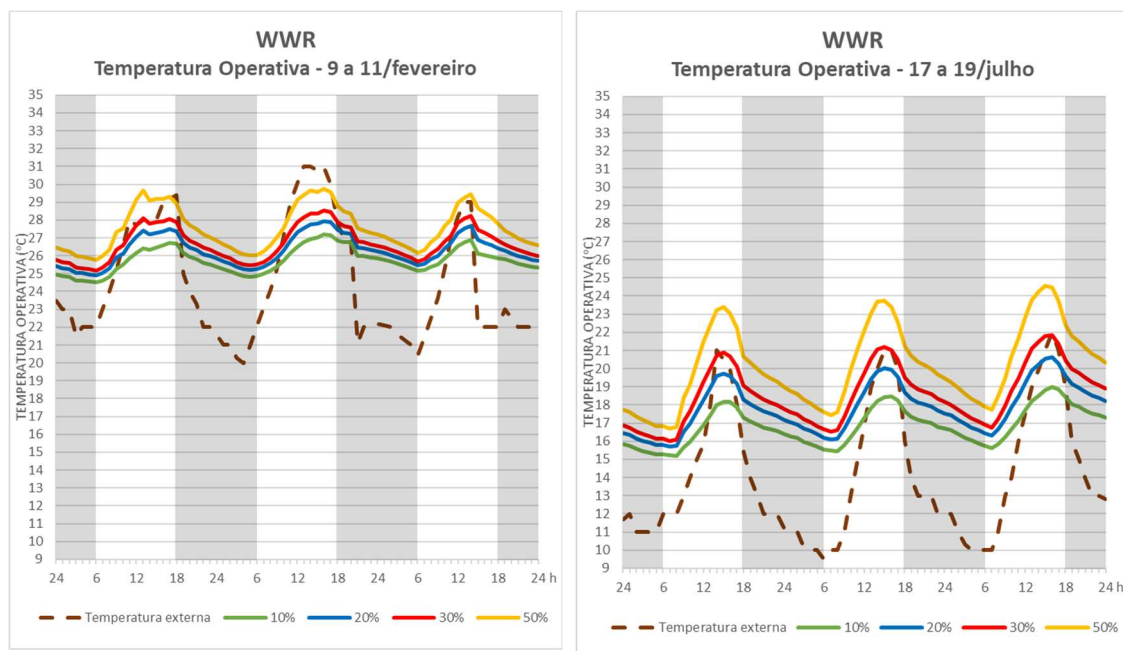


Figura 113. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de diferentes WWR.

Tabela 15. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os meses de fevereiro e julho para estudos de diferentes WWR.

		WWR			
TO em °C		10%	20%	30%	50%
Média	fev	24,6	25,1	25,4	26,2
	jul	18,6	19,4	20,0	21,3
Média das máximas	fev	25,7	26,4	27,0	28,3
	jul	19,9	21,1	22,1	24,1
Média das mínimas	fev	23,7	24,0	24,2	24,7
	jul	17,4	17,9	18,3	19,0
Média das amplitudes diárias	fev	2,0	2,4	2,8	3,6
	jul	2,5	3,2	3,8	5,1

O aumento da porcentagem de área envidraçada em relação à área total do ambiente do estar/jantar tem como consequência direta a perda de resistência térmica e aumento da TO do ambiente, tanto no período do inverno quanto do verão (Figura 112) e está entre os impactos mais significativos nesta 1ª fase de simulações.

A perda de resistência térmica (em oposição ao que ocorre quando do aumento das espessuras das paredes) e maior entrada de radiação é verificada através do aumento das amplitudes térmicas diárias que, entre o Ap Base e de WWR 50% é, em valores médios mensais, 1,2°C em fevereiro e 1,9°C em julho (Tabela 15). Destaca-se, principalmente, que esse aumento de amplitudes ocorre tanto por aumento das médias das mínimas quanto das médias das máximas, com valores mais acentuados para o aumento das médias das máximas, nas horas mais quentes do dia (Figura 113 e Tabela 15). Enquanto o aumento médio das temperaturas mínimas entre os casos Ap Base e WWR 50% para fevereiro e julho são respectivamente 0,7°C e 1,1°C, os incrementos de temperaturas máximas verificados entre as mesmas situações são de 1,9°C e 3,0°C. Consequentemente, entre o caso do Ap Base (WWR 20%) e a proposta com WWR de 50% há um aumento de TO médias no mês de fevereiro de 1,1°C e de julho de 1,9°C.

Dos dias apresentados na Figura 113, a maior TO ocorre para o modelo com WWR 50% no dia 9/fev às 13h e no dia 10/fev às 16h, com valor de TO 29,7°C (enquanto a TO do Ap Base era, respectivamente, 27,4°C e 27,2°C). A maior amplitude diária verificada nesses gráficos, por sua vez, ocorreu no dia 19/jul e foi de 6,8°C (no mesmo dia, a amplitude do Ap Base foi de 4,3°C).

Inserção de varandas

O quinto conjunto de simulações trata da inserção de uma varanda no ambiente do estar (com algumas variações de dimensão e configuração), conforme Figura 91.

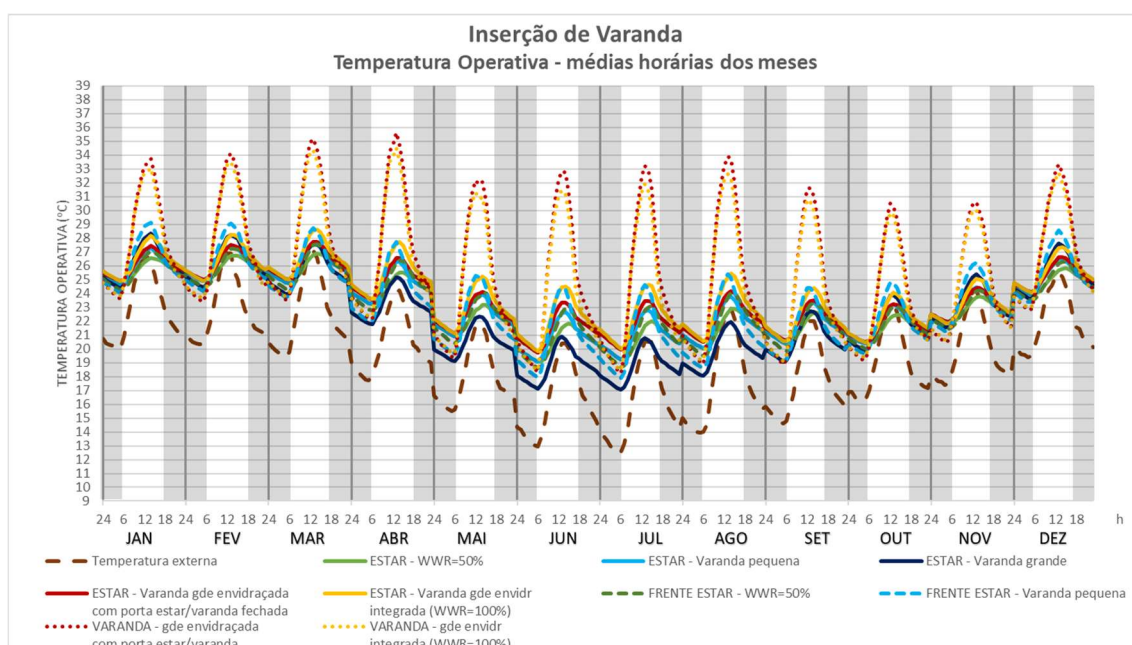
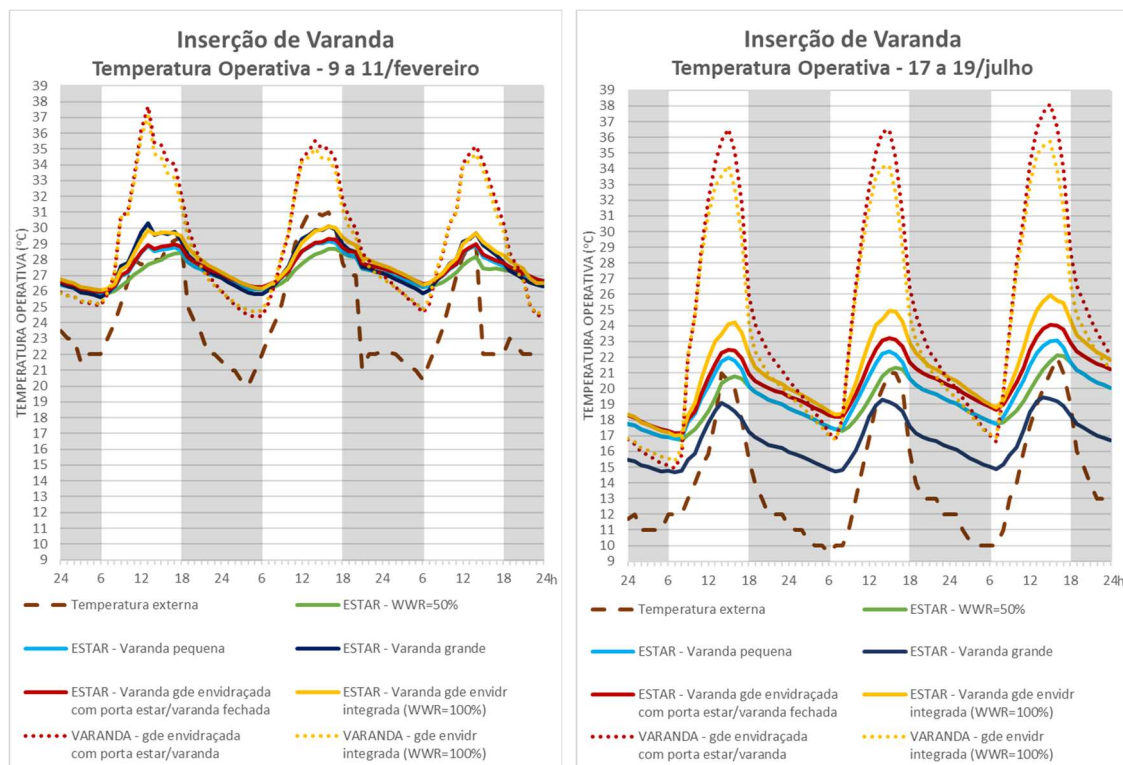


Figura 114. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos de inserção de varandas.



Nota: Estes gráficos tiveram a Temperatura Operativa máxima do eixo vertical aumentada com relação aos demais gráficos, devido à grande amplitude e altas temperaturas das varandas dos modelos simulados.

Figura 115. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de inserção de varandas.

Tabela 16. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os meses de fevereiro e julho para estudos de inserção de varandas.

		Inserção de Varanda						
		ESTAR - Var.		ESTAR - Var.		VARANDA		
		Gde Envidr.		Gde Envidr.		Gde Envidr.		
		com porta		com porta		com porta		
		estar/var.		integrada		integrada		
		fechada		(WWR=100%)		fechada		
		(WWR=50%)				(WWR=100%)		
(TO em °C)		ESTAR - WWR=50%	ESTAR - Varanda pequena	ESTAR - Varanda grande	ESTAR - Var. com porta estar/var. fechada	ESTAR - Var. Gde Envidr. integrada (WWR=100%)	VARANDA com porta estar/var. fechada	VARANDA Gde Envidr. integrada (WWR=100%)
Temperatura média	fev	25,8	26,1	26,1	26,1	26,4	27,7	27,5
	jul	20,6	20,9	18,7	21,6	22,1	24,3	23,7
Média das máximas	fev	27,0	27,7	28,6	27,8	28,5	35,0	34,4
	jul	22,2	23,0	21,0	23,8	25,0	33,9	32,5
Média das mínimas	fev	24,8	24,8	24,4	24,9	24,8	23,2	23,4
	jul	19,0	19,1	16,9	19,7	19,8	17,9	18,2
Média das amplitudes diárias	fev	2,2	2,9	4,3	2,9	3,7	11,8	10,9
	jul	3,2	4,0	4,1	4,0	5,2	16,0	14,3

Dos resultados obtidos através das simulações com inserção de varandas, expostos nas Figura 114, Figura 115 e Tabela 16 percebe-se que, em fevereiro, as menores TO são encontradas no apartamento sem varanda (apartamento com WWR 50%). Dos resultados observados nos estudos com brise (já apresentados neste capítulo), sabe-se que, na orientação norte, pelas grandes alturas solares no verão e, conseqüentemente, pequena penetração da radiação pela abertura, o elemento sombreador não é determinante na redução da TO interna. A inserção da varanda, ainda que se mantendo a mesma área envidraçada do caso sem varanda, teve efeito de aumento da TO no estar, aumento que foi maior para o caso com a varanda grande do que para o caso com a varanda pequena. Entende-se que isso ocorre devido à área

de varanda criada favorecer o acúmulo de calor nas suas próprias superfícies (paredes, cobertura e piso externos) e também pela redução do resfriamento dessas superfícies por convecção. Há que se considerar também a subdivisão da zona do estar realizada no modelo de simulação, de modo que o estar do apartamento sem varanda fica mais afastado da superfície envidraçada e esse afastamento é reduzido progressivamente no estar com varanda pequena e com varanda grande (Figura 92).

No dia 10/fev, às 16h, a TO do estar do apartamento sem varanda está 0,5°C abaixo da TO do apartamento com varanda pequena e 1,4°C abaixo do apartamento com varanda grande. No período da manhã, às 6h, por sua vez, o apartamento sem varanda e com varanda pequena apresentaram TO iguais e o modelo com a varanda grande, 0,3°C abaixo dos anteriores. Há, portanto, aumento das amplitudes térmicas diárias com o aumento da varanda (e consequente redução do ambiente do estar como um todo) pela proximidade com a área envidraçada, o que favorece ganhos e perdas de calor.

No inverno, quando a altura solar é menor, o sombreamento expressivo promovido pela varanda grande faz com que o estar do apartamento com essa configuração apresente TO significativamente mais baixa do que os demais casos: no dia 18/jul, às 6h, ele está 2,7°C abaixo do estar sem varanda e, às 16h, 2,4°C abaixo do mesmo. A TO máxima nos casos sem varanda, com varanda pequena e com varanda grande ocorreram respectivamente às 16/17h, às 15h e às 12h, o que mostra a perda de inércia térmica do ambiente representada pela posição do Estar em relação à área envidraçada.

O envidraçamento da varanda grande, por sua vez, transforma a mesma em um ambiente interno, diferentemente das situações anteriores, quando ela faz o papel de um ambiente de transição entre externo e interno. O efeito prático desse envidraçamento é um ambiente único entre estar e varanda (como exemplificado na Figura 40) e a vedação do estar passa a ser 100% de vidro (WWR 100%). Esse aumento do WWR tem um potencial ainda maior de aquecimento, em relação aos casos abordados anteriormente, por facilitar ganhos e perdas de calor.

Isso se reflete no aumento da média das amplitudes diárias de TO, tanto para o mês de fevereiro quanto de julho, que é maior do que todos os demais valores para o ambiente do estar (3,7°C no mês de fevereiro e 5,2°C no mês de julho), enquanto na situação sem varanda (WWR50%), os valores médios de amplitudes diárias para os respectivos meses foram de 2,2°C e 3,2°C (Tabela 16). Por outro lado, a manutenção da porta entre os ambientes estar e varanda fechada, ainda que considerada uma infiltração de 3% do vão pela caixilharia, faz com que a varanda funcione como uma espécie de “buffer” entre o estar e o ambiente externo. Isso faz com que as amplitudes diárias no estar sejam reduzidas com relação ao caso com a varanda integrada (2,9°C e 4,0°C para fevereiro e julho, respectivamente, valores iguais aos observados no caso da inserção da varanda pequena, sem envidraçamento).

Além das maiores amplitudes, o estar da configuração com a varanda envidraçada integrada é também o que registra as maiores TO médias e máximas e, no caso das mínimas, os valores são muito próximos aos encontrados na situação em que a porta entre estar e varanda está fechada. A integração (estar/varanda) possibilita maior circulação de ar entre os ambientes e faz tanto com que a TO do estar seja mais alta, quanto que a TO na varanda seja um pouco mais amena que no caso anterior.

Com um olhar para a TO obtida especificamente no ambiente da varanda em ambos os casos em que ela se torna um ambiente interno (com envidraçamento externo: WWR100%)

observa-se temperaturas operativas que se sobressaem muito das demais, tanto pelos valores máximos atingidos, quanto pela sua amplitude térmica (sendo os valores mínimos inferiores aos demais analisados). Nos resultados de desempenho térmico desses ambientes, são muito evidentes as altas temperaturas operativas atingidas em ambos os modelos. Aquelas no caso da varanda isolada pela porta são ainda maiores, devido à menor convecção que ocorre com o ambiente do estar, atingindo, conforme a Figura 115, valores entre 35°C e 40°C, tanto em fevereiro quanto em julho. É possível observar que, no mês de julho, ainda que a temperatura do ar externo seja mais baixa, a menor altura solar (orientação norte) faz com que a TO seja ainda mais alta que a observada em fevereiro.

Para melhor compreensão do desempenho do ambiente do estar, que nos modelos sem varanda e com varanda pequena foi subdividido em Estar e FrenteEstar (Figura 92), a Figura 116 apresenta os dados de TO para ambos os ambientes nos dias 9 a 11/fev e 17 a 19/jul. Pode-se, então, perceber o quanto a porção FrenteEstar, em ambos os casos, apresenta TO com maiores amplitudes e sublinha-se o quanto as TO máximas são mais altas para estes ambientes do que para o ambiente Estar, principalmente devido à sua interseção com a superfície envidraçada. O ambiente FrenteEstar também apresenta dimensões menores que o ambiente Estar (no caso do Ap Varanda Pequena, o ambiente Frente Estar é ainda menor que no Ap sem varanda).

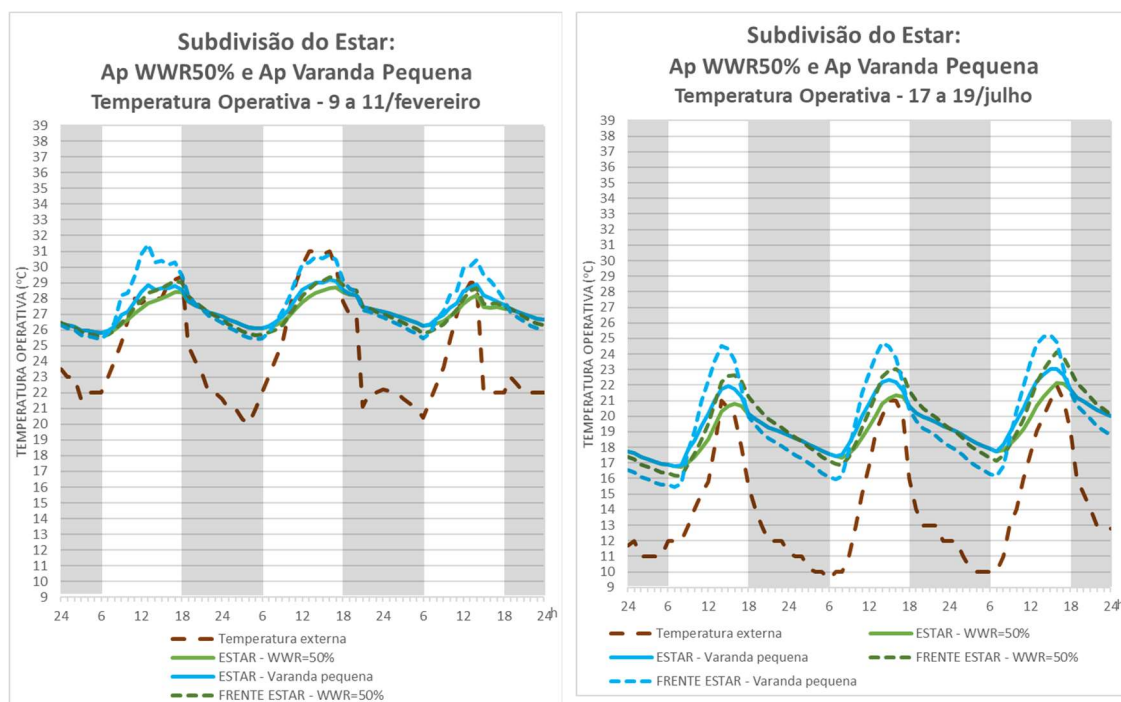


Figura 116. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudo do desempenho dos ambientes derivados da subdivisão do estar dentro do estudo de inserção de varanda.

5.2.1.2 Fatores intrínsecos ao edifício: uso e ocupação

Inclusão de carga térmica

No primeiro conjunto de simulações dos fatores intrínsecos ao edifício/uso e ocupação é avaliada a inclusão de carga térmica considerando uma agenda simplificada, com ocupação da unidade por 3 moradores, conforme detalhado no capítulo 4.

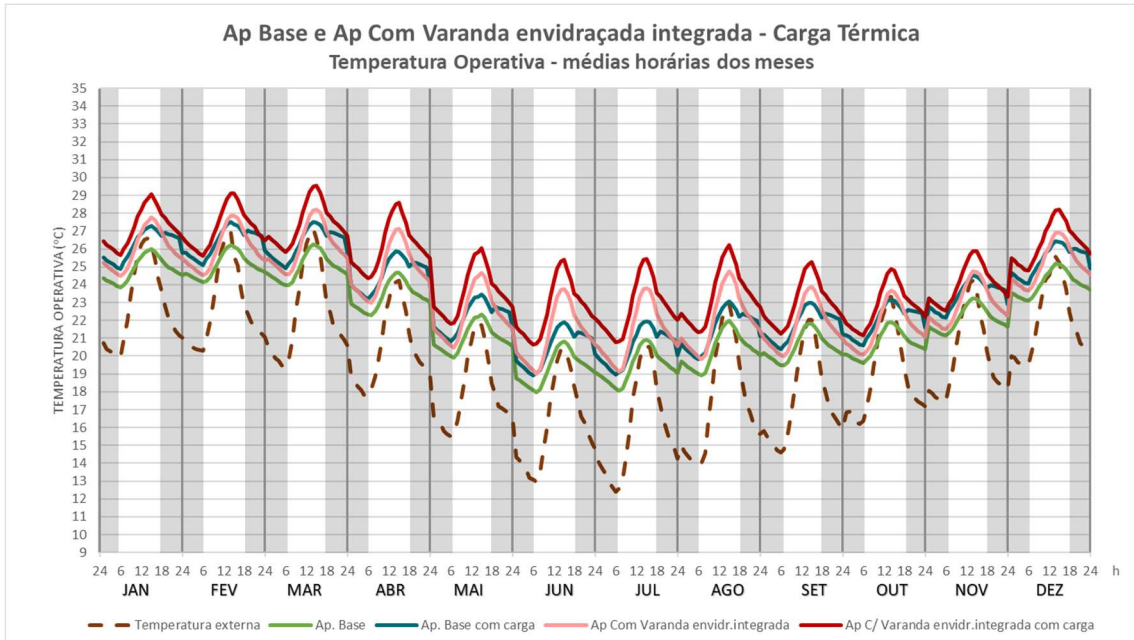


Figura 117. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos das configurações Ap Base e Ap com Varanda Envidraçada Integrada sem e com carga térmica.

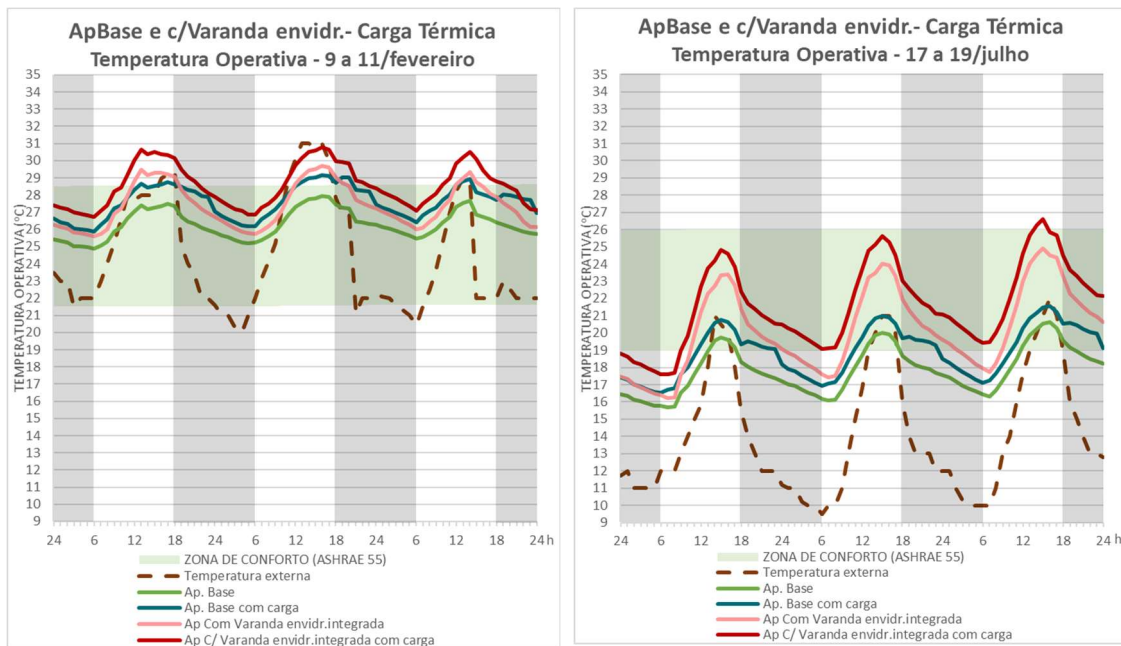


Figura 118. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos das configurações Ap Base e Ap com Varanda Envidraçada Integrada sem e com carga térmica.

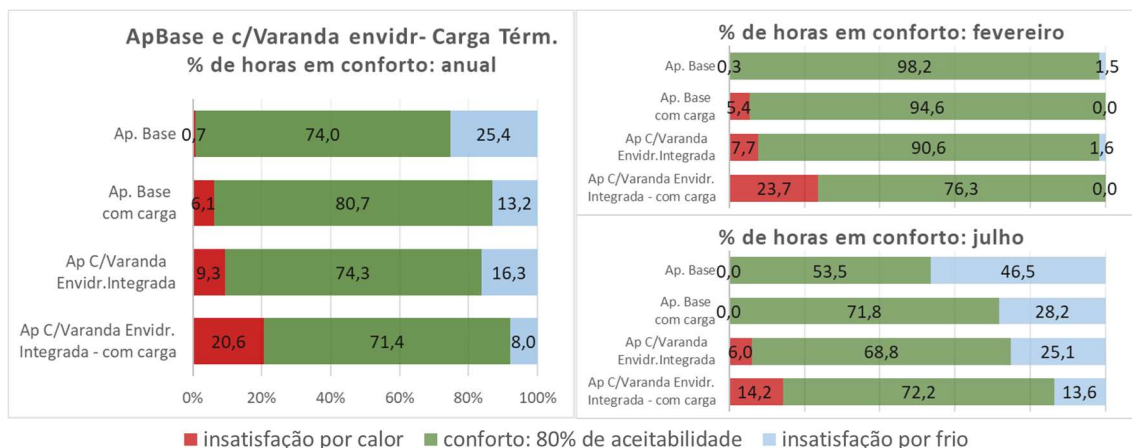


Figura 119. Avaliação dos percentuais de horas anuais e mensais (fevereiro e julho) em conforto, de acordo com o modelo adaptativo da norma ASHRAE 55, para as configurações Ap Base e Ap com Varanda Envidraçada Integrada sem e com carga térmica.

Tabela 17. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os meses de fevereiro e julho para as configurações Ap Base e Ap com Varanda Envidraçada Integrada sem e com carga térmica.

ApBase e Ap com Varanda Envidraçada Integrada - Carga Térmica

(TO em °C)		Ap Base	Ap Base com carga	Ap Varanda Envidr. Integr.	Ap Varanda Envidr. Integr. com carga
Temperatura média	anual	22,1	23,4	23,4	24,7
Média das máximas	anual	23,6	24,8	25,8	27,1
Média das mínimas	anual	20,8	21,8	21,5	22,7
Média das ampl. diárias	anual	2,8	3,0	4,4	4,4

A inserção de carga térmica na simulação se reflete em aumento da TO em todos os períodos do dia, ao longo de todo o ano e para ambas as situações: Ap Base (WWR 20%) e apartamento com varanda envidraçada e integrada ao estar (WWR 100%) (Figura 117). Este incremento de TO no estar é um pouco mais acentuado no modelo do apartamento base do que naquele com a varanda envidraçada integrada, devido ao primeiro modelo possuir mais massa térmica e, por isso, menor perda de calor; por outro lado, o segundo é fortemente influenciado pelos ganhos de calor na ampla superfície envidraçada.

O aumento de TO ocasionado pela inserção de carga térmica, em médias anuais, foi de 1,3°C para ambos os modelos de apartamento, conforme Tabela 17.

Na Figura 118, pode-se verificar que, no dia 10/fev às 16h, os valores de TO são para o Ap Base, sem e com carga, 28,0°C e 29,2°C (incremento de 1,2°C) e para o apartamento com a varanda envidraçada integrada sem e com carga, 29,7°C e 30,8°C (incremento de 1,1°C). Às 22h do mesmo dia, por sua vez, quando há a maior ocupação no ambiente do estar (a maior ocupação ocorre entre 19h e 23h), os valores são para o Ap Base, sem e com carga, 26,4°C e 28,3°C (incremento de 1,9°C) e para o apartamento com a varanda envidraçada integrada sem e com carga, 27,5°C e 28,7°C (incremento de 1,2°C); portanto, no período noturno, quando há a maior ocupação, é quando se verificam os maiores incrementos de TO no ambiente do estar.

A avaliação de conforto através do parâmetro da ASHRAE 55 (2017) mostra o aumento do número de horas em desconforto por calor e redução do número de horas em desconforto por frio ao longo do ano, devido à inserção de carga térmica em ambos os modelos. Para o Ap Base houve aumento de 6,4 pontos percentuais das horas anuais em conforto, sendo que em fevereiro ocorreu a redução de 3,6 pontos percentuais nas horas totais em conforto e em julho

verifica-se um aumento considerável, de 18 pontos percentuais das horas em conforto, por redução do desconforto por frio (Figura 119).

Já no apartamento com a varanda envidraçada integrada, em termos anuais, o aumento do desconforto por calor foi um pouco maior do que a redução do desconforto por frio e verifica-se uma pequena redução da percentagem de horas anuais em conforto (de 2,9 pontos percentuais), pelo aumento das horas em desconforto por calor. No mês de fevereiro verifica-se a mesma tendência, de aumento do desconforto por calor e redução do desconforto por frio, o que resulta na redução das horas em conforto em 14,3 pontos percentuais. No mês de julho, marcado pelo frio, por sua vez, a inserção de carga térmica resultou em uma pequena melhora do desempenho do ambiente (de 3,4 pontos percentuais) por redução das horas em desconforto, ainda que se possa também verificar um aumento da percentagem de horas em desconforto por calor.

Portanto, no contexto do arquivo climático padrão, para o caso do Ap Base, a redução do desconforto por frio foi maior do que o aumento do desconforto por calor e resultou em aumento das horas em conforto, enquanto no Ap Varanda Envidraçada, verifica-se pequena redução das horas em conforto.

Taxa de ventilação

No segundo conjunto de simulações varia-se a taxa de renovação de ar por hora, tanto em número de renovações (2R/h e 10R/h) quanto o período do dia em que há maior taxa de ventilação ou apenas a renovação residual (0,5R/h), por frestas.

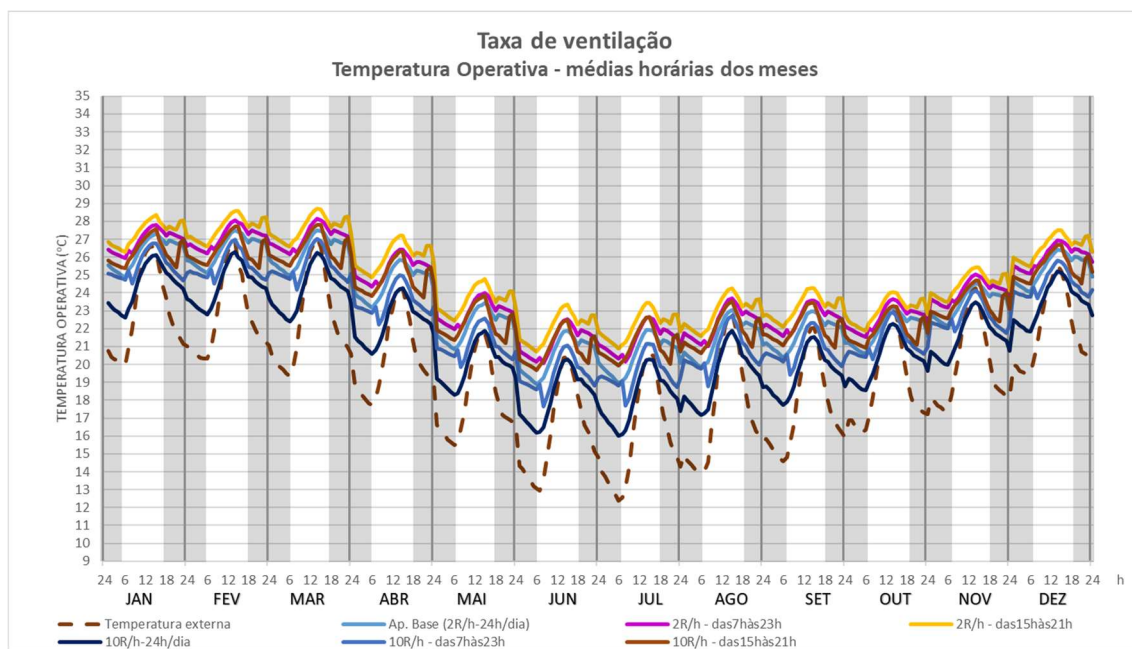


Figura 120. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos de taxa de ventilação.

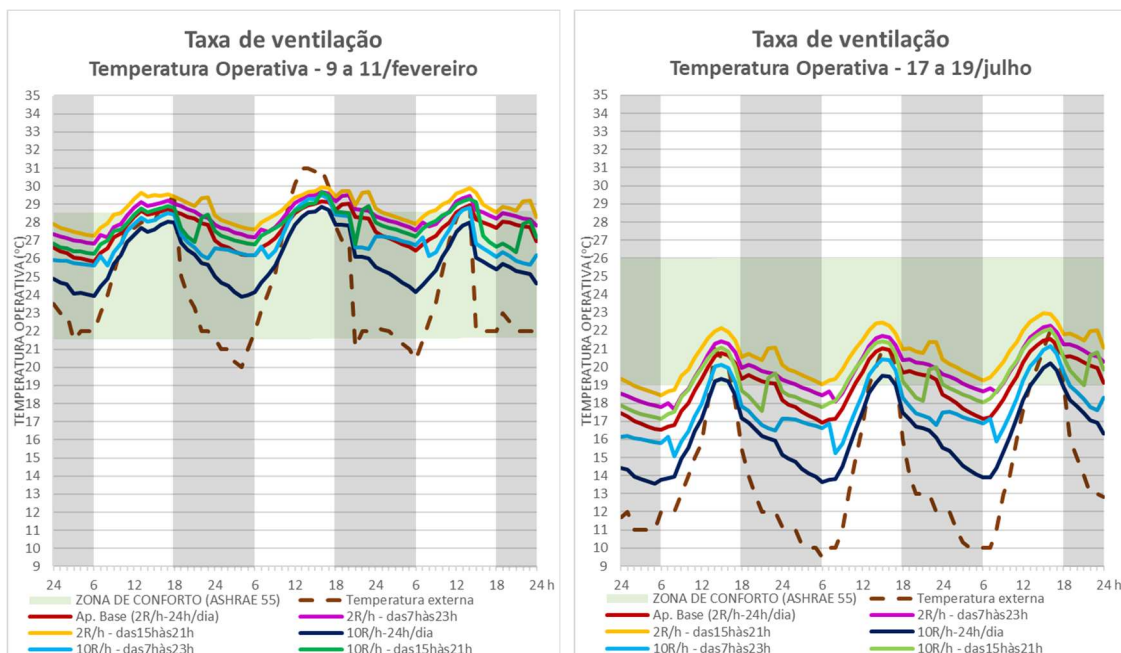


Figura 121. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de taxa de ventilação.

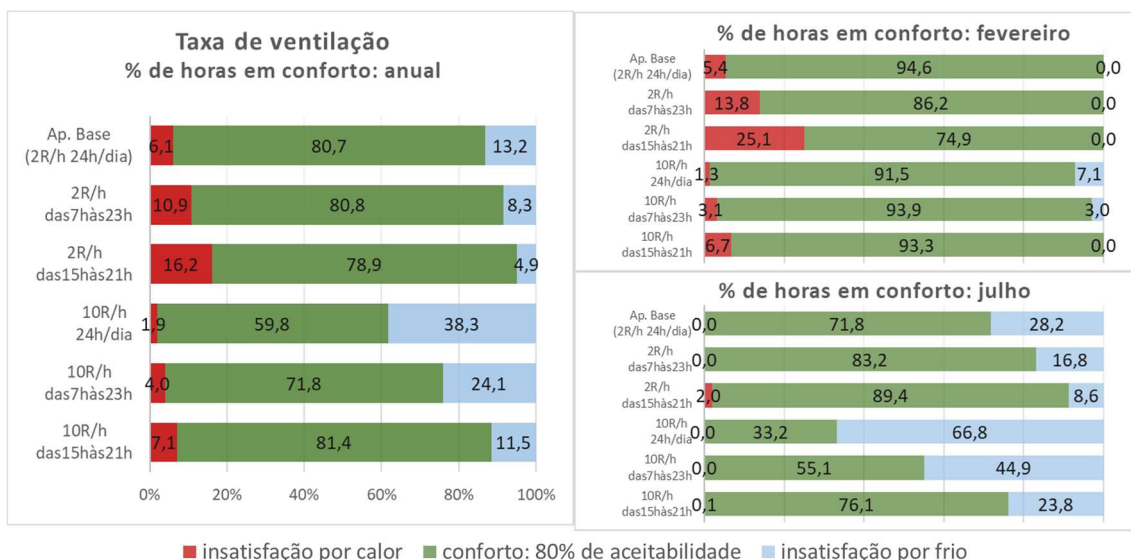


Figura 122. Avaliação dos percentuais de horas anuais e mensais (fevereiro e julho) em conforto de acordo com o modelo adaptativo da norma ASHRAE 55 para estudos de taxa de ventilação.

Tabela 18. Valores anuais de TO para estudos de taxa de ventilação.

(TO em °C)		Taxa de ventilação					
		Ap. Base (2R/h 24h/dia)	2R/h 7hàs23h	2R/h 15hàs21h	10R/h 24h/dia	10R/h 7hàs23h	10R/h 15hàs21h
Temperatura média	anual	23,4	24,1	24,7	21,3	22,5	23,5
Méida das máximas	anual	24,8	25,4	26,0	23,6	24,4	25,2
Média das mínimas	anual	21,8	22,9	23,4	19,2	20,8	22,0
Média das amplitudes diárias	anual	3,0	2,5	2,5	4,4	3,7	3,3

As tendências de mudança no desempenho provocadas pela alteração nas taxas de renovação, assim como no caso de inserção de carga térmica, são constantes ao longo de todo o ano, como se verifica no gráfico da Figura 120.

O aumento da taxa de renovação de ar (de 2R/h para 10R/h constantes) tem como consequência a redução da TO, tanto médias (que, em valores anuais, passam de 23,4 °C para 21,3 °C), quanto máximas (que, também na média anual, passam de 24,8°C para 23,6 °C e mínimas, que de 21,8°C passam a 19,2°C), além do aumento das amplitudes térmicas diárias, (que, na média anual, passam de 3,0°C para 4,4°C).

Com a redução do período diário das taxas de ventilação (de 24h/dia para 7h às 23h ou 15h às 21h), ocorre o achatamento das curvas de temperatura operativa. Disto decorre a redução das amplitudes térmicas (Tabela 18). Ocorre também o aumento das temperaturas operativas médias, máximas e mínimas anuais, sendo que há maior aumento das TO mínimas se comparadas às máximas, e elas ficam mais elevadas tanto no período noturno (quando há redução da taxa de ventilação) quanto no período diurno (quando ocorre ventilação), de modo que o efeito de resfriamento das superfícies ocasionado pela ventilação noturna se reflete ao longo de todo o dia.

Dos gráficos dos dias 9 a 11/fev e 17 a 19/jul (Figura 121) percebe-se o quanto as temperaturas mínimas têm maior diferenciação entre si do que as máximas. Notam-se picos de TO que ocorrem entre as 21h e as 23h nas simulações com redução da taxa de ventilação a partir das 21h, justamente porque, nesse período, o ambiente do estar continua sendo ocupado por 3 pessoas e com utilização de equipamentos e iluminação artificial, enquanto a ventilação é reduzida, o que favorece o acúmulo de calor no ambiente. Como pode ser visto com a sobreposição da zona de conforto no gráfico, essa situação pode ser benéfica no período frio (julho), porém, não o é na situação de fevereiro. No caso em que a ventilação é reduzida apenas às 23h esse pico não ocorre, pois, a ventilação é reduzida justamente no horário em que os usuários se recolhem aos dormitórios e, deste modo, há redução de carga térmica no ambiente.

Por fim, destaca-se a frequente aproximação entre as linhas com menores taxas de renovação por mais horas diárias (2R/h, 24h/dia), com as maiores taxas de renovação por menos horas diárias (10R/h, das 15h às 21h) (Figura 121).

O aumento da taxa de renovação de ar tem como consequência geral a aproximação da temperatura interna da externa, portanto, como as temperaturas externas são, na média, menores que as internas e a ventilação é capaz de remover o calor acumulado no interior dos ambientes, a consequência mais evidente do aumento da taxa de renovação de 2 R/h para 10R/h para o conforto térmico é a redução do número de horas em desconforto por calor e aumento do número de horas em desconforto por frio (Figura 122).

No presente caso estudado é possível perceber o quanto o desconforto por frio é preponderante sobre o desconforto por calor. Nesse sentido, porém, para reduzir o desconforto por frio basta a ação do usuário para reduzir a ventilação (fechar janelas) e há que se pesar que as temperaturas mínimas ocorrem principalmente na madrugada, quando este ambiente geralmente não é ocupado, pois os usuários estão em seu período de repouso, nos dormitórios. Deste modo destaca-se o efeito positivo do resfriamento noturno, em especial no período do verão (aqui representado pelo mês de fevereiro) e a facilidade prática de aplicá-la no ambiente do estar, visto ser o período em que fica desocupado. Por fim, observa-se a relevância da operação diferenciada ao longo do ano, com maiores taxas e períodos de ventilação durante o verão e sua redução no inverno.

Figura 124. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de operação da janela do estar.

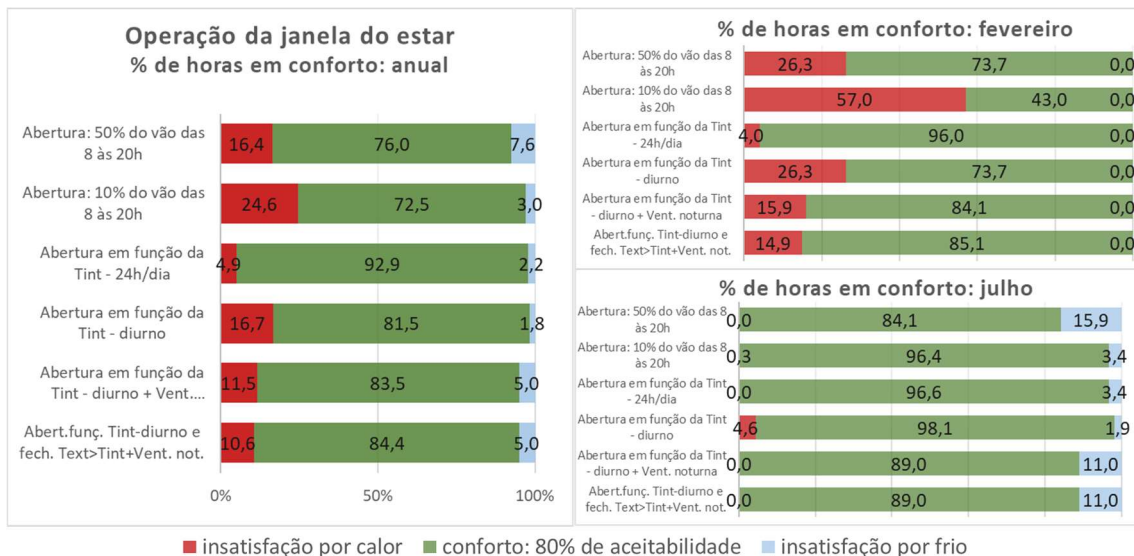


Figura 125. Avaliação dos percentuais de horas anuais e mensais (fevereiro e julho) em conforto, de acordo com o modelo adaptativo da norma ASHRAE 55 para estudos de operação da janela do estar.

Tabela 19. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os meses de fevereiro e julho para estudos de operação da janela do estar.

		Operação da janela do estar					
		Abertura: 50% do vão das 8 às 20h	Abertura: 10% do vão das 8 às 20h	Abertura em função da Tint - 24h/dia	Abertura em função da Tint - diurno	Abertura em função da Tint - diurno + Ventilação noturna	Abert.em func.da Tint - diurno com fech.qd Text>Tint + Vent. noturna
(TO em °C)							
Temperatura média	fev	27,7	28,7	26,1	27,7	27,2	27,1
	jul	21,4	22,4	21,8	22,3	21,5	21,5
Média das máximas	fev	28,8	29,5	27,6	28,8	28,3	28,1
	jul	22,7	23,4	23,0	23,3	22,8	22,7
Média das mínimas	fev	26,7	27,7	24,8	26,7	26,1	26,1
	jul	20,0	21,2	20,6	21,1	20,1	20,1
Média das amplitudes diárias	fev	2,1	1,8	2,8	2,0	2,2	2,0
	jul	2,7	2,3	2,3	2,3	2,7	2,7

As tendências de desempenho das simulações ao longo de todo o ano são apresentadas na Figura 123. E na Figura 124, o destaque de dias selecionados (em fevereiro e em julho).

A maior área de abertura possibilita maiores taxas de renovação de ar e disso podem ser identificados dois efeitos diretos: a maior remoção de carga térmica interna do ambiente e o aumento das amplitudes de temperatura, aproximando a temperatura interna da externa. Deste modo, comparando as situações com a abertura constante de 50% e de 10% do vão, depreende-se que as TO tendem a ficar mais elevadas na situação com menor vão efetivo de ventilação (10%), sendo que as diferenças de TO entre as duas simulações, na média mensal tanto para fevereiro quanto de julho, é de 1,0°C (Tabela 19). As amplitudes diárias decorrentes do maior vão ventilante também são maiores (0,3°C maiores para a média de fevereiro e 0,4°C de julho) que para o menor vão. A simulação com vão ventilante de 10% da área total no período

diurno resultou, dentre as demais comparadas, nas maiores TO média, média das máximas e média das mínimas, assim como nas menores amplitudes.

A operação realizada em função da temperatura externa durante as 24h do dia apresenta²⁶ as melhores condições: TO mais baixas no período mais quente e mais elevadas no período mais frio. Essa operação é, porém, irreal, dado que em uma residência, o uso noturno é prioritariamente voltado ao repouso e não há realização de operações de abertura e fechamento de janelas. A proposta de mesma operação (em função da temperatura externa), porém, apenas para o período diurno (das 8h às 20h), como se pode verificar na Tabela 19, resultou em TO médias mais altas que a opção anterior, tanto em fevereiro quanto em julho, com maior diferenciação no mês de fevereiro (na média mensal, 1,6°C maior).

Para as demais simulações, foi proposta uma ventilação noturna, com área efetiva de ventilação fixa de 10% da área total da janela. Seu efeito é o resfriamento da unidade residencial. A massa térmica da unidade provoca o efeito de inércia que é responsável por manter as temperaturas do caso com ventilação noturna mais baixas, se comparadas com o caso de mesma operação diurna. Quando o resfriamento do ambiente não é desejado, a estratégia deve ser empregada com parcimônia, ou não utilizada.

A simulação com fechamento das janelas quando a temperatura externa ultrapassa a interna mantém a temperatura operativa interna mais constante, em especial no período mais quente estudado (fevereiro) quando, nas horas mais quentes do dia, a TO interna não atinge valores tão altos quanto nas demais simulações; a ordem de grandeza da redução de TO proporcionada, porém, é pequena.

Reforça-se que a ventilação noturna é positiva para obtenção da condição de conforto nos períodos mais quentes. Como pode ser observado na Figura 125, excetuando-se o caso considerado irreal (operação em função da temperatura do ar interno 24h/dia), nos 2 casos que contemplam uma ventilação noturna fixa, com abertura de 10% do vão, para o mês de fevereiro, obteve-se os maiores percentuais de horas em conforto (84,1% a 85,1%). No mês de julho, por sua vez, essas opções de operação apresentaram menos horas em conforto (89%) e mais horas em desconforto por frio (11%) do que os casos sem a ventilação noturna. A melhor condição foi encontrada com a simulação em função da temperatura do ar interno, apenas no período diurno (98,1% de horas em conforto) e a pior de todas as situações foi obtida com a abertura de 50% do vão no período diurno (84,1% de horas em conforto), o que indica que, para o contexto de simulação deste caso (com arquivo climático padrão), vãos menores de abertura para ventilação são mais adequados para a obtenção de conforto nos períodos mais frios, assim como a eliminação da ventilação noturna, ambas passíveis de serem controladas pelo usuário.

5.2.1.3 Fatores externos ao edifício: clima e sombreamento pelo entorno

Arquivos climáticos: Cenários de aquecimento

Tendo estudado os fatores intrínsecos ao edifício (construtivos e de uso e ocupação), passa-se, então, a abordar os fatores externos.

Inicialmente são estudados os impactos da utilização dos arquivos climáticos, tanto aqueles produzidos em trabalho anterior, *op cit*, (que incorporam apenas o efeito do

²⁶ Nesta operação, em função da temperatura do ambiente do estar, a janela começa a ser aberta quando a temperatura alcança 21°C e atinge a abertura máxima (50% do vão) quando a temperatura interna chega aos 24°C.

aquecimento global) quanto os que foram produzidos neste trabalho, que incluem os efeitos da ilha de calor urbana nos arquivos climáticos previamente elaborados. As Figura 126 e Figura 127, bem como nas Tabela 20 e Tabela 21 representam os resultados encontrados.

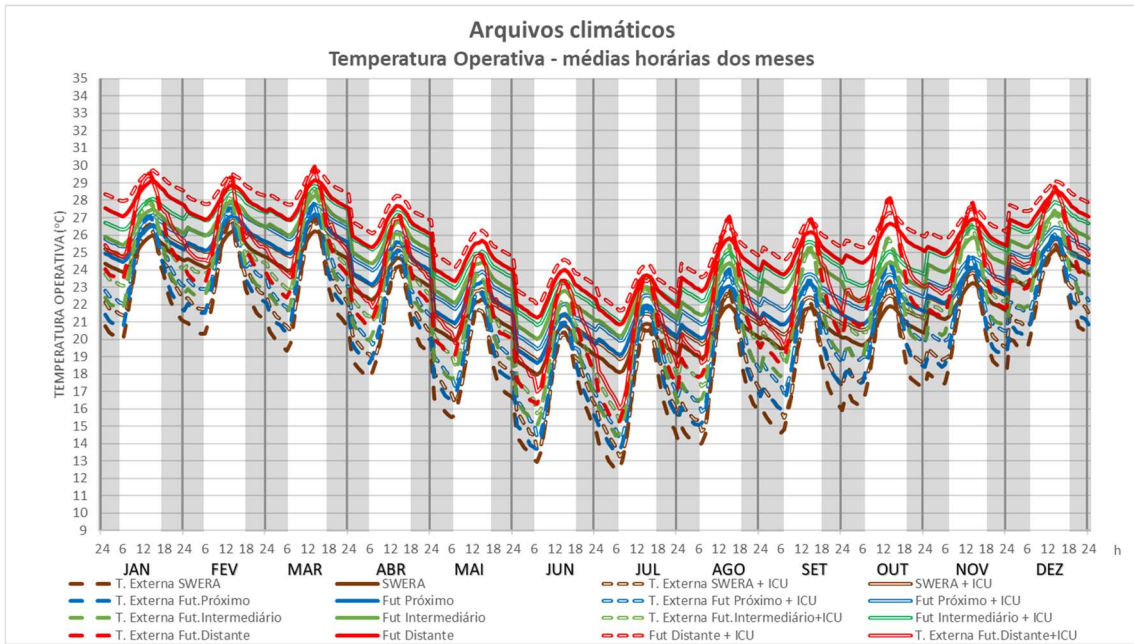


Figura 126. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos de cenários climáticos.

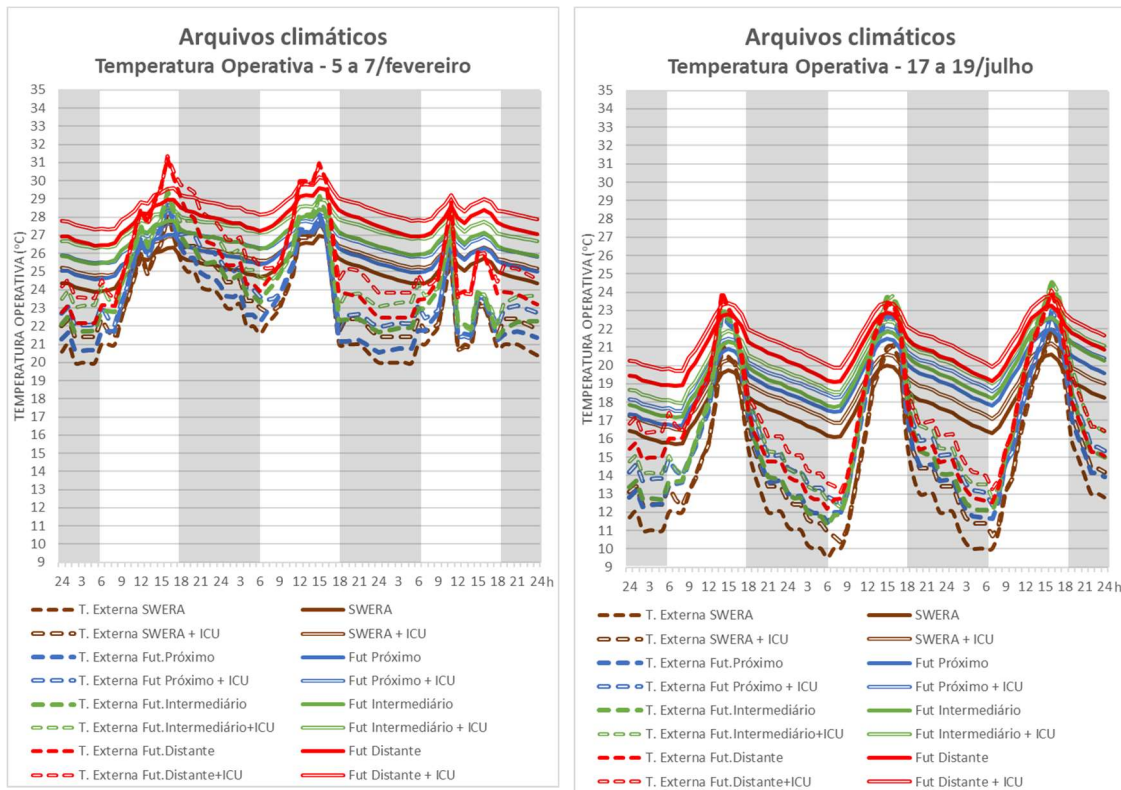


Figura 127. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de cenários climáticos.

Tabela 20. Temperatura do ar dos arquivos climáticos.

		Arquivos climáticos – Temperatura do ar							
		SWERA	SWERA + ICU	Fut Próx	Fut Próx + ICU	Fut Interm	Fut Interm + ICU	Fut Dist	Fut Dist. + ICU
Temperatura média	anual	19,5	20,3	20,5	21,2	21,8	22,5	23,0	23,7
	fev	22,7	23,5	23,7	24,4	24,5	25,2	25,4	26,1
	jul	16,0	16,8	17,1	17,9	18,2	18,9	18,8	19,6
Média das máximas	anual	24,6	24,7	25,6	25,6	26,8	26,9	28,1	28,2
	fev	28,0	27,9	28,6	28,7	29,3	29,3	30,4	30,5
	jul	21,4	21,5	22,6	22,8	23,7	23,8	24,4	24,5
Média das mínimas	anual	16,0	17,0	16,9	18,0	18,2	19,3	19,3	20,4
	fev	19,7	20,8	20,7	21,8	21,6	22,6	22,3	23,4
	jul	11,7	12,5	12,6	13,5	13,7	14,6	14,4	15,2
Média das amplitudes diárias	anual	8,7	7,7	8,7	7,7	8,6	7,6	8,8	7,8
	fev	8,3	7,1	8,0	6,9	7,7	6,7	8,1	7,0
	jul	9,6	9,0	10,0	9,3	10,0	9,3	10,1	9,3

Tabela 21. TO no ambiente interno (estar) resultantes das simulações com os diferentes arquivos climáticos.

		Arquivos climáticos – TO no ambiente do estar							
		SWERA	SWERA + ICU	Fut Próx	Fut Próx + ICU	Fut Interm	Fut Interm + ICU	Fut Dist	Fut Dist. + ICU
Temperatura média	anual	22,1	22,9	23,1	23,8	24,4	25,1	25,6	26,3
	fev	25,1	25,8	26,0	26,7	26,8	27,6	27,8	28,5
	jul	19,4	20,1	20,4	21,2	21,5	22,2	22,2	22,9
Média das máximas	anual	23,6	24,2	24,6	25,2	25,8	26,4	27,0	27,7
	fev	26,4	27,1	27,4	28,0	28,2	28,8	29,1	29,8
	jul	21,1	21,7	22,2	22,8	23,2	23,8	23,9	24,5
Média das mínimas	anual	20,8	21,7	21,8	22,6	23,1	23,9	24,3	25,1
	fev	24,0	24,9	25,0	25,8	25,8	26,7	26,7	27,6
	jul	17,9	18,7	18,9	19,7	20,0	20,8	20,7	21,4
Média das amplitudes diárias	anual	2,8	2,6	2,8	2,6	2,8	2,5	2,8	2,6
	fev	2,4	2,2	2,4	2,2	2,3	2,1	2,4	2,2
	jul	3,2	3,0	3,3	3,1	3,3	3,1	3,3	3,1

Os cenários estudados têm suas temperaturas do ar em ordem crescente conforme segue: SWERA, SWERA + ICU, Futuro Próximo, Futuro Próximo + ICU, Futuro Intermediário, Futuro Intermediário + ICU, Futuro Distante, Futuro Distante + ICU e a variação entre um cenário climático e o seu respectivo com o efeito da ilha de calor incorporado é de +0,8°C na média anual (o padrão de variação imposta ao longo do dia está colocado no capítulo 4). As variações médias de temperatura do ar, devido à progressão dos cenários futuros, são: entre SWERA e o Futuro Próximo 1,0°C; entre Futuro Próximo e Futuro Intermediário, 1,3°C; e entre Futuro Intermediário e Futuro Distante, 1,2°C.

Há ainda que se destacar que a inserção do efeito da ilha de calor urbana nos arquivos climáticos resulta em alteração dos padrões diários devido às maiores temperaturas noturnas

que derivam deste efeito, conforme método de inclusão dos efeitos desse fenômeno nos arquivos climáticos (conforme discutido nos Capítulos 3 e 4), com maior diferença de temperatura entre o arquivo climático com o efeito ICU e o original nos períodos da noite e da madrugada (quando os arquivos com o efeito da ilha de calor têm temperatura do ar 1,4°C mais alta que aqueles que não incorporam o efeito); já nos períodos da manhã e da tarde essa diferença é reduzida para apenas 0,1°C. Como consequência, as temperaturas operativas internas, conforme os resultados da simulação, apresentam TO 0,8°C mais altas nos períodos da noite e da madrugada, quando da utilização dos arquivos climáticos com o efeito da ilha de calor em comparação com aqueles sem o efeito; no período da manhã esse valor cai para 0,7°C e no período da tarde, para 0,6°C. As amplitudes diárias de temperatura do ar externo são reduzidas, deste modo, na média anual em 1,0°C e a TO interna é reduzida, em média, em 0,2°C.

Tabela 22. Temperatura do ar externa e TO do estar nos dias 6/fev e 18/jul, às 6h e às 16h para os diferentes cenários climáticos.

arquivo climático	6/fev - 6h				arquivo climático	18/jul - 6h			
	T ar externo(°C)		TO no estar (°C)			T ar externo(°C)		TO no estar (°C)	
	sem ICU	com ICU	sem ICU	com ICU		sem ICU	com ICU	sem ICU	com ICU
SWERA	21,6	23,0	24,7	25,4	SWERA	9,5	10,9	16,2	17,5
Fut.Próximo	22,2	23,6	25,4	26,3	Fut.Próximo	11,4	12,8	17,5	18,4
Fut.Intermed	23,3	24,7	26,2	27,1	Fut.Intermed	11,3	12,7	17,8	18,7
Fut.Distante	23,9	25,3	27,3	28,1	Fut.Distante	12,2	13,6	19,2	20,1

arquivo climático	6/fev - 16h				arquivo climático	18/jul - 16h			
	T ar externo(°C)		TO no estar (°C)			T ar externo(°C)		TO no estar (°C)	
	sem ICU	com ICU	sem ICU	com ICU		sem ICU	com ICU	sem ICU	com ICU
SWERA	27,0	27,1	26,9	27,4	SWERA	21,0	21,1	19,9	21,4
Fut.Próximo	27,2	27,3	27,4	28,0	Fut.Próximo	22,6	22,8	21,4	22,0
Fut.Intermed	28,2	28,3	28,3	28,9	Fut.Intermed	23,7	23,8	21,8	22,4
Fut.Distante	29,9	30,1	29,5	30,1	Fut.Distante	23,3	23,4	22,8	23,4

Das curvas de temperatura representadas na Figura 127, referentes aos dias selecionados nos meses de fevereiro e julho, observa-se, como exemplo, que tanto no dia 6/fev, quanto no dia 18/jul às 6h, a diferença de temperatura do ar externo entre os arquivos com inclusão do efeito da ilha de calor e sem essa inclusão é de 1,4°C e às 16h essa diferença é de 0,1°C. Das TO internas, essa diferença também é constante, e tem o valor de 0,9°C às 6h e de 0,6°C às 16h. Da diferença de temperatura entre os arquivos climáticos que representam diferentes cenários futuros (SWERA, Futuro Próximo, Futuro Intermediário e Futuro Distante) observa-se variação da diferença entre eles (nos diferentes dias e horários) sendo que, em alguns momentos, ocorrem algumas inversões, como no dia 28/jul, às 6h, quando a temperatura do ar no arquivo climático Futuro Intermediário está 0,2°C abaixo do Futuro Próximo e às 16h do mesmo dia, quando o arquivo Futuro Distante está 0,4°C abaixo do Futuro Intermediário. Dos valores representados na Tabela 22, a maior diferença de temperatura do ar ocorreu no dia 6/fev às 16h, entre os cenários de Futuro Distante e Intermediário e teve o valor de 1,7°C.

Sombreamento do entorno

O segundo conjunto de simulações aborda o sombreamento ocasionado pelo entorno verticalizado sobre a unidade estudada. A fim de estudar a influência em diversas alturas do edifício foram avaliadas unidades no 1º, 8º e 14º pavimentos, nas 4 principais orientações solares.

Como se pode observar nas Figura 97, Figura 98 e Figura 99, a localização em altura da unidade de apartamento faz com que o efeito do sombreamento sobre a unidade se altere, sendo tanto maior quanto mais baixo for o pavimento estudado e quanto maior for a altura dos edifícios ao redor. Conforme a Figura 97, no 14º pavimento o efeito de sombreamento do entorno é muito pequeno: nas orientações norte e sul não chega a ocasionar sombreamento total em nenhum dos dias e das horas do ano e nas orientações leste e oeste, sombreia diretamente a unidade em no máximo 1h (no início ou no final do dia respectivamente) em alguns dias do ano. No 8º pavimento (Figura 98), na orientação norte, o sombreamento do entorno atinge o solstício de inverno e alguns dias próximos a ele por, no máximo, 1,5h do dia; na orientação sul o sombreamento não afeta a insolação direta em nenhum período do ano; e nas orientações leste e oeste passa a sombrear a unidade por até 2,5h no início ou final do dia em alguns dias do ano. No 1º pavimento (Figura 99), por sua vez, o sombreamento alcança maiores proporções, sendo que na orientação norte atinge os dias aproximadamente entre 20/04 e 20/08 em parte das suas horas; na orientação sul, novamente não se verifica sombreamento da radiação direta; nas orientações leste e oeste há sombreamento direto por até 3h45min do início ou final da maior parte dos dias do ano.

Os resultados das simulações em TO revelam a redução de temperaturas no ambiente interno devido ao sombreamento ocasionado pelo entorno. Entre o modelo sem entorno e o 14º pavimento do modelo com entorno verticalizado não há diferença significativa de TO e, à medida em que o andar se torna mais baixo e, portanto, mais sujeito ao sombreamento pelo entorno, ocorre redução da TO interna. Pela enorme semelhança entre os apartamentos sem entorno e o 14º apartamento do caso com entorno verticalizado, na leitura dos resultados a partir daqui serão considerados apenas os casos com entorno verticalizado (14º, 8º e 1º pavimentos).

Devido à condição de insolação, como já exposto anteriormente, o efeito proporcionado pelo sombreamento do entorno é diverso para as diferentes orientações. De maneira geral, as unidades do 14º pavimento registram valores de TO maiores que as respectivas unidades do 8º pavimento que, por sua vez, registram valores maiores que as do 1º pavimento.

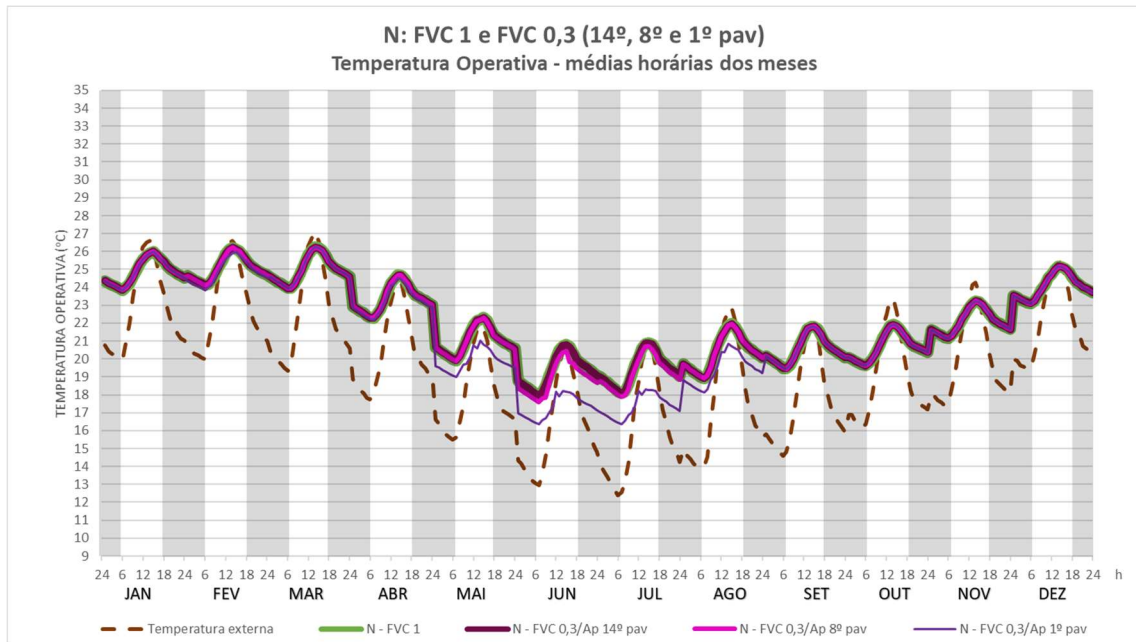


Figura 128. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos de sombreamento do entorno na orientação norte.

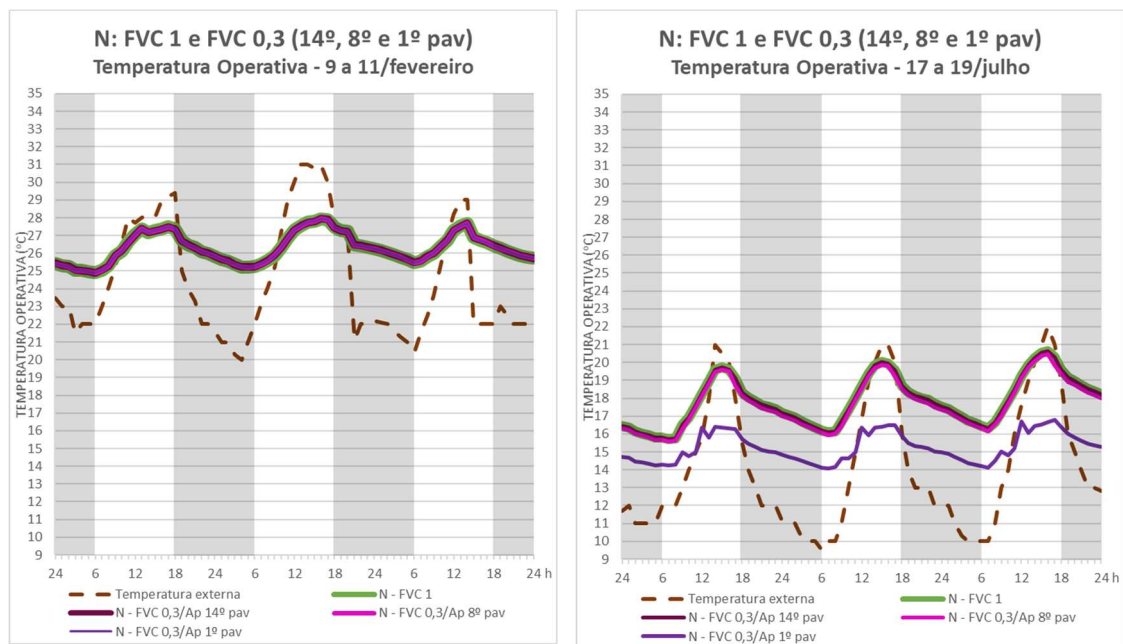


Figura 129. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de sombreamento do entorno na orientação norte.

Tabela 23. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os para os meses de fevereiro e julho para estudos de sombreamento do entorno na orientação norte.

N: FVC 1 e FVC 0,3 (14º, 8º e 1º pav)

(TO em °C)		N - FVC 1	N - FVC 0,3/ Ap 14º pav	N - FVC 0,3/ Ap 8º pav	N - FVC 0,3/ Ap 1º pav
Média	fev	25,1	25,1	25,1	25,1
	jul	19,4	19,4	19,2	17,3
Média das máximas	fev	26,5	26,5	26,4	26,4
	jul	21,1	21,1	20,9	18,5
Média das mínimas	fev	24,0	24,0	24,0	24,0
	jul	17,9	17,9	17,7	16,2
Média das amplitudes diárias	fev	2,4	2,4	2,4	2,4
	jul	3,2	3,2	3,2	2,3

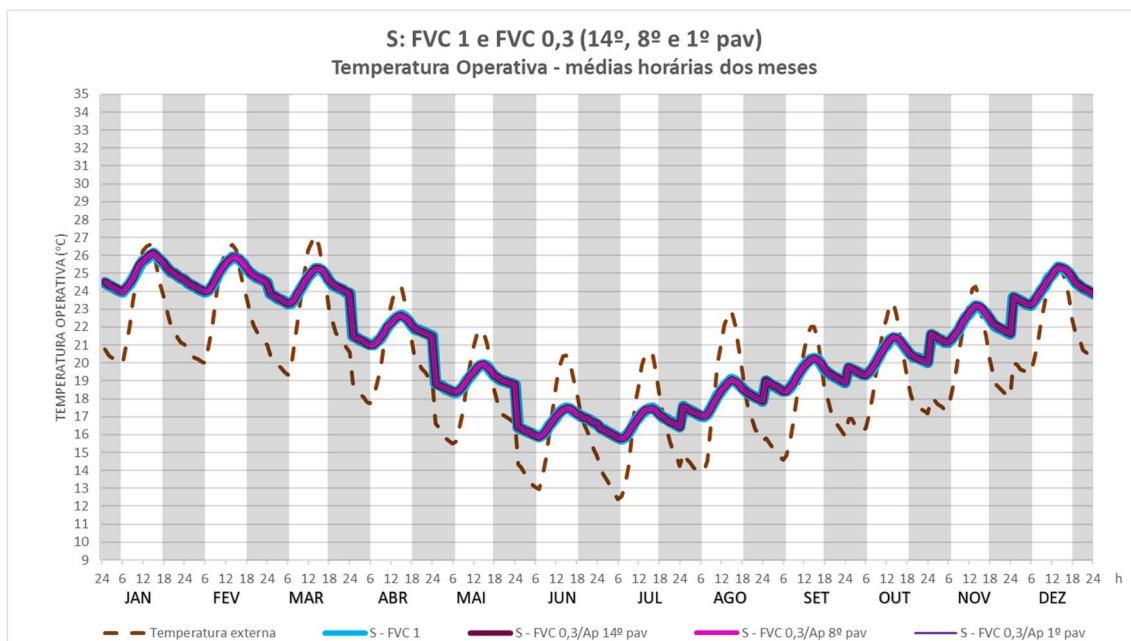


Figura 130. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos de sombreamento do entorno na orientação sul.

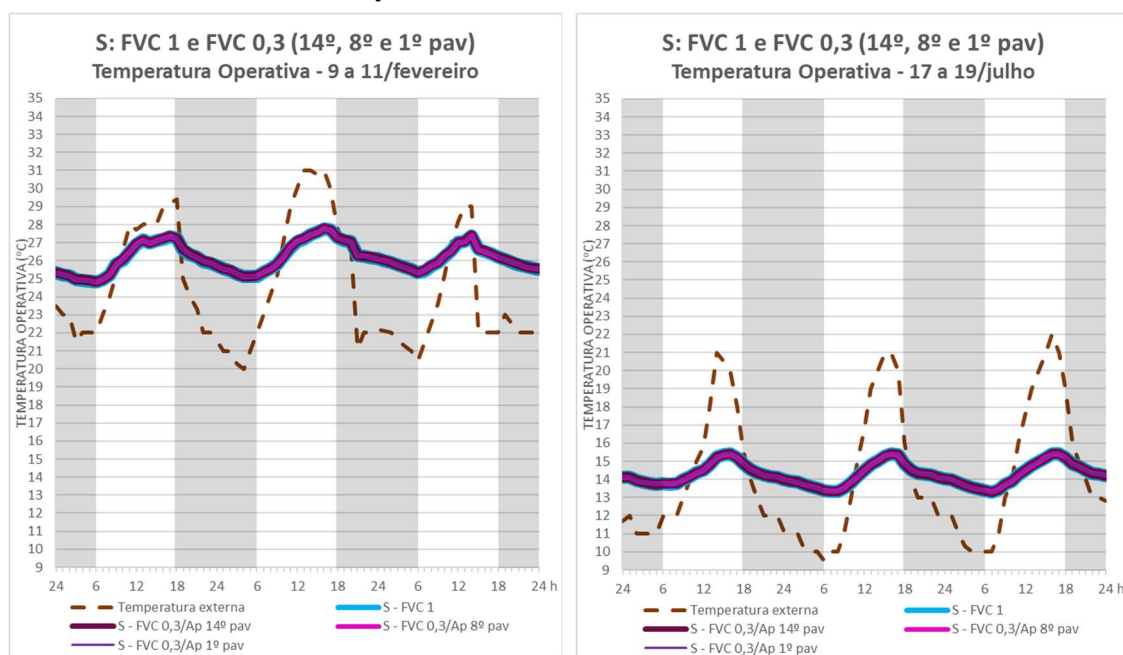


Figura 131. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de sombreamento do entorno na orientação sul.

Tabela 24. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os meses de fevereiro e julho para estudos de sombreamento do entorno na orientação sul.

S: FVC 1 e FVC 0,3 (14º, 8º e 1º pav)

(TO em °C)		S - FVC 1	S - FVC 0,3/ Ap 14º pav	S - FVC 0,3/ Ap 8º pav	S - FVC 0,3/ Ap 1º pav
Média	fev	24,9	24,9	24,9	24,9
	jul	16,6	16,6	16,6	16,6
Média das máximas	fev	26,2	26,2	26,2	26,2
	jul	17,6	17,6	17,6	17,6
Média das mínimas	fev	23,9	23,9	23,9	23,9
	jul	15,6	15,6	15,6	15,6
Média das amplitudes diárias	fev	2,3	2,3	2,3	2,3
	jul	2,0	2,0	2,0	2,0

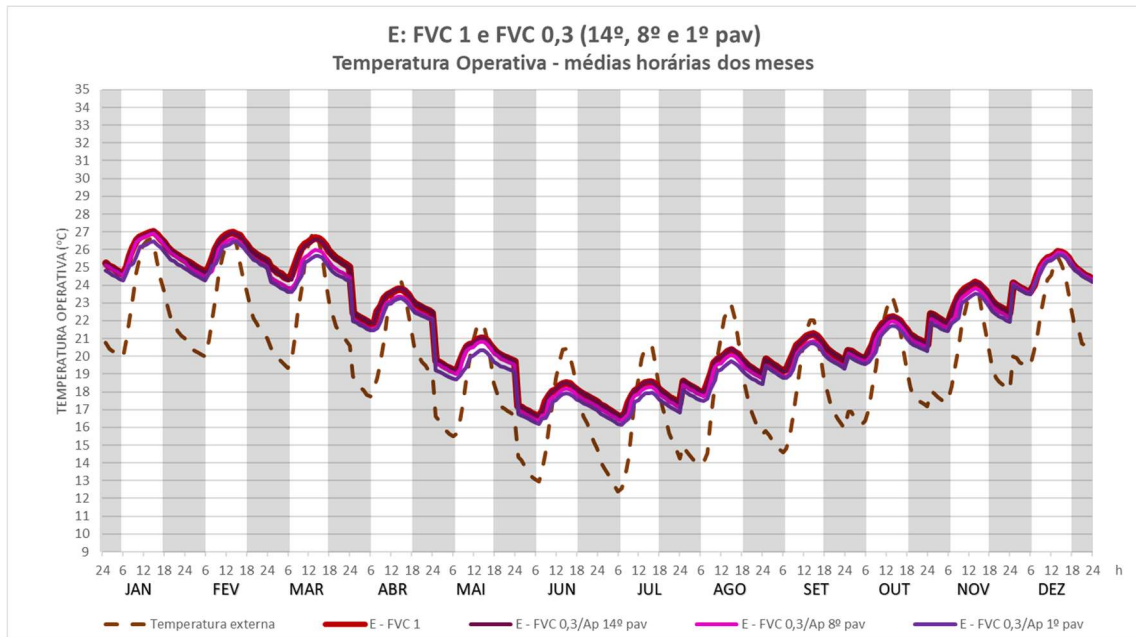


Figura 132. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos de sombreamento do entorno na orientação leste.

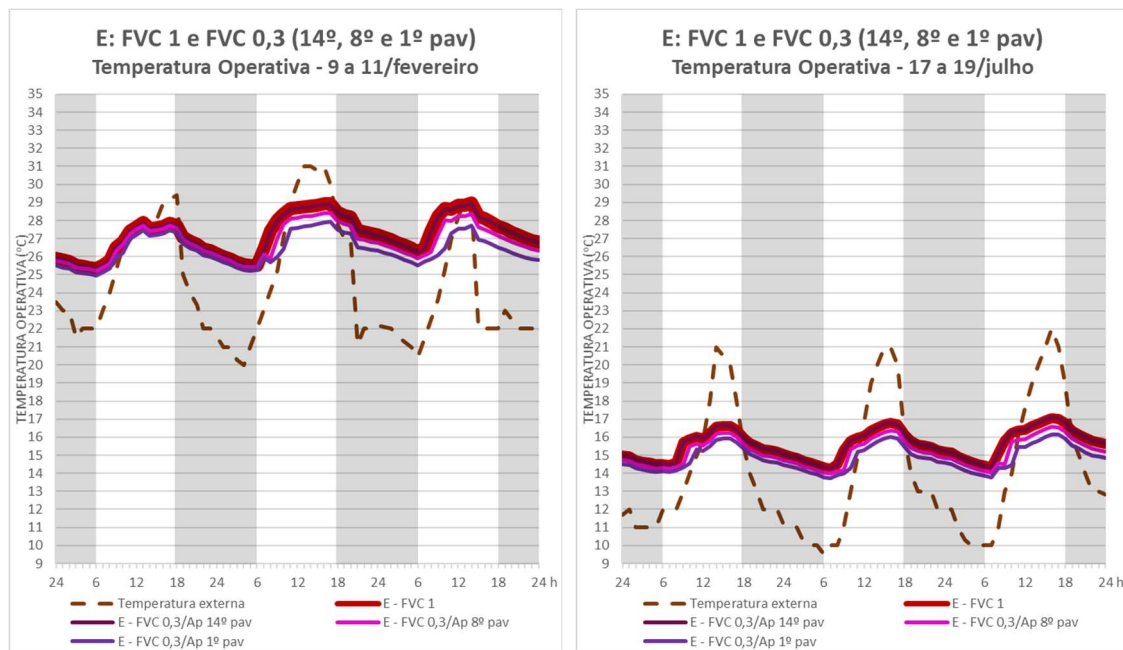


Figura 133. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de sombreamento do entorno na orientação leste.

Tabela 25. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os para os meses de fevereiro e julho para estudos de sombreamento do entorno na orientação leste

E: FVC 1 e FVC 0,3 (14º, 8º e 1º pav)

(TO em °C)			E - FVC 0,3/			
			E - FVC 1	Ap 14º pav	Ap 8º pav	Ap 1º pav
Média	fev		25,9	25,9	25,5	25,1
	jul		17,6	17,6	17,4	17,1
Média das máximas	fev		27,2	27,2	26,9	26,4
	jul		18,8	18,8	18,5	18,1
Média das mínimas	fev		24,6	24,6	24,3	24,0
	jul		16,4	16,4	16,2	16,0
Média das amplitudes diárias	fev		2,6	2,6	2,5	2,4
	jul		2,3	2,3	2,2	2,2

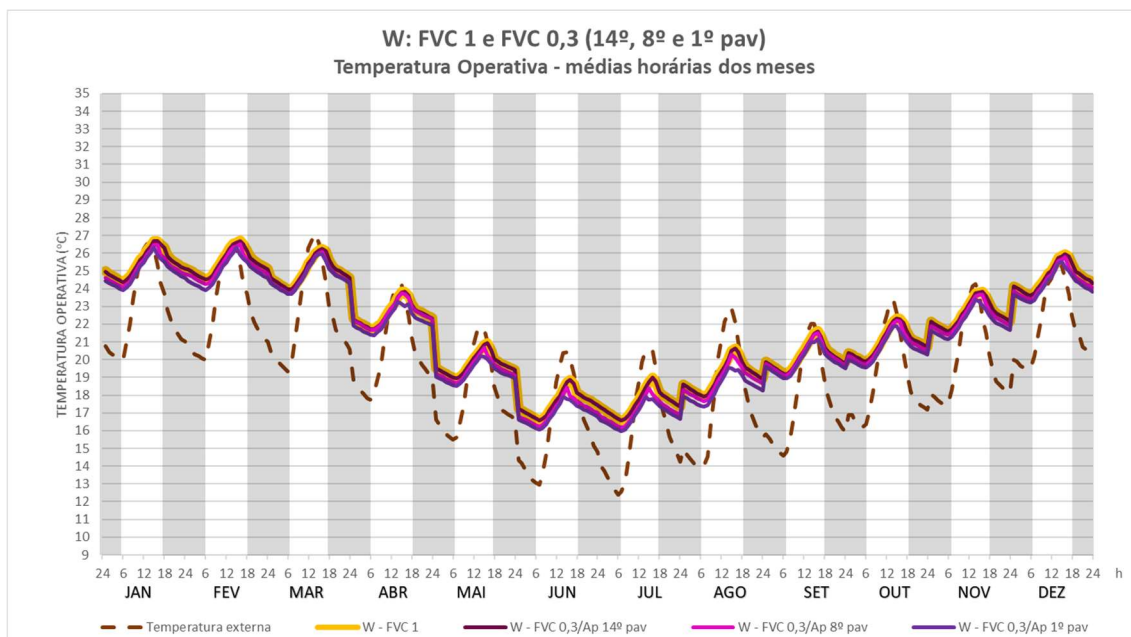


Figura 134. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos de sombreamento do entorno na orientação oeste

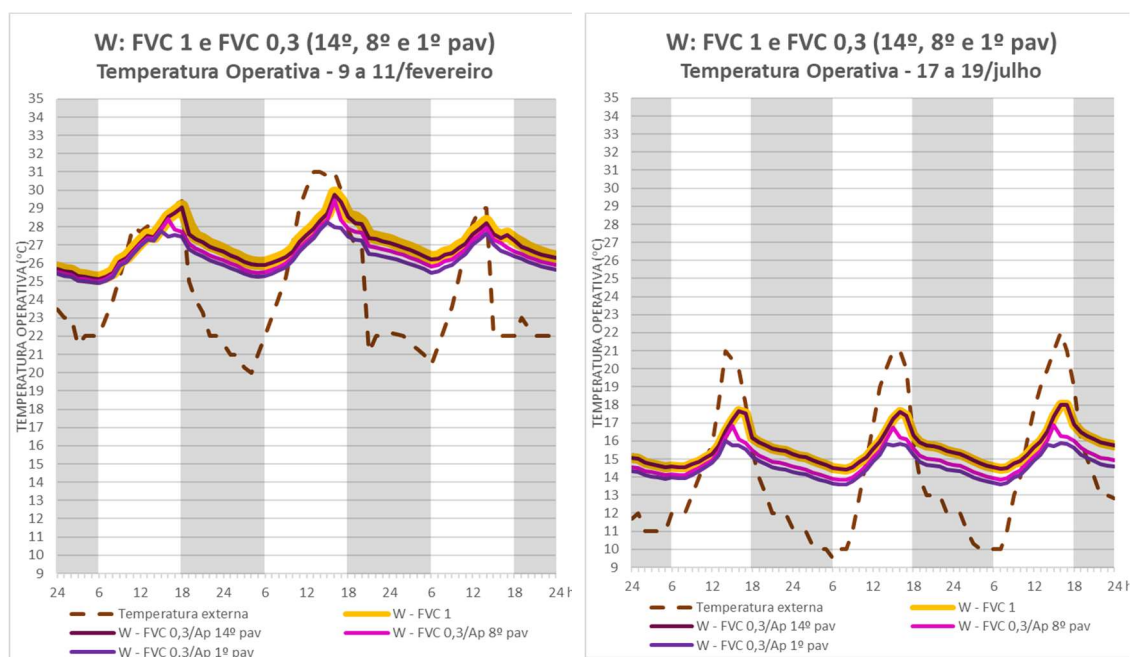


Figura 135. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de sombreamento do entorno na orientação oeste

Tabela 26. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os meses de fevereiro e julho para estudos de sombreamento do entorno na orientação oeste

W: FVC 1 e FVC 0,3 (14º, 8º e 1º pav)

(TO em °C)		W - FVC 0,3/			
		W - FVC 1	Ap 14º pav	Ap 8º pav	Ap 1º pav
Média	fev	25,5	25,5	25,2	25,0
	jul	17,6	17,6	17,1	16,9
Média das máximas	fev	27,1	27,1	26,8	26,5
	jul	19,1	19,1	18,5	18,0
Média das mínimas	fev	24,4	24,4	24,2	24,0
	jul	16,4	16,4	16,0	15,8
Média das amplitudes diárias	fev	2,7	2,7	2,7	2,5
	jul	2,7	2,7	2,5	2,2

Na orientação norte o sombreamento não atinge os dias próximos ao solstício de verão, o que faz com que não haja diferença entre os resultados de TO nos diferentes pavimentos no mês de fevereiro. Como se observa na Figura 128 e na Tabela 23, nos dias próximos ao solstício de inverno; porém, quando o entorno efetivamente realiza sombreamento sobre o edifício estudado, as TO são reduzidas progressivamente do 14º para o 8º (tanto na média, quanto na média das máximas e das mínimas a redução é de 0,2°C em julho) e para o 1º pavimento (na média do mês de julho, entre o 14º e o 1º pavimento verifica-se a redução da TO média do mês em 2,1°C, na média das máximas, 2,6°C e na média das mínimas, 1,7°C). No mês de fevereiro todas as opções simuladas apresentaram a mesma média das amplitudes diárias de TO (2,4°C) e, em julho, a maior parte deles apresenta amplitude de 3,2°C, à exceção do 1º pavimento, que tem amplitudes médias 0,9°C menores que as demais, portanto, 2,4°C. Nos gráficos da Figura 129 ficam claras, tanto a sobreposição das linhas de TO no mês de fevereiro, quanto a diferenciação de TO que ocorre no mês de julho, especialmente entre o 1º pavimento e os demais.

Na orientação sul, como já abordado, não se verifica sombreamento da radiação direta em nenhum momento ao longo do ano. Isso se reflete na inexistência de diferença significativa entre as diferentes simulações aqui confrontadas (Figura 130, Figura 131 e Tabela 24).

Os resultados para as orientações leste e oeste revelam o efeito do sombreamento do entorno em ambos os períodos do ano (fevereiro e julho), sendo a intensidade maior no período do dia em que cada uma delas recebe insolação direta (manhã e tarde respectivamente) (Figura 132, Figura 133, Figura 134 e Figura 135).

De maneira geral, é observada redução mais significativa da média das máximas do que das mínimas diárias e redução das amplitudes diárias de temperatura. Na orientação leste, conforme dados da Tabela 25, a redução média para o mês de fevereiro foi do 14º para o 8º e 1º pavimentos, respectivamente, 0,4°C e 0,8°C, enquanto na média de julho a redução para as mesmas situações foi 0,2°C e 0,5°C. Na orientação oeste, conforme Tabela 26, a diferença média para o mês de fevereiro entre o 14º e os 8º e 1º pavimento foi de 0,3°C e 0,5°C, e para o mês de julho foi de 0,5°C e 0,7°C. Portanto, na orientação leste as maiores reduções na TO interna devido ao entorno ocorrem em fevereiro no período da manhã e, na oeste, em julho, no período da tarde.

Portanto, o efeito do sombreamento é mais importante nas orientações leste e oeste ao longo de todo o ano e, na orientação norte, no período do inverno em comparação com os demais casos. Isso ocorre devido às alturas solares que, em especial nas orientações leste e oeste, atingem as fachadas em alturas solares menores, ou seja, de maneira mais direta. Isso pode ser observado na diferença de TO dos ambientes do 1º e do 14º pavimento (maior e menor efeito de sombreamento pelo entorno) que são maiores justamente nesses casos.

É possível fazer um paralelo do efeito do sombreamento proporcionado pelo entorno com aquele proporcionado pelos brises. A maior diferença é que, no caso dos brises, trata-se de um sombreamento projetado, para ocorrer nos dias e horários mais desejados; deste modo, no projeto dos brises, eles foram pensados para maior sombreamento nos meses e horários mais quentes do dia, o que não ocorre pelo sombreamento do entorno.

5.2.2 2ª Fase de Simulações

A 2ª fase de simulações utiliza-se de arquivo climático representativo do futuro (aproximadamente 50 anos à frente) com inserção do efeito da ilha de calor urbana e considera a unidade habitacional ocupada e o entorno verticalizado. Esta fase se inicia com o estudo das diferentes configurações de estar/varanda no Ap Base nas diversas orientações e nos 1º e 14º pavimentos; em seguida foram selecionados, dentre eles, os casos mais críticos e estudados parâmetros de sombreamento e ventilação diferenciados nessas situações; em seguida, tendo em vista, ainda, o grande desconforto por calor, foi estudada a incorporação de brises na varanda com ela aberta; por fim, foram conjugados parâmetros observados nas simulações anteriores, visando ao melhor conforto térmico para cada uma das 4 orientações principais, de modo que, na busca por melhores opções de operação da varanda para o conforto térmico, levou-se em consideração as diferentes orientações e os períodos de calor e frio (fevereiro e julho).

5.2.2.1 As configurações de estar / varanda nas diversas orientações: Ap Base, Ap Varanda Sombreadora e Ap Varanda Envidraçada: Integrada e Porta Estar/Varanda Fechada

Neste primeiro item da 2ª fase de simulações é abordado o desempenho das configurações selecionadas de apartamento com e sem a inclusão da varanda em cada uma das 4 principais orientações solares.

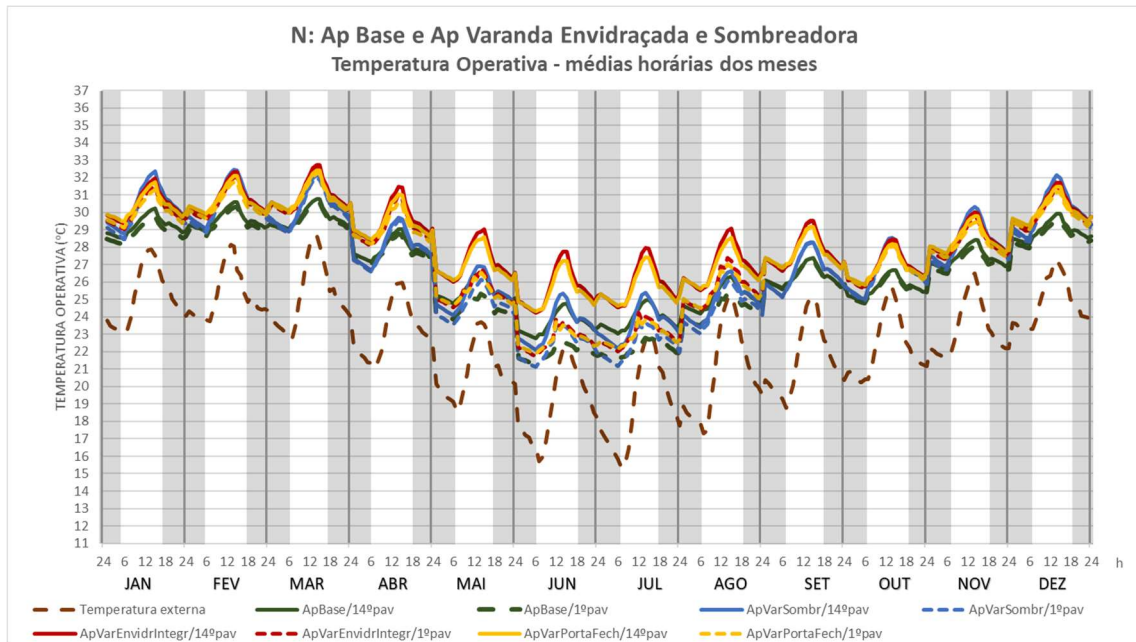


Figura 136. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos das diferentes configurações de apartamentos em cenário futuro (Futuro Intermediário + ICU) e urbanizado, orientação norte.

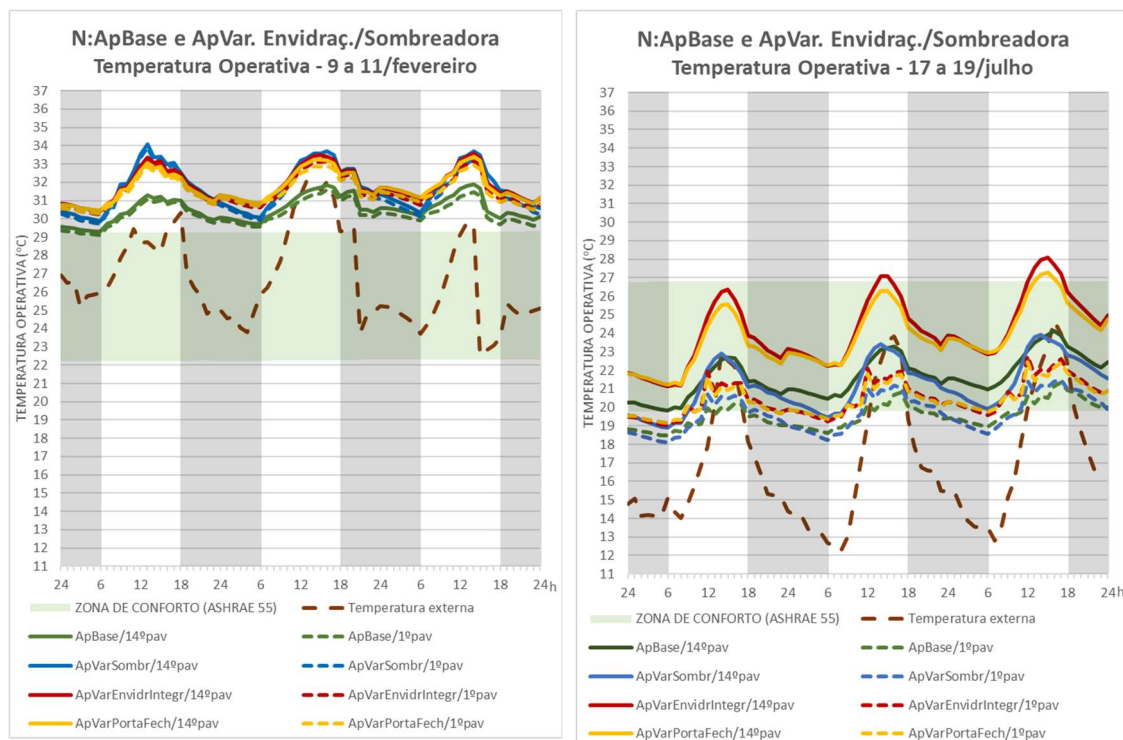


Figura 137. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos das diferentes configurações de apartamentos em cenário futuro (Futuro Intermediário + ICU) e urbanizado, orientação norte.

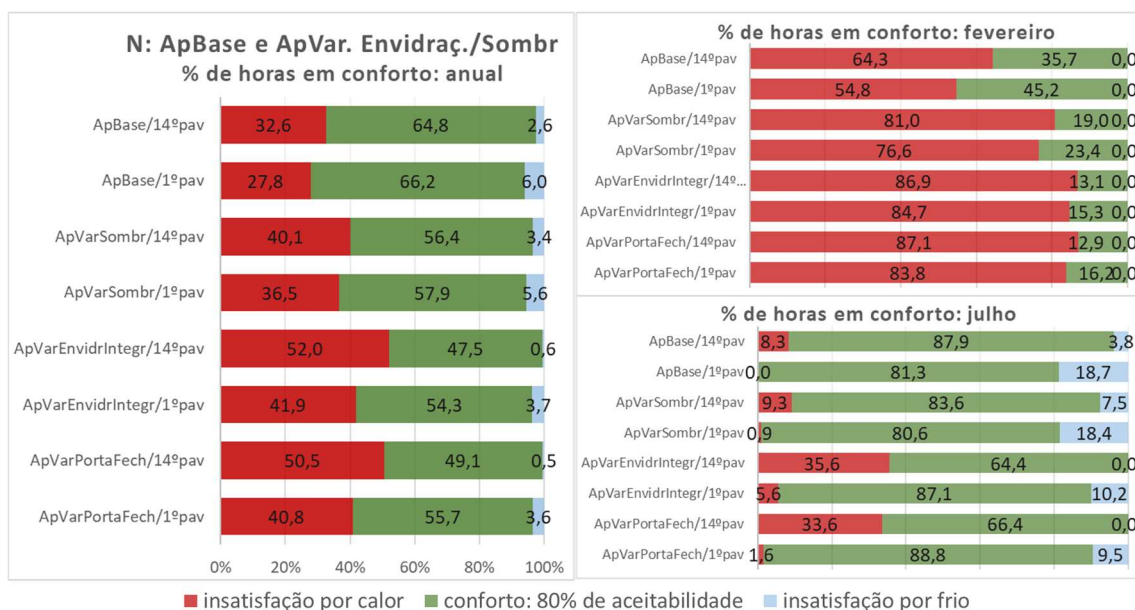


Figura 138. Avaliação dos percentuais de horas anuais e mensais (fevereiro e julho) em conforto de acordo com o modelo adaptativo da norma ASHRAE 55 para estudos das diferentes configurações de apartamentos em cenário futuro (Futuro Intermediário + ICU) e urbanizado, orientação norte.

Tabela 27. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os meses de fevereiro e julho para estudos das diferentes configurações de apartamentos em cenário futuro (Futuro Intermediário + ICU) e urbanizado, orientação norte.

N: ApBase e ApVaranda Envidraçada e Sombreadora

TO em °C		ApBase /14ºpav	ApBase /1ºpav	ApVarSombr /14ºpav	ApVarSombr /1ºpav	ApVarEnvidr Integr/14ºpav	ApVarEnvidr Integr/1ºpav	ApVarPorta Fech/14ºpav	ApVarPorta Fech/1ºpav
Temperatura média	fev	29,6	29,3	30,6	30,3	30,7	30,5	30,7	30,4
	jul	23,9	22,1	23,6	22,4	25,8	23,0	25,6	22,9
Média das máximas	fev	30,8	30,5	32,8	32,5	32,5	32,2	32,3	31,9
	jul	25,2	23,2	25,5	23,9	28,1	24,4	27,6	24,2
Média das mínimas	fev	28,6	28,4	28,9	28,7	29,5	29,3	29,6	29,4
	jul	22,7	21,2	22,0	21,0	24,1	21,8	24,1	21,8
Média das amplitudes diárias	fev	2,1	2,0	3,8	3,7	3,0	2,9	2,7	2,6
	jul	2,5	2,0	3,6	2,9	4,0	2,7	3,5	2,4

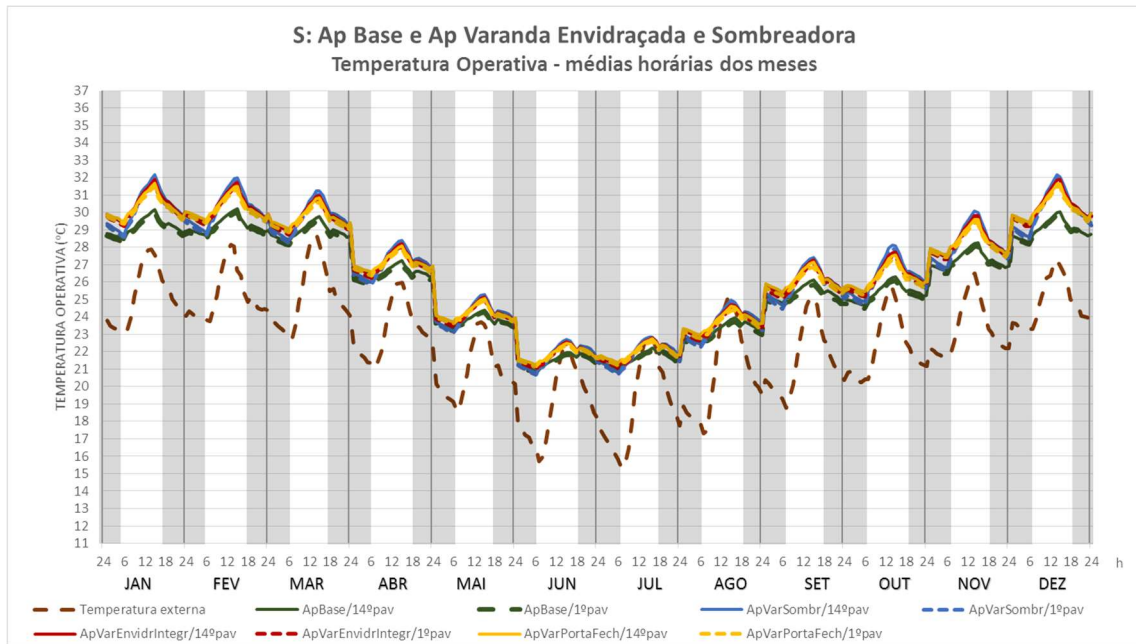


Figura 139. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos das diferentes configurações de apartamentos em cenário futuro (Futuro Intermediário + ICU) e urbanizado, orientação sul.

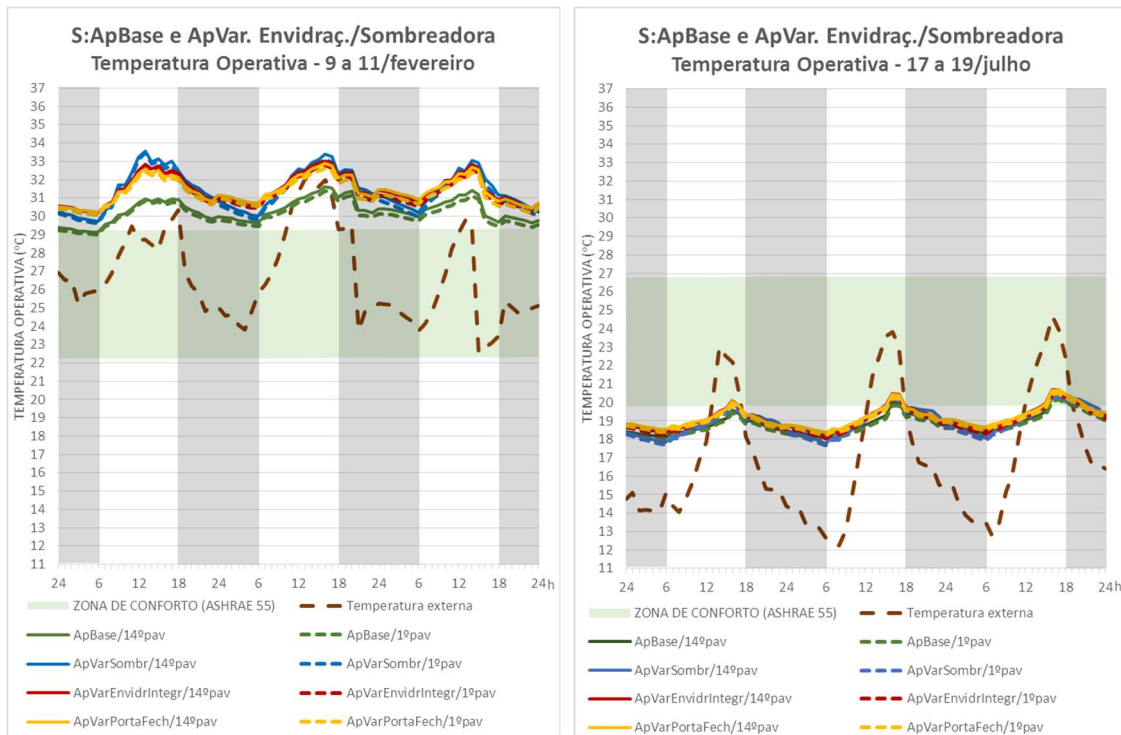


Figura 140. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos das diferentes configurações de apartamentos em cenário futuro (Futuro Intermediário + ICU) e urbanizado, orientação sul.

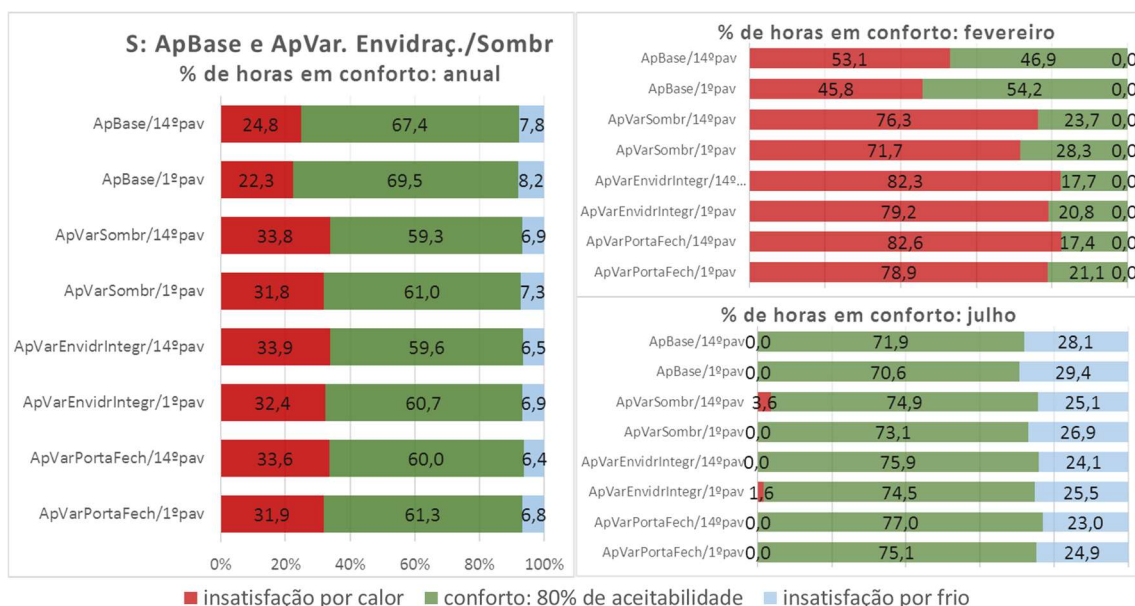


Figura 141. Avaliação dos percentuais de horas anuais e mensais (fevereiro e julho) em conforto de acordo com o modelo adaptativo da norma ASHRAE 55 para estudos das diferentes configurações de apartamentos em cenário futuro (Futuro Intermediário + ICU) e urbanizado, orientação sul.

Tabela 28. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os meses de fevereiro e julho para estudos das diferentes configurações de apartamentos em cenário futuro (Futuro Intermediário + ICU) e urbanizado, orientação sul.

S: ApBase e ApVaranda Envidraçada e Sombreadora

TO em °C		ApBase /14ºpav	ApBase /1ºpav	ApVarSombr /14ºpav	ApVarSombr /1ºpav	ApVarEnvidr Integr/14ºpav	ApVarEnvidr Integr/1ºpav	ApVarPorta Fech/14ºpav	ApVarPorta Fech/1ºpav
Temperatura média	fev	29,3	29,1	30,3	30,1	30,3	30,1	30,3	30,1
	jul	21,6	21,5	21,9	21,8	22,0	21,8	22,0	21,9
Média das máximas	fev	30,3	30,2	32,3	32,1	31,9	31,7	31,7	31,5
	jul	22,6	22,4	23,2	23,1	23,1	23,0	23,1	22,9
Média das mínimas	fev	28,4	28,2	28,7	28,6	29,2	29,1	29,3	29,1
	jul	20,8	20,6	20,6	20,5	21,0	20,9	21,1	21,0
Média das amplitudes diárias	fev	1,9	1,9	3,6	3,5	2,7	2,6	2,4	2,4
	jul	1,8	1,8	2,6	2,6	2,1	2,1	2,0	2,0

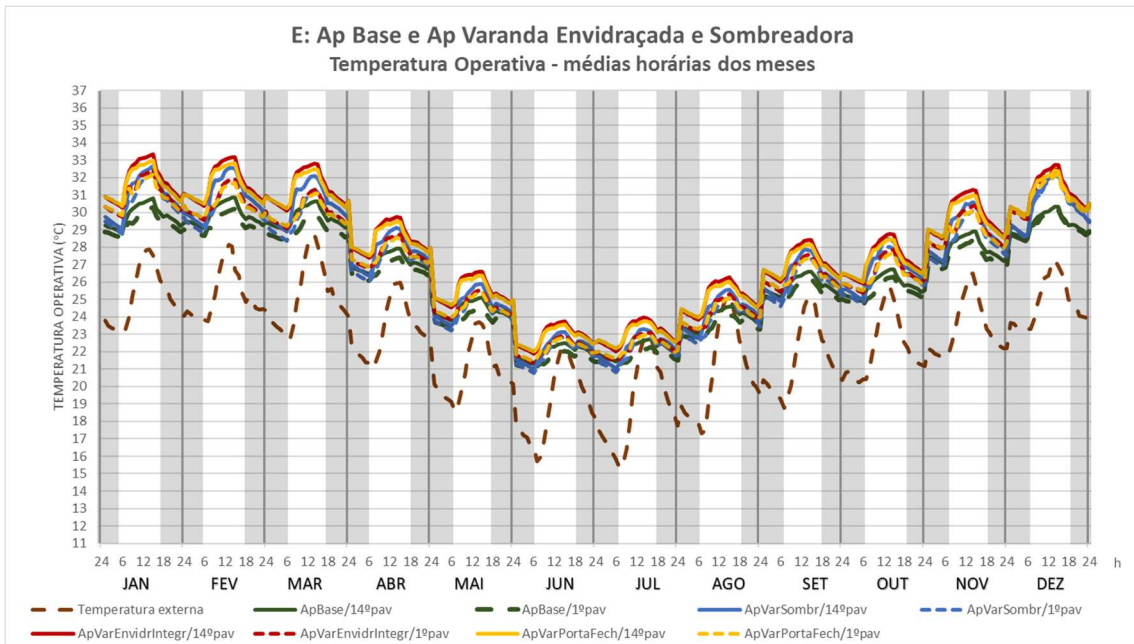


Figura 142. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos das diferentes configurações de apartamentos em cenário futuro (Futuro Intermediário + ICU) e urbanizado, orientação leste.

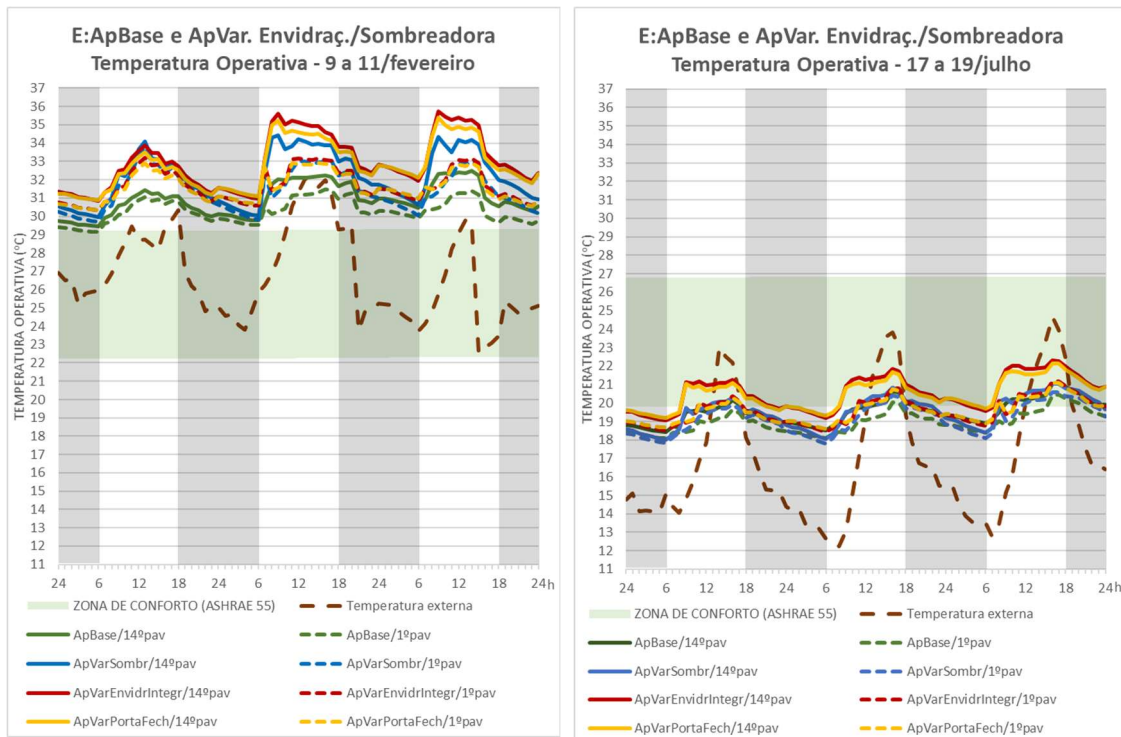


Figura 143. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos das diferentes configurações de apartamentos em cenário futuro (Futuro Intermediário + ICU) e urbanizado, orientação leste.

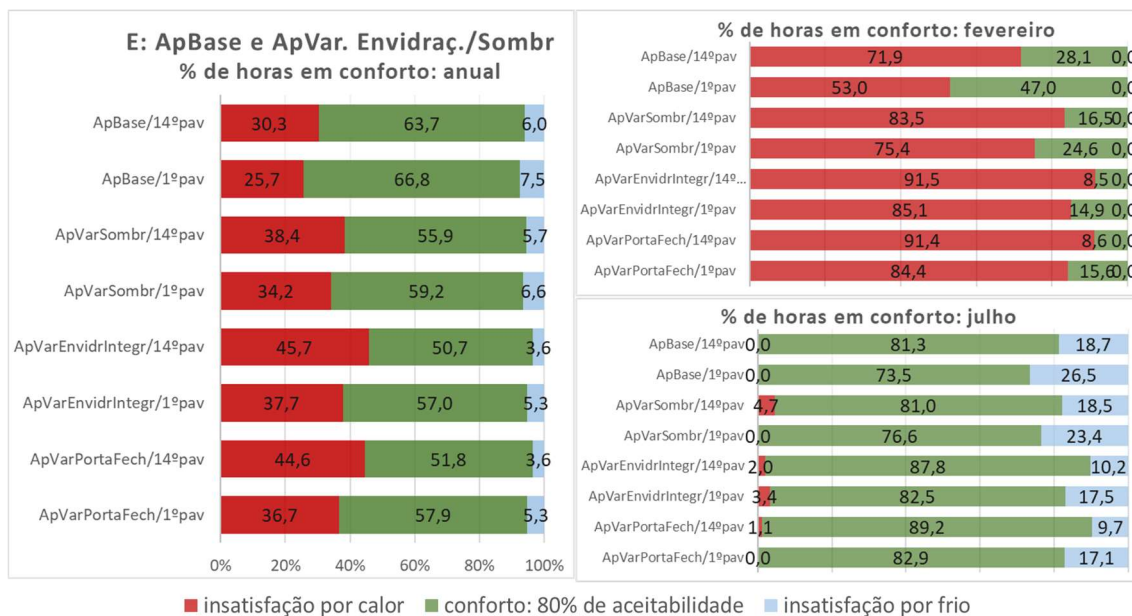


Figura 144. Avaliação dos percentuais de horas anuais e mensais (fevereiro e julho) em conforto de acordo com o modelo adaptativo da norma ASHRAE 55 para estudos das diferentes configurações de apartamentos em cenário futuro (Futuro Intermediário + ICU) e urbanizado, orientação leste.

Tabela 29. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os meses de fevereiro e julho para estudos das diferentes configurações de apartamentos em cenário futuro (Futuro Intermediário + ICU) e urbanizado, orientação leste

E: ApBase e ApVaranda Envidraçada e Sombreadora

TO em °C		ApBase /14ºpav	ApBase /1ºpav	ApVarSombr /14ºpav	ApVarSombr /1ºpav	ApVarEnvidr Integr/14ºpav	ApVarEnvidr Integr/1ºpav	ApVarPorta Fech/14ºpav	ApVarPorta Fech/1ºpav
Temperatura média	fev	29,9	29,3	30,9	30,3	31,6	30,5	31,5	30,4
	jul	22,1	21,7	22,3	22,0	23,0	22,3	23,0	22,3
Média das máximas	fev	31,0	30,4	33,0	32,3	33,5	32,1	33,1	31,9
	jul	23,1	22,6	23,6	23,3	24,2	23,4	24,1	23,3
Média das mínimas	fev	28,8	28,4	29,0	28,7	30,0	29,3	30,0	29,4
	jul	21,1	20,8	20,9	20,6	21,8	21,2	21,9	21,3
Média das amplitudes diárias	fev	2,2	2,0	3,9	3,6	3,4	2,8	3,1	2,5
	jul	1,9	1,9	2,7	2,6	2,4	2,3	2,2	2,1

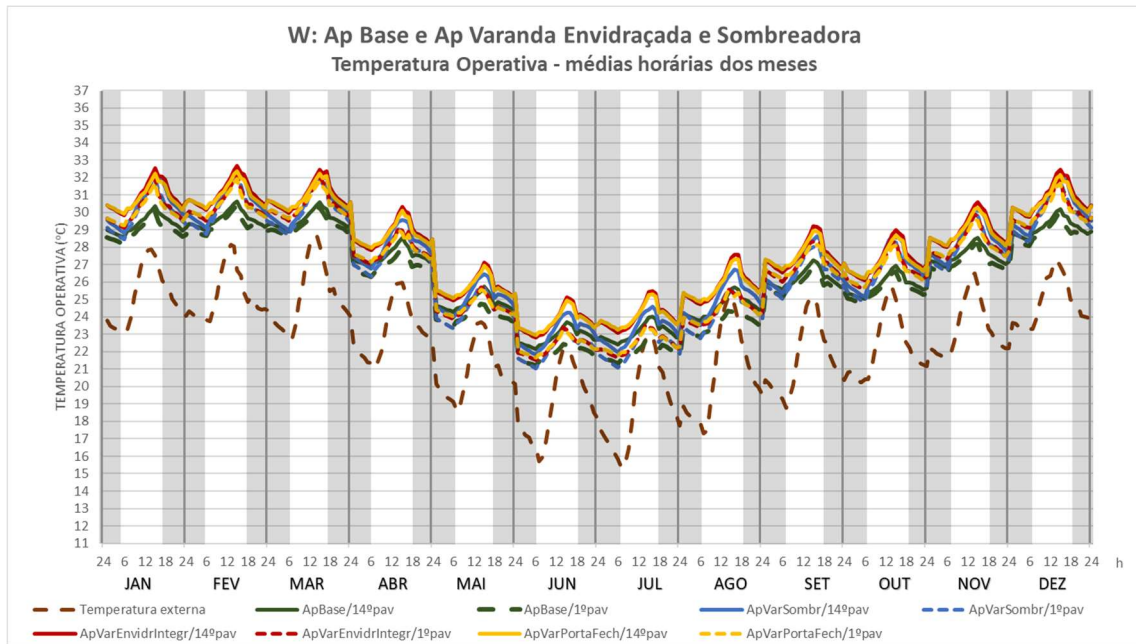


Figura 145. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos das diferentes configurações de apartamentos em cenário futuro (Futuro Intermediário + ICU) e urbanizado, orientação oeste.

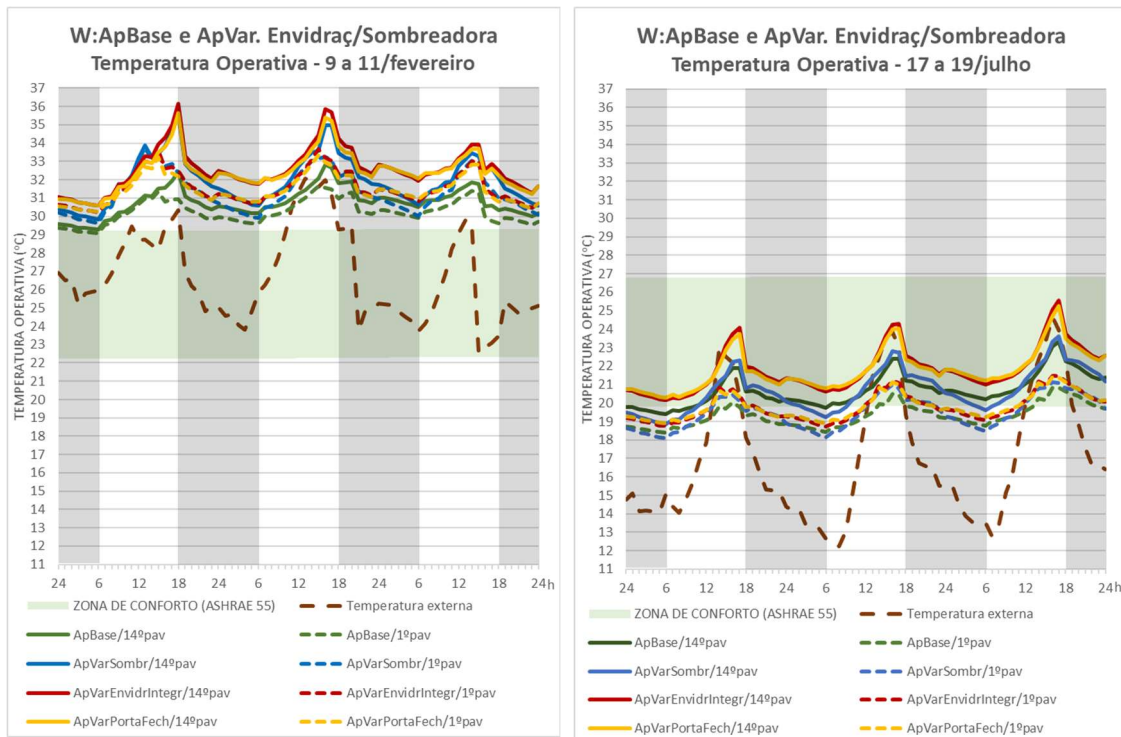


Figura 146. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos das diferentes configurações de apartamentos em cenário futuro (Futuro Intermediário + ICU) e urbanizado, orientação oeste.

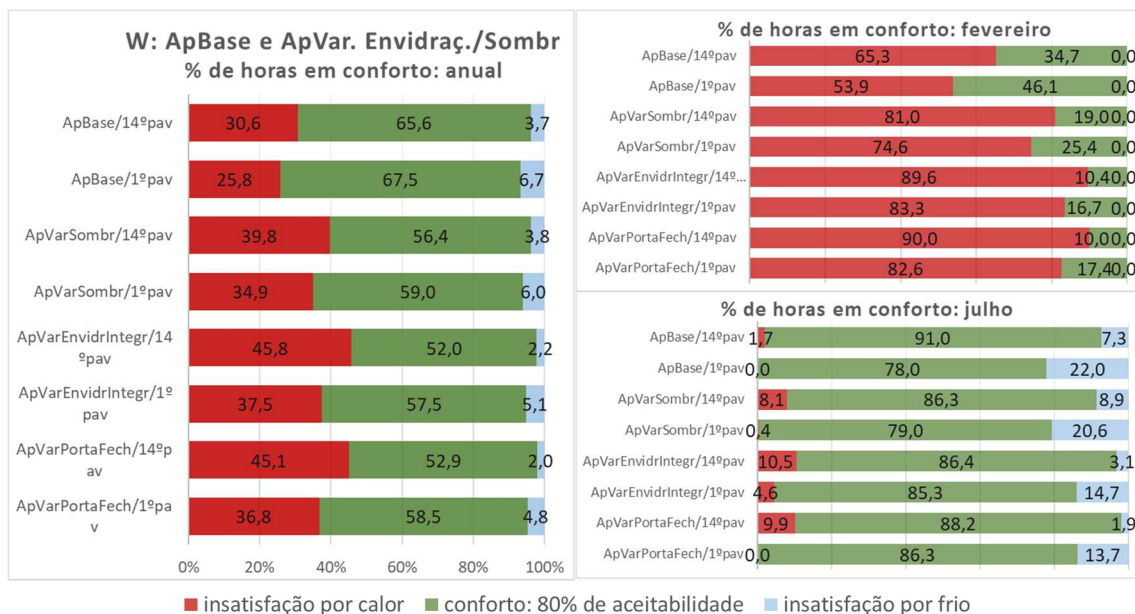


Figura 147. Avaliação dos percentuais de horas anuais e mensais (fevereiro e julho) em conforto de acordo com o modelo adaptativo da norma ASHRAE 55 para estudos das diferentes configurações de apartamentos em cenário futuro (Futuro Intermediário + ICU) e urbanizado, orientação oeste.

Tabela 30. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os meses de fevereiro e julho para estudos das diferentes configurações de apartamentos em cenário futuro (Futuro Intermediário + ICU) e urbanizado, orientação oeste.

W: ApBase e ApVaranda Envidraçada e Sombreadora

TO em °C		ApBase /14ºpav	ApBase /1ºpav	ApVarSomb /14ºpav	ApVarSomb /1ºpav	ApVarEnvidr Integr/14ºpav	ApVarEnvidr Integr/1ºpav	ApVarPorta Fech/14ºpav	ApVarPorta Fech/1ºpav
Temperatura média	fev	29,6	29,3	30,6	30,2	31,1	30,4	31,0	30,4
	jul	23,1	22,0	23,2	22,3	24,0	22,5	24,0	22,5
Média das máximas	fev	30,9	30,5	32,9	32,4	33,1	32,3	32,8	32,0
	jul	24,4	23,0	25,0	23,7	25,9	23,8	25,7	23,7
Média das mínimas	fev	28,7	28,4	29,0	28,7	29,9	29,3	29,9	29,3
	jul	22,1	21,1	21,8	20,9	22,8	21,4	22,9	21,5
Média das amplitudes diárias	fev	2,2	2,1	3,9	3,7	3,3	3,0	2,9	2,7
	jul	2,3	1,9	3,2	2,8	3,1	2,4	2,8	2,1

Os resultados das simulações da 2ª fase com as diferentes configurações de estar / varanda estão representados nos gráficos das Figura 136, Figura 137, Figura 138 e na Tabela 27 para a orientação norte; Figura 139, Figura 140, Figura 141 e na Tabela 28 para a orientação sul; Figura 142, Figura 143, Figura 144 e na Tabela 29 para a orientação leste; e Figura 145, Figura 146, Figura 147 e na Tabela 30 para a orientação oeste.

A TO interna ao ambiente do estar juntamente com a temperatura do ar externo nos dão as respostas de desempenho nas diversas situações estudadas. Na quase totalidade delas (orientações e configurações de apartamento), no mês de fevereiro observa-se mais desconforto por calor do que qualquer outra condição. A única exceção é o 1º pavimento do Ap Base na orientação sul, no qual ocorre 45,8% de horas em desconforto por calor e 54,2% de horas em conforto, em todos os outros casos o tempo em desconforto por calor ultrapassa 50% das horas do mês e em nenhum dos casos há desconforto por frio. Dentre as configurações de apartamento, em todas as orientações, é no Ap Base (primeiramente no 1º pavimento e em seguida no 14º pavimento) que ocorre o menor número de horas em desconforto por calor.

O maior desconforto por calor e, conseqüentemente, menor número de horas em conforto no mês de fevereiro ocorre nas unidades do 14º pavimento das configurações com varanda envidraçada, sendo que o maior percentual de horas em desconforto por calor é observado no 14º pavimento do Ap Varanda Envidraçada Integrada na orientação leste (91,5%), seguido de perto pelo do Ap Varanda Envidraçada com Porta Fechada, na mesma orientação (91,4%). Para as outras orientações o Ap Varanda Envidraçada com Porta Fechada apresenta percentual ligeiramente maior de horas em desconforto por calor que o Ap Varanda Envidraçada Integrada.

No mês de julho há predominância das horas em conforto (mais de 50% das horas em todos os casos). O maior percentual de horas em conforto de julho é encontrado no 14º pavimento do Ap Base, orientação oeste (91,0%); nas orientações sul e leste o maior percentual de horas em conforto é observado no 14º pavimento do Ap Varanda Envidraçada Porta Fechada (77,0% e 89,2% respectivamente) e é nesta configuração que, em todas as orientações, ocorre o menor número de horas em desconforto por frio em julho; na orientação norte a condição que oferece mais conforto é o próprio Ap Varanda Envidraçada Porta Fechada, porém, no 1º pavimento (88,8% de horas em conforto). O menor percentual de conforto neste mês de julho, por sua vez, ocorre na fachada norte, 14º pavimento do Ap Varanda Envidraçada Integrada (64,4% das horas em conforto); é interessante notar que, neste caso, não há horas em desconforto por frio, enquanto em 35,6% das horas há desconforto por calor. Nas outras orientações o menor percentual de horas em conforto em julho é verificado no 1º pavimento do Ap Base (S: 70,6%; E: 73,5%; W: 78,0%) e as horas de desconforto, em todos esses casos, ocorrem exclusivamente por frio. É importante perceber que, na orientação norte, à exceção do 1º pavimento do Ap Base, todas as outras simulações analisadas apresentaram desconforto por calor e que em ambas as configurações do Ap com Varanda Envidraçada no 14º pavimento esse desconforto por calor fica acima de 30% das horas. Na orientação sul, por sua vez, todas as configurações apresentaram desconforto por frio que variou de 23% a 29,4% das horas do mês. As orientações leste e oeste são as que, na média, mantiveram mais condição de conforto no ambiente do estar nas diferentes configurações, com melhor desempenho na oeste que na leste.

A condição observada nessa etapa do estudo (em que há minoria das horas em conforto no mês de fevereiro, com claro predomínio de horas em desconforto por calor no período, além de maior quantidade de horas em conforto no mês de julho) se contrapõe ao que foi observado na 1ª fase das simulações, nos estudos de “uso e ocupação”, nos quais houve a inclusão de carga térmica. Nesses estudos na 1ª fase ocorreu predominância das horas em conforto, em especial no mês de fevereiro (mais de 75% das horas tanto no Ap Base quanto no Ap com Varanda Envidraçada Integrada com taxa de renovação de 2R/h 24h/dia), e no mês de julho, maior desconforto por frio e menor desconforto por calor nas duas situações então estudadas. Essa é uma clara consequência do aquecimento do clima. Ainda que no do 1º pavimento haja a suavização deste efeito de aquecimento externo pelo sombreamento do entorno, ainda assim há maior tendência de aquecimento e desconforto por calor no ambiente interno.

Algumas considerações podem ser, então, elaboradas a respeito da resposta térmica de cada uma das configurações de apartamento estudadas.

Sobre o **Ap Base**, a reduzida dimensão da sua abertura em comparação com os outros casos (WWR é 20%, Porta estar/varanda com WWR de 50% e envidraçamento da varanda 100%), por si só já faz uma espécie de controle da entrada de radiação no ambiente e faz com que a sua vedação tenha mais inércia térmica, o que controla ganhos e perdas de calor (menores

amplitudes e baixas TO médias, máximas e mínimas em fevereiro). O Ap Base/1º pavimento apresentou as menores TO médias e média das máximas mensais para os meses tanto de fevereiro quanto de julho em todas as orientações, além das menores médias das mínimas em fevereiro. Nos casos do mês de fevereiro, as menores TO médias mensais, médias das máximas e amplitudes, em todas as orientações, e médias das mínimas nas orientações norte e sul, ocorrerem para o 1º pavimento do Ap Base e o 2º menor valor ocorre para o 14º pavimento do mesmo modelo. Esta é a configuração que apresenta maior porcentagem de horas em conforto, tanto no primeiro quanto no 14º pavimento em todas as orientações.

A configuração do **Ap Varanda Sombreadora**, por sua vez, provoca um sombreamento excessivo, principalmente no período do inverno na superfície envidraçada da abertura do estar, e faz com que ela fique, de certa forma, enclausurada (apenas uma das superfícies é vazada), o que favorece o acúmulo de calor nas superfícies desse espaço e dificulta a remoção do calor por convecção, além de fazer com que o ambiente avaliado, denominado estar, esteja adjacente à área envidraçada e, por isso, mais sujeito a ganhos e perdas de calor (altas amplitudes térmicas diárias). Nesta configuração de apartamento, no mês de julho, a menor média das mínimas, em todas as orientações ocorreu no 1º pavimento. E sobre as amplitudes, para a maior parte das orientações, tanto no mês de fevereiro quanto de julho, foi observada no 14º pavimento do Ap Varanda Sombreadora (a única exceção é a orientação norte no mês de julho). Essa configuração de apartamento assume uma posição intermediária na quantidade de horas em conforto (entre o Ap Base e os Aps com a Varanda Envidraçada), por exemplo; no mês de fevereiro apresenta mais desconforto por calor que o Ap Base e menos do que os Aps com Varanda Envidraçada, e, em julho, mais desconforto por frio que o Ap Base e menos do que os Aps com Varanda Envidraçada e isso faz com que, em comparação com as situações com o envidraçamento externo da varanda, a ausência de envidraçamento seja mais positiva (proporciona mais horas em conforto) nos casos em que o aquecimento é mais preocupante por gerar maior desconforto por calor, a saber, todas as orientações e pavimentos em fevereiro e a orientação norte, 14º pavimento, em julho.

Os apartamentos com **Varanda Envidraçada**, tanto no caso com a varanda **Integrada**, quanto no caso com a **Porta** entre estar e varanda **Fechada**, apresentam grande facilidade de ganhar calor, devido à ampla superfície envidraçada exposta (maiores TO médias e média das mínimas; no caso das médias das máximas, divide a posição com o Ap Varanda Sombreadora que, além de ser adjacente à superfície envidraçada, tem o efeito do enclausuramento no aquecimento do ambiente de transição da varanda). Essa configuração revela também maiores amplitudes térmicas que o Ap Base. As maiores temperaturas médias mensais foram observadas no 14º pavimento de ambos os modelos com varanda envidraçada: no mês de fevereiro, nas orientações norte e sul esses dois modelos têm a mesma média mensal (30,7°C na norte e 30,3°C na sul); nas orientações leste e oeste o Ap Varanda Envidraçada Integrada apresenta TO média mensal 0,1°C mais alta que o Ap Varanda Envidraçada Porta Fechada (31,6°C e 31,5°C na orientação leste / 31,3°C e 31,0°C na orientação oeste). No mês de julho, nas orientações sul, leste e oeste a maior TO média mensal encontrada em ambos os modelos de apartamento foi a mesma (22,0°C) e na orientação norte, o Ap Varanda Envidraçada Integrada registrou TO média 0,2°C acima da TO do Ap Varanda Envidraçada Porta Fechada (25,8°C e 25,6°C respectivamente). Em julho, por sua facilidade em ganhar calor, à exceção do 14º pavimento da orientação norte, são as opções (ambas as configurações com varanda envidraçada) que possuem maior percentual de horas em conforto; em fevereiro, por sua vez, pelo mesmo motivo, são as opções que apresentam maior quantidade de horas em desconforto por calor e, conseqüentemente, menor percentual de horas em conforto.

O Ap Varanda Envidraçada com Porta entre estar e varanda Fechada, em comparação com o **Ap Varanda Envidraçada Integrada**, amortece os dados de TO, com redução das máximas, aumento das mínimas e, conseqüentemente, redução das amplitudes. Esse efeito ocorre porque a varanda funciona como um “*buffer*”, e os dados de TO para este ambiente, o da varanda fechada, em compensação, atingem TO limites mais extremas e maiores amplitudes. Esta configuração de apartamento apresenta, em todas as orientações e tanto no mês de fevereiro quanto de julho, a maior TO média das mínimas, o que reflete o efeito de isolamento que o ambiente da varanda exerce no estar, aliado à facilidade de ganhar calor nas configurações com a varanda envidraçada. O Ap Varanda Envidraçada Integrada, por sua vez, permite a maior troca entre os ambientes do estar e da varanda, o que faz com que as TO do ambiente do estar tenham valores mais extremos do que os modelos em que isso não acontece.

Da leitura dos resultados, portanto, percebe-se que, o período quente (fevereiro) é mais crítico devido ao reduzido número de horas em conforto e o grande número de horas em desconforto por calor. Dentre todas as orientações estudadas, o 14º pavimento é sempre o mais crítico e, dentre todas elas, o menor conforto é observado na configuração do Ap com Varanda Envidraçada Integrada na orientação leste.

No mês de julho as condições climáticas foram mais favoráveis ao conforto. Observa-se que, no 1º pavimento, o apartamento com Varanda Envidraçada ofereceu boa resposta térmica, com mais horas em conforto que o Ap Base (que é o mais vantajoso em fevereiro). Já no 14º pavimento, em especial na orientação norte, verifica-se ampliação das horas em desconforto por calor. Dentre todas as opções estudadas, ainda que julho seja um mês mais frio, o caso mais crítico para o conforto foi o que apresentou maior porcentagem de horas em desconforto por calor: o Ap Varanda Envidraçada Integrada, 14º pavimento, na orientação norte.

Portanto, o que mais preocupa no cenário futuro e urbanizado é o sobreaquecimento. Por isso, soluções que busquem remover o calor excessivo e evitar maiores ganhos de calor por radiação solar devem ser incentivadas. É importante não esquecer, porém, que em julho, o desconforto por frio está presente na maior parte dos resultados de simulação apresentados. É possível, porém, através da operação das aberturas pelo usuário, reduzir a ventilação (pois entre 15h e 23h foram consideradas 4R/h) nos períodos de ocupação em que haja desconforto por frio para melhoria da condição de conforto.

5.2.2.2 Casos críticos: sombreamento e taxa de ventilação

Foram estudados os casos mais críticos para o desconforto, tanto no mês de fevereiro quanto de julho, ambos por desconforto por calor. As estratégias utilizadas foram aquelas que se mostraram mais eficientes para o resfriamento com operação com ventilação natural: sombreamento e taxa de ventilação.

Os primeiros estudos lançaram mão do sombreamento através da inclusão de brises.

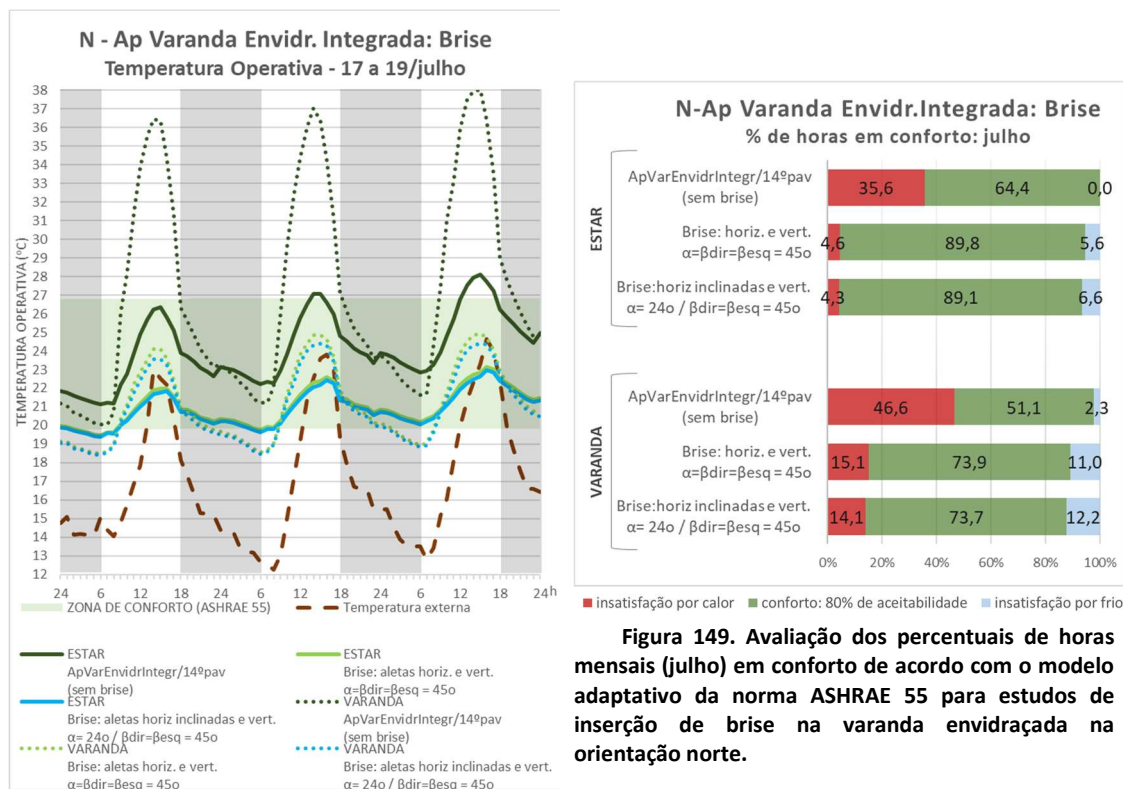


Figura 148. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de dias de frio (17 a 19/jul) para estudos de inserção de brise na varanda envidraçada na orientação norte.

Obs: A amplitude do eixo vertical foi alterada a fim de permitir a visualização de todos os resultados.

Tabela 31. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os para os meses de julho para estudos de inserção de brise na varanda envidraçada na orientação norte.

		N - Ap Varanda Envidr. Integrada: Brise					
		ESTAR			VARANDA		
		sem brise	Brise: horiz. e vert. $\alpha = \beta = 45^\circ$	Brise: horiz incl. e vert $\alpha = 24^\circ / \beta = 45^\circ$	sem brise	Brise: horiz. e vert. $\alpha = \beta = 45^\circ$	Brise: horiz incl. e vert $\alpha = 24^\circ / \beta = 45^\circ$
TO em °C							
Temperatura média	jul	25,8	23,5	23,3	27,6	23,7	23,5
Média das máximas	jul	28,1	24,9	24,7	35,7	27,6	27,2
Média das mínimas	jul	24,1	22,2	22,2	23,0	21,2	21,1
M. amplitudes diárias	jul	4,0	2,6	2,6	12,7	6,4	6,2

O 14º pavimento do Ap Varanda Envidraçada Integrada foi estudado por ser o que apresentou menor quantidade de horas em conforto no mês de julho e o desconforto nesse caso ocorreu exclusivamente por calor. A proposta de brise, portanto, buscou promover o sombreamento além do verão, também no período do inverno. Como resultado, o que se observou foi a redução das TO médias com relação à situação inicial (sem brise) e grande semelhança entre as situações com as aletas na posição horizontal e inclinada (o sombreamento proporcionado pelo brise de aletas horizontais parece, por si só, já proporcionar um sombreamento suficiente para reduzir significativamente os ganhos de calor por incidência solar). Verificou-se também redução das amplitudes diárias pela inserção do brise e também aumento do número de horas em conforto (além do surgimento do desconforto por frio).

Quanto às TO, na média do mês de julho (Tabela 31) houve redução de 2,3°C por introdução do brise. Com a inclinação das aletas a redução na média do mês com relação à

situação sem inclinação foi de apenas 0,2°C. Da TO média das máximas observou-se redução de 3,2°C para o brise sem inclinação e mais 0,2°C para o brise com inclinação das aletas. Na média das mínimas do mês a redução foi de 1,9°C entre a situação sem brise e aquelas com brise (ambas as situações com brise tiveram mesma média das mínimas neste mês de julho). Há, portanto, redução das amplitudes médias diárias principalmente por redução das máximas: na média do mês de julho, na situação inicial sem brise a amplitude média era de 4,0°C, passou a 2,6°C em ambas as situações com brise.

Especificamente no ambiente da varanda, o que se destaca é a maior amplitude de TO média mensal diária e maior média mensal. Destaca-se o efeito do sombreamento ocasionado pelo brise na varanda, tendo sido observada a redução da amplitude diária (entre o caso sem brise e aqueles com brise) de aproximadamente 50%, o que fica muito bem ilustrado no gráfico da Figura 148, em que se destaca a grande amplitude da curva da TO na varanda da simulação sem brise, se distanciando muito em seus picos da zona de conforto e, com a inserção do brise, a redução da amplitude da curva e a maior aderência à faixa de conforto.

Quanto à condição de conforto (Figura 149), observa-se que, no estar, inversamente ao que ocorre na situação sem brise, com a inclusão dos brises passa a haver mais desconforto por frio que por calor e com o brise inclinado (maior sombreamento) esse desconforto por frio é um pouco maior. Na varanda o desconforto por calor ainda permanece maior que o desconforto por frio.

Comparando o desempenho para o conforto anual da presente configuração (Ap Varanda Envidraçada Integrada) do 14º pavimento, com brise e a mesma configuração de apartamento no 1º pavimento, sem brise das simulações anteriores (item 5.2.2.1), percebemos a situação estudada agora, com brise no 14º pavimento, apresentou maior percentual de horas em conforto no estar que aquele, assim como menor percentual de horas em desconforto tanto por calor quanto por frio, de modo que o sombreamento projetado para a superfície envidraçada foi mais eficiente que aquele realizado ocasionalmente pelo entorno.

Com os resultados, portanto, percebe-se que o brise com aletas horizontais com ângulo de sombreamento de 45° (sem inclinação das aletas) foi o que proporcionou maior número de horas em conforto, tanto no estar (aproximadamente 90% das horas do mês de julho), quanto na varanda (aproximadamente 74% das horas no mês de julho), com presença de percentuais de horas em desconforto tanto por calor quanto por frio.

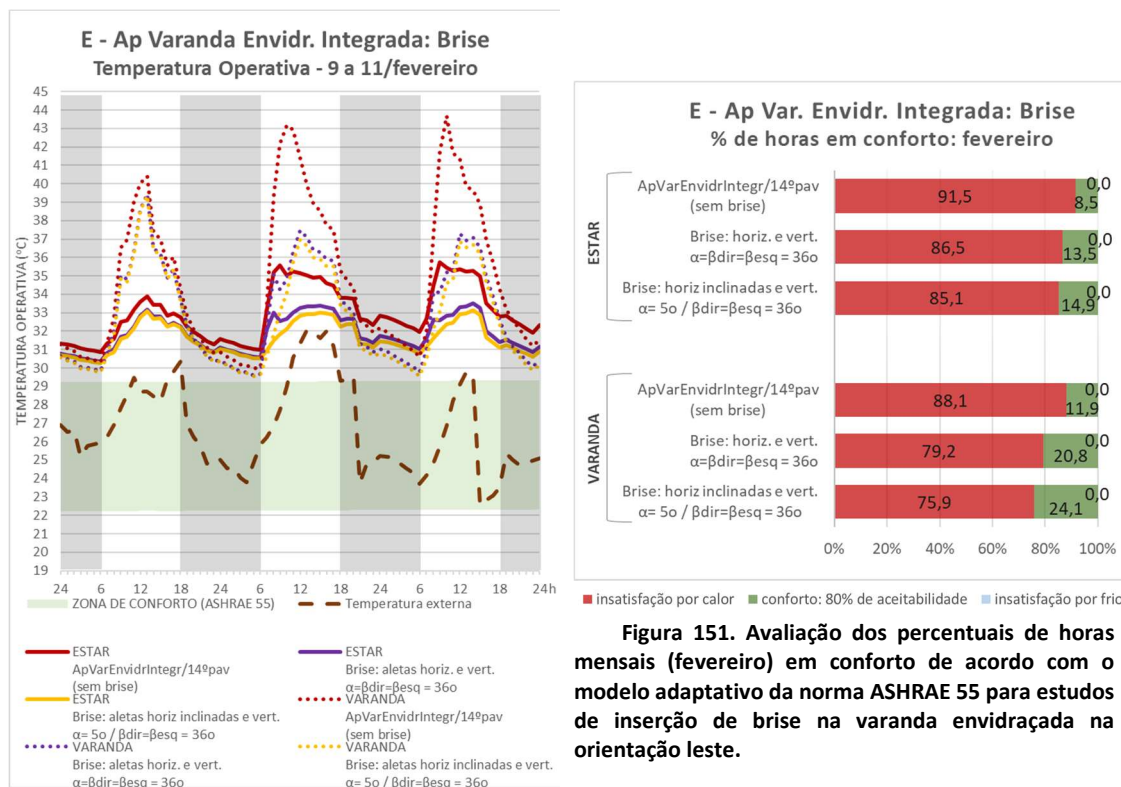


Figura 150. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de dias de calor (9 a 11/fev) para estudos de inserção de brise na varanda envidraçada na orientação leste.

Obs: A amplitude do eixo vertical foi alterada a fim de permitir a visualização de todos os resultados.

Figura 151. Avaliação dos percentuais de horas mensais (fevereiro) em conforto de acordo com o modelo adaptativo da norma ASHRAE 55 para estudos de inserção de brise na varanda envidraçada na orientação leste.

Tabela 32. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os para os meses de fevereiro para estudos de inserção de brise na varanda envidraçada na orientação leste.

		E - Ap Varanda Envidraçada Integrada: Brise					
		ESTAR			VARANDA		
		Brise: horiz. e vert.		Brise: horiz incl. e vert	Brise: horiz. e vert.		Brise: horiz incl. e vert
TO em °C		sem brise	$\alpha = \beta = 36^\circ$	$\alpha = 5^\circ / \beta = 36^\circ$	sem brise	$\alpha = \beta = 36^\circ$	$\alpha = 5^\circ / \beta = 36^\circ$
Temperatura média	fev	31,6	30,7	30,5	33,1	31,7	31,5
Média das máximas	fev	33,5	32,3	32,1	39,7	37,1	36,9
Média das mínimas	fev	30,0	29,4	29,3	29,1	28,6	28,4
M. amplitudes diárias	fev	3,4	2,9	2,8	10,6	8,6	8,4

No mês de fevereiro foi observado o maior desconforto, com menos de 50% das horas do mês em conforto em todas as situações. O desconforto em todos os casos foi exclusivamente por calor. Tendo sido a situação do 14º pavimento do Ap Varanda Envidraçada Integrada na orientação leste a mais crítica e, por isso, foi estudada separadamente como exemplificativa.

O sombreamento proposto, com as duas configurações de brise (o mesmo brise: um com as aletas sem rotação e o outro com as aletas horizontais rotacionadas em 40°) busca evitar a insolação direta na superfície envidraçada com o objetivo de liquidar ou, ao menos, minimizar o sobreaquecimento do ambiente interno. Do mesmo modo que, como observado anteriormente, o ambiente da varanda apresenta maiores amplitudes de TO, com máximas mais altas e mínimas mais baixas que o estar.

Os resultados expostos na Tabela 32 mostram que há de fato redução das TO internas, da amplitude de TO ao longo do dia e aumento da porcentagem de horas em conforto. Essa

redução das TO são, porém, inferiores aos valores observados para o mês de julho na orientação norte. Na média do mês de fevereiro, entre a situação sem brise e as que possuem brise (respectivamente sem e com rotação das aletas horizontais) houve redução de 0,9°C e 1,1°C de TO no estar e de 1,4°C e 1,6°C na varanda. Quanto à média das máximas, houve redução de 1,2°C e 1,4°C no estar e de 2,6°C e 2,8°C na varanda. No que diz respeito à média das mínimas, ambas as situações com brise apresentaram TO 0,6°C e 0,7°C abaixo da configuração sem brise no estar e 0,5°C e 0,7°C na varanda. Quanto à média mensal das amplitudes diárias, a inserção do brise representou um valor 0,5°C e 0,6°C mais baixo que a situação sem brise no estar, enquanto na varanda as reduções foram de 2,0°C e 2,2°C.

Além do impacto da inserção do brise na TO ser menor que no caso estudado na orientação norte, no mês de julho, no caso de fevereiro, como pode ser observado no gráfico da Figura 150 e gráficos similares apresentados anteriormente na 2ª fase de simulações, há maior distanciamento da zona de conforto da linha de TO interna que, nesse período representado (de 9 a 11 de fevereiro), está totalmente acima da zona de conforto (o que significa desconforto por calor) em todas as configurações estudadas, sendo elas com brise ou sem brise.

Como consequência da inserção do brise, há o aumento do percentual de horas em conforto por redução das horas em desconforto por calor: na situação sem brise, no estar são 8,5% de horas em conforto e nas situações com brise, com aletas horizontais e inclinadas, são, respectivamente, 13,5% e 14,9% de horas em conforto. Na varanda, por sua vez, observa-se maior percentual de horas em conforto do que no estar, sendo 11,9% das horas para a simulação sem brise e 20,8% e 24,1% com o brise de aletas horizontais e inclinadas, respectivamente (Figura 151). O maior percentual de horas em conforto nas varandas ocorre devido à maior amplitude térmica que se dá neste ambiente em comparação com aquele. Como visto, essa amplitude faz com que as TO mínimas sejam menores que no ambiente do estar e, por isso, nesse momento, em muitos dos dias de fevereiro, atinja a faixa de conforto. Por outro lado, destaca-se especialmente os valores de TO máxima atingidos, que ocasionam desconforto por calor mais intenso. Deste modo, o desconforto por calor ainda é preponderante e em todos os casos atinge valores maiores que 85% das horas no estar e 75% das horas na varanda, no mês de fevereiro.

Os próximos estudos, por sua vez, lançaram mão do aumento da taxa de ventilação.

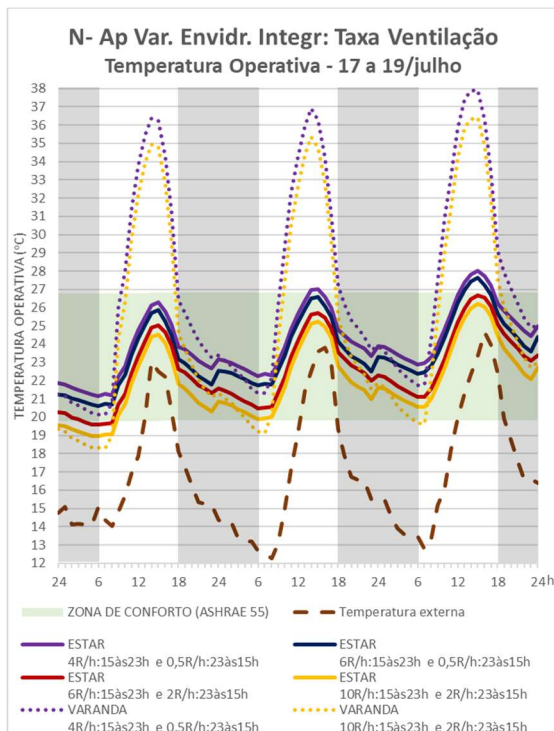


Figura 152. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de dias de frio (17 a 19/jul) para estudos de diferentes taxas de renovação de ar na orientação norte.

Obs: A amplitude do eixo vertical foi alterada a fim de permitir a visualização de todos os resultados.

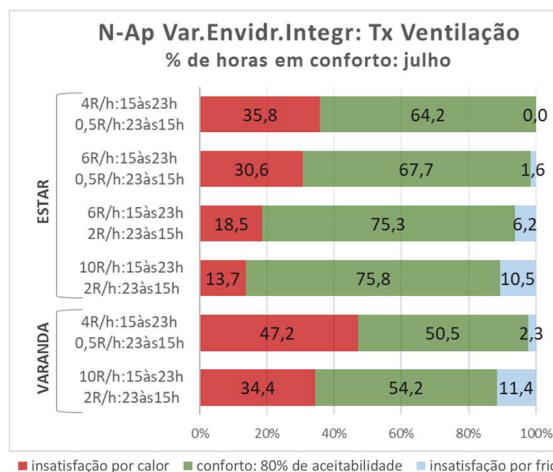


Figura 153. Avaliação dos percentuais de horas mensais (julho) em conforto de acordo com o modelo adaptativo da norma ASHRAE 55 para estudos de diferentes taxas de renovação de ar na orientação norte.

Tabela 33. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os para os meses de julho, para estudos de diferentes taxas de renovação de ar na orientação norte.

		N - Ap Varanda Envidraçada Integrada: Taxa de Ventilação					
		ESTAR		ESTAR		VARANDA	
		4R/h:15às23h e 0,5R/h:23às15h	6R/h:15às23h e 0,5R/h:23às15h	6R/h:15às23h e 2R/h:23às15h	10R/h:15às23h e 2R/h:23às15h	4R/h:15às23h e 0,5R/h:23às15h	10R/h:15às23h e 2R/h:23às15h
TO em °C	jul	25,8	25,3	24,4	23,9	27,7	26,0
Média das máximas	jul	28,1	27,7	26,8	26,4	35,6	34,1
Média das mínimas	jul	24,1	23,6	22,6	21,9	23,1	21,2
M. amplitudes diárias	jul	4,0	4,2	4,2	4,5	12,5	13,0

No caso da orientação norte no mês de julho, partiu-se da configuração do Ap Varanda Integrada sem brise.

Dos resultados obtidos e expostos na Tabela 33 nota-se que o aumento das taxas de ventilação ocasiona a redução da TO média do ambiente, porém, aumenta as amplitudes térmicas diárias. A amplitude térmica do mês de julho, na situação original norte, é de 4,0°C (a amplitude térmica quando da inclusão do brise foi reduzida, porém, nesse caso, as simulações não incluem brise) e no caso com maior taxa de renovação estudada chega-se a 4,5°C de amplitude média no mês. A varanda, por sua vez, pela superfície envidraçada desprotegida da insolação, já possui amplitude térmica alta na situação original (12,5°C na média de julho), tem a mesma aumentada ainda mais quando do aumento das taxas de ventilação, em valor absoluto igual ao que foi acrescido na amplitude média do estar: 0,5°C (ambos entre o caso com menor e maior ventilação estudados).

No caso de maior ventilação estudado nesta orientação norte (10R/h das 15h às 23h e 2 R/h das 23h às 15h), a redução de TO média mensal no mês de julho é de 1,9°C com relação

ao caso original no estar e de 1,7°C na varanda. Quanto à média das máximas e das mínimas, no ambiente do estar, repete-se a mesma tendência de redução de TO à medida em que as taxas de ventilação aumentam, sendo que da situação original para o caso com maiores taxas de ventilação, a redução da médias das máximas observada foi de 1,7°C e da média das mínimas, 2,2°C, portanto, maior redução das mínimas do que das máximas. No caso da varanda, por sua vez, a média das máximas sofreu redução de 1,5°C e a média das mínimas, redução de 1,9°C.

Observando-se a Figura 152, no dia 18/jul, às 6h, enquanto a temperatura do ar externo está a 12,7°C, a simulação com a taxa de ventilação original (4R/h das 15h às 23h e 0,5 R/h das 23h às 15h) apresenta 22,3°C no estar e 21,3°C na varanda, a situação com a maior taxa de ventilação estudada (10R/h das 15h às 23h e 2 R/h das 23h às 15h) está com 19,9°C no estar e 19,2°C na varanda. Às 16h (temperatura do ar externo 23,8°C) a TO na situação original é de 26,6°C no estar e de 34,2°C na varanda, enquanto naquela com maior taxa de ventilação é 24,9°C e 32,8°C.

Quanto à condição de conforto (Figura 153), há um progressivo aumento da quantidade de horas em conforto quando do aumento das taxas de renovação de ar. Há também redução do desconforto por calor e aumento do desconforto por frio, sendo que a redução do desconforto por calor é maior do que o aumento do desconforto por frio. Entre o caso com a taxa de renovação inicial e a situação com a maior taxa de renovação, para o ambiente do estar, há um aumento de 11,6 pontos percentuais do número de horas em conforto para o mês de julho, redução de 22,1 pontos percentuais de desconforto por calor e aumento do desconforto por frio, que não aparecia e passou a representar 10,5% das horas. Na varanda, o aumento do porcentual de horas em conforto foi de 3,7 pontos e em desconforto por frio, de 9,1 pontos, enquanto o desconforto por calor aumentou 12,8 pontos. Ou seja, a baixa inércia térmica da varanda faz com que seja mais difícil incrementar seu conforto através da ventilação.

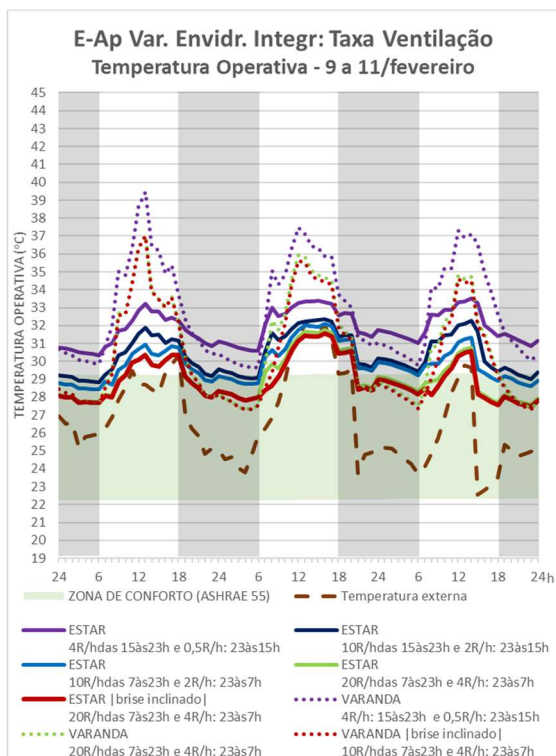


Figura 154. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de dias de calor (9 a 11/fev) para estudos de diferentes taxas de renovação de ar, na orientação leste.

Obs: A amplitude do eixo vertical foi alterada a fim de permitir a visualização de todos os resultados.

Tabela 34. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os para o mês de fevereiro para estudos de diferentes taxas de renovação de ar, na orientação leste.

		E - Ap Varanda Envidraçada Integrada: Taxa de Ventilação								
		ESTAR	ESTAR	ESTAR	ESTAR	ESTAR br inclin	VARANDA	VARANDA	VARANDA br incl	
TO em °C		4R/h:15às23h 0,5R/h:23às15h	10R/h:15às23h 2R/h:23às15h	10R/h:7às23h 2R/h:23às7h	20R/h:7às23h 4R/h:23às7h	20R/h:7às23h 4R/h:23às7h	4R/h:15às23h 0,5R/h:23às15h	20R/h:7às23h 4R/h:23às7h	20R/h:7às23h 4R/h:23às7h	
Temperatura média	fev	30,7	29,1	28,5	27,6	27,5	31,7	29,1	29,0	
Média das máximas	fev	32,3	31,0	30,2	29,7	29,6	37,1	34,7	34,6	
Média das mínimas	fev	29,4	27,6	27,2	26,2	26,2	28,6	26,0	25,9	
M. amplitudes diárias	fev	2,9	3,3	3,0	3,5	3,4	8,6	8,8	8,7	

Conforme descrito no Capítulo 4, neste conjunto de simulações, do Ap Varanda Envidraçada Integrada, orientação leste no mês de fevereiro, parte da configuração com brise, conforme estudado neste mesmo item, porém, naquele momento, sem variação da taxa de ventilação.

Como pode ser observado na Tabela 34, o aumento da taxa de ventilação resulta em uma redução das TO internas que, na média do mês de fevereiro vão de 1,6°C (no caso de 10R/h das 15 às 23h e 2R/h das 23h às 15h) a 3,1°C (20R/h das 7h às 23h e 4R/h das 23 às 7h) no estar, com emprego do brise sem rotação. Na varanda, entre a situação com a taxa de ventilação original e a maior taxa de ventilação, a redução na TO média foi de 2,6°C. A adoção da rotação do brise se traduz em uma redução de TO em relação à situação com mesma taxa de ventilação, porém, sem as aletas rotacionadas, que vão de 0 a 0,1°C, tanto média mensal quanto média das máximas, das mínimas e das amplitudes diárias, tanto para o estar quanto para a varanda.

Do mesmo modo que se observa na orientação norte, mês de julho, com o aumento da taxa de ventilação há o aumento das amplitudes médias de TO. O aumento máximo observado de amplitudes é de 0,6°C no estar e 0,2°C na varanda, na situação proposta com a maior taxa de ventilação adotada neste conjunto de simulações.

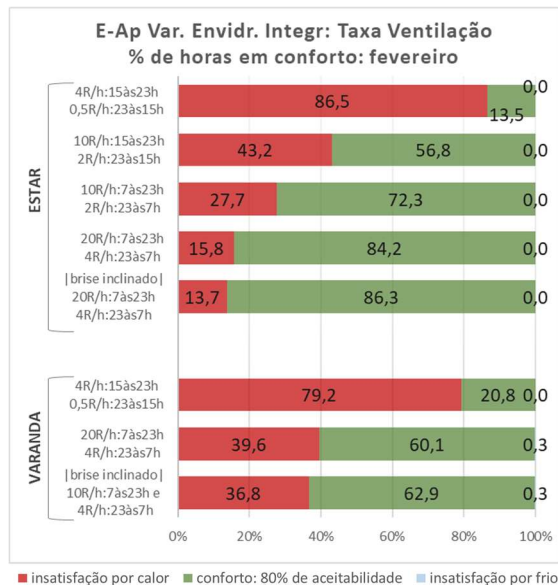


Figura 155. Avaliação dos percentuais de horas mensais (fevereiro) em conforto, de acordo com o modelo adaptativo da norma ASHRAE 55 para estudos de diferentes taxas de renovação de ar, na orientação leste.

Para melhor compreensão, olhando o dia 10/fev às 6h, quando a temperatura do ar externo é 25,9°C, na situação inicial o estar está com TO de 30,6°C e a situação com maiores taxas de ventilação está com 28,0°C (tanto com as aletas de brise na horizontal quanto inclinadas). A varanda, no mesmo dia e horário, tem TO de 29,7°C na situação original e, com a maior taxa de ventilação a TO é 27,6°C, e 27,5°C com o brise de aletas rotacionadas. Às 8h observa-se um pico de TO (mais alta que as adjacentes) nos casos em que o brise não está rotacionado: nesse horário há incidência solar direta na superfície envidraçada. A partir das 9h, a TO foi reduzida devido à redução da TRM pelo sombreamento realizado pelo brise. Na situação com a taxa de renovação inicial, às 8h, no estar, a TO é 33,0°C e às 9h 32,5°C e na varanda 35,1°C e 34,3°C (a TO é reduzida entre as 8h e as 9h); na situação com a maior ventilação, no caso com o brise de aletas horizontais ocorre a mesma tendência de redução entre 8h e 9h, sendo a TO nos respectivos horários 29,9°C e 29,6°C no estar e 35,1°C e 34,3°C. Na situação com as aletas rotacionadas (sombreamento desde o início da manhã) a TO às 8h e às 9h é 28,6°C e 29,1°C no estar e 29,4°C e 30,8°C, ou seja, tendência ascendente, pois não houve maior aquecimento antes das 9h. Nestes mesmos horários a temperatura do ar externo também está ascendente (26,9°C às 8h e 27,7°C às 9h). Às 16h, quando a temperatura do ar externo é 32°C, na situação inicial observa-se 33,3°C de TO no estar e 35,9°C na varanda, enquanto com a maior taxa de ventilação a TO é 31,8°C no estar e 34,7°C na varanda, e com as aletas rotacionadas 31,6°C no estar e 34,5°C na varanda (Figura 154).

Quanto à condição de conforto (Figura 155), observa-se um grande ganho de desempenho, sendo que na situação inicial são apenas 13,5% de horas em conforto no estar e 20,8% na varanda e nas situações seguintes, consecutivamente 56,8%, 72,3%, 76,0%, 84,2% e 86,3% horas de conforto no estar. Em nenhuma das situações, no estar, observa-se horas em desconforto por frio, apenas por calor. Na varanda, por sua vez, há menos horas em conforto do que nas situações respectivas no estar (aproximadamente 24 pontos percentuais a menos de horas em conforto para cada caso); e no ambiente da varanda aparece uma pequena quantidade de horas em desconforto por frio (0,3% nas duas situações com brise, rotacionado ou não, com a maior taxa de ventilação, o que significa 2h no mês de fevereiro em frio).

Portanto, enquanto na orientação norte, no mês de julho, a inserção do brise, sem necessidade de aumento das taxas de renovação parece ser a melhor opção, na orientação leste (em especial no mês de fevereiro), apenas um dos elementos não é suficiente e, para se obter melhores condições de conforto é necessária a conjugação de ambos. Ainda assim é necessário questionar se as taxas de ventilação adotadas aqui para efeito de simulação são adequadas, primeiramente, pela viabilidade de se promover taxas tão altas de maneira constante no ambiente; além disso, se é adequado ao conforto do morador, a existência de taxas de renovação altas, que fatalmente provocarão aumento da velocidade do ar interno.

5.2.2.3 Varanda com vidro aberto e sombreamento

Neste tópico é abordada a utilização conjugada de se abrir o fechamento envidraçado da varanda com a inserção de brise externo. São estudadas as 4 principais orientações solares. Com essa estratégia procura-se evitar o aquecimento e manutenção do calor nas superfícies expostas da varanda (como se verificou nos estudos com o apartamento “Ap Varanda Sombreadora”). A ventilação foi mantida conforme padrão adotado para esta 2ª fase de simulações: 4R/h das 15 às 23h e 0,5R/h das 23 às 15h.

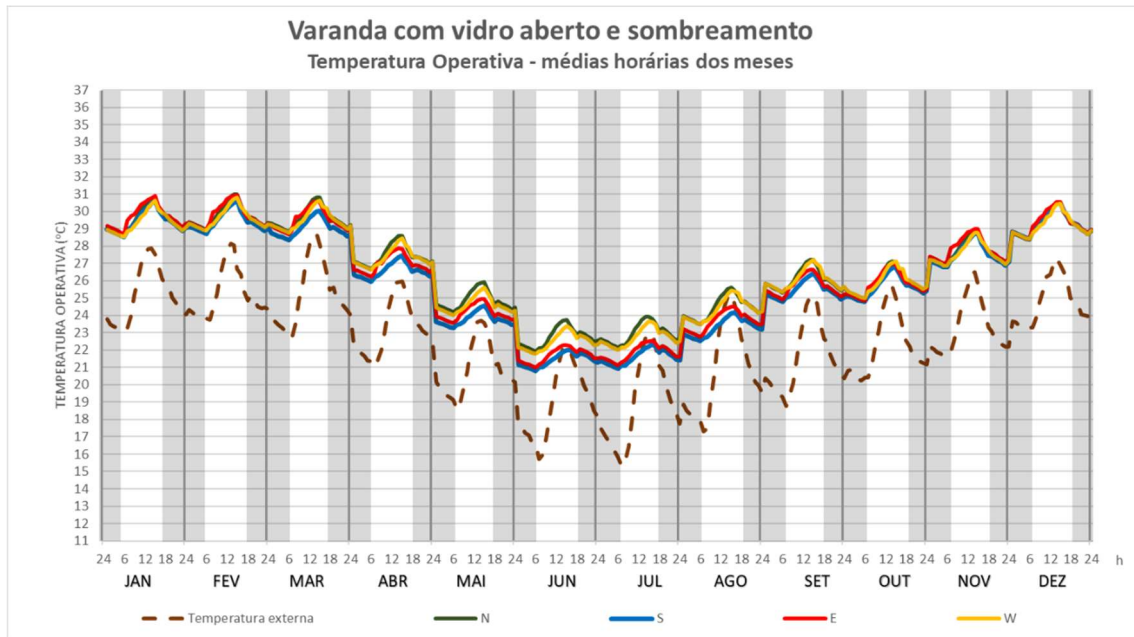


Figura 156. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de médias horárias mensais para estudos de apartamento com a varanda com vidro externo aberto e sombreamento (brise) nas 4 orientações.

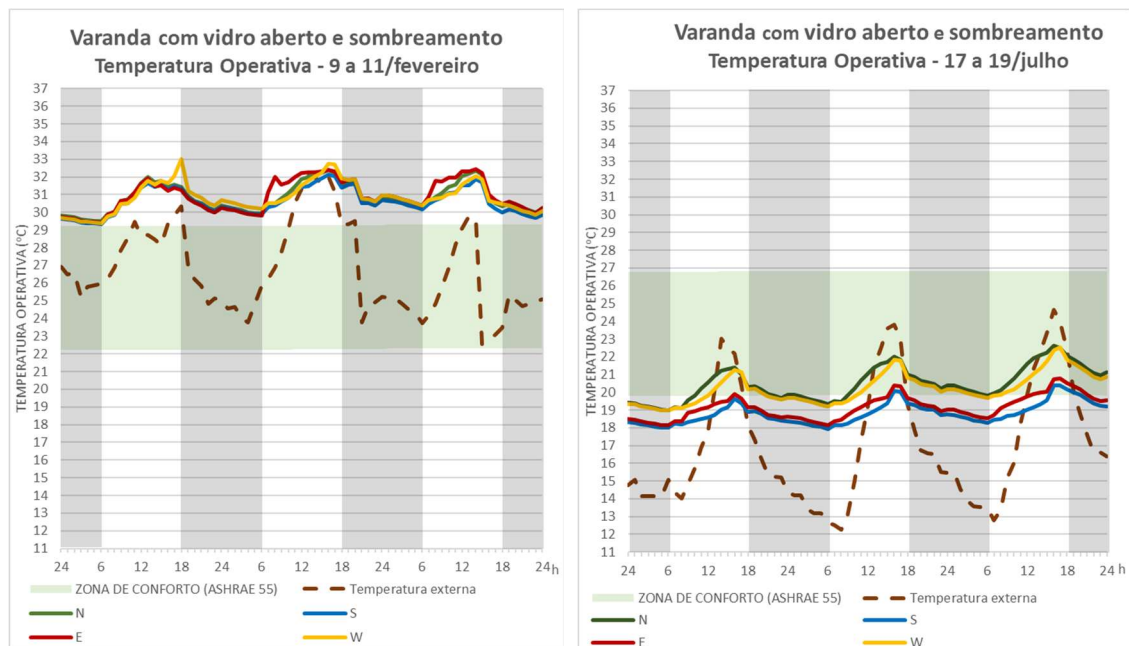


Figura 157 Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de apartamento com a varanda com vidro externo aberto e sombreamento (brise) nas 4 orientações.

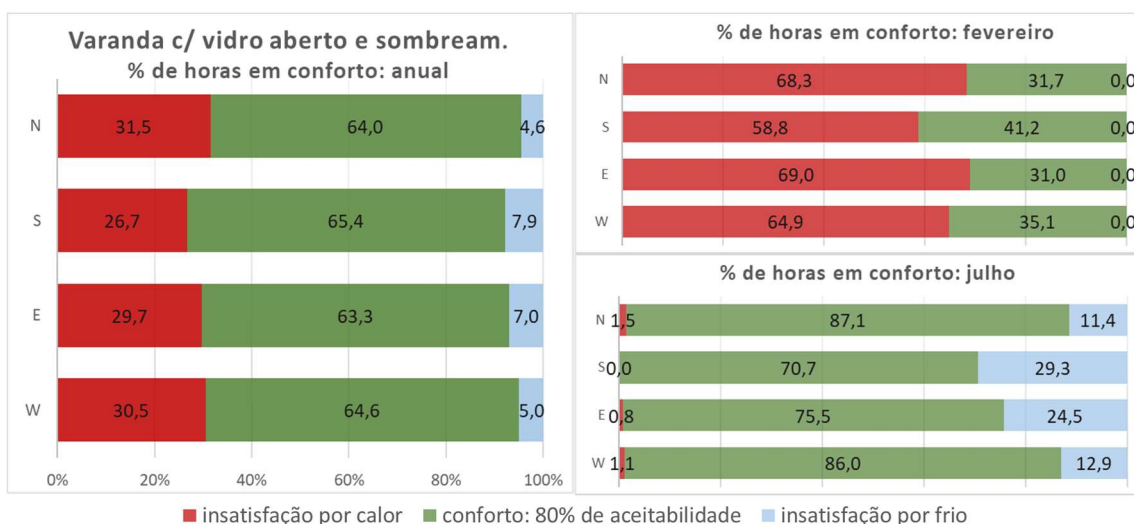


Figura 158. Avaliação dos percentuais de horas anuais e mensais (fevereiro e julho) em conforto de acordo com o modelo adaptativo da norma ASHRAE 55 para estudos de apartamento com a varanda com vidro externo aberto e sombreamento (brise) nas 4 orientações.

Tabela 35. TO média, média das máximas, média das mínimas e média das amplitudes diárias para os meses de fevereiro e julho para estudos de apartamento com a varanda com vidro externo aberto e sombreamento (brise) nas 4 orientações.

		Varanda com vidro aberto e sombreamento			
TO em °C		N	S	E	W
Temperatura média	fev	29,7	29,4	29,8	29,6
	jul	22,9	21,6	21,9	22,7
Média das máximas	fev	31,2	30,8	31,2	31,1
	jul	24,2	22,7	22,9	24,0
Média das mínimas	fev	28,7	28,4	28,6	28,6
	jul	21,8	20,7	20,8	21,7
Média das amplitudes diárias	fev	2,5	2,4	2,6	2,5
	jul	2,4	2,0	2,1	2,3

Inserindo elemento de sombreamento no limite da varanda e sem fechamento envidraçado na mesma (ou fechamento envidraçado considerado totalmente aberto), o efeito que se busca aqui é o de se eliminar a insolação e promover a ventilação, isso tudo aliado à varanda funcionando como um ambiente de transição. O que se observa é um achatamento das curvas de TO e maior semelhança entre os resultados observados em todas as orientações, em especial no mês de fevereiro.

Interessante notar que, enquanto no período do verão as curvas de TO de todas as orientações se aproximam, no período do inverno as curvas das orientações norte e oeste assumem valores mais altos do que a sul e leste (Figura 156).

A orientação sul continua apresentando os menores valores de TO, tanto médias mensais, quanto média das máximas, quanto das mínimas e amplitudes, porém, com menor distanciamento das demais. Em fevereiro, a média mensal da orientação sul foi de 29,4°C, enquanto na orientação leste, que apresentou o maior valor médio, este foi de 29,8°C (diferença de 0,4°C). No mesmo mês de fevereiro, a maior média das máximas ocorreu nas orientações norte e leste e foi novamente 0,4°C acima da encontrada na orientação sul. Quanto à média das mínimas, a maior delas ocorreu na orientação norte e foi 0,3°C acima da sul. Do mesmo modo, a média das amplitudes mensais vai de 2,4°C na orientação sul a 2,6°C, na leste. No mês de julho há maior diferença entre os valores de TO médias observadas: enquanto o menor valor médio mensal foi de 21,6°C (sul), o maior foi de 22,9°C (norte), ou seja, uma diferença de 1,3°C, tendência que é acompanhada pelas médias das máximas e das mínimas, todas com os menores

valores para a orientação sul e os maiores para a orientação norte. Quanto à média das amplitudes diárias, a menor do mês de julho foi de 2,4°C na orientação sul e a maior 2,6°C na orientação leste (Tabela 35).

No dia 10/fev, às 6h, enquanto a temperatura do ar externo é de 25,7°C, a maior TO interna ocorre na orientação oeste (30,2°C), seguida pelas orientações norte e leste (29,9°C) e pela sul (29,8°C). Conforme observado anteriormente, às 9h (temperatura do ar externo 27,7°C), a orientação leste se diferencia das demais pelo maior aquecimento devido à insolação (31,6°C), enquanto as orientações norte, oeste e sul apresentam TO muito próximas (30,8°C, 30,7°C e 30,6°C respectivamente). Às 16h (temperatura do ar externo 32°C), por sua vez, o maior aquecimento é na fachada oeste, também devido à insolação direta (32,7°C), seguida pelas orientações norte, leste e sul (32,4°C, 32,4°C e 32,2°C).

Em julho, no dia 18, às 6h, enquanto a temperatura do ar externo é 12,7°C, a menor TO interna novamente ocorre na orientação sul (17,9°C), e então na fachada leste (18,1°C) e, muito próximas às TO da fachada oeste e da norte (19,2°C e 19,3°C). No período do inverno, o aquecimento na orientação leste pela manhã, devido à insolação, é menos pronunciado e, ainda que possa ser verificada na forma da curva de TO no gráfico da Figura 157, sua TO (18,7°C) está apenas 0,4°C maior que a da orientação sul, enquanto aproximadamente 1°C abaixo da TO das orientações oeste e norte. Às 16h (temperatura do ar externo 23,8°C), do mesmo modo, a insolação na orientação oeste faz com que a curva de TO desta orientação apresente um pico, porém, em termos comparativos, a TO desta orientação ainda fica 0,2°C abaixo da orientação norte e 1,4°C e 1,7°C acima das orientações leste e sul, respectivamente.

Quanto à condição de conforto (Figura 158), ainda se nota predominância do desconforto por calor no mês de fevereiro em todas as orientações. Porém, comparando-se com as outras configurações de varanda/estar, e levando-se em conta que a unidade estudada é a do 14º pavimento, essa possibilidade de operação da varanda, valendo-se de sombreamento sem a presença do envidraçamento da varanda, proporcionou grande ganho comparativo de horas em conforto no mês de fevereiro. A comparação do desempenho obtido com esta configuração, com relação àqueles obtidos nas diversas outras estudadas no início desta 2ª fase de simulações, mostra que é obtido maior percentual de horas em conforto do que em qualquer outra configuração com a presença de varanda e, mesmo comparando-se com o Ap Base (sem varanda, que foi o que proporcionou o maior número de horas em conforto em fevereiro para todas as orientações), há mais horas em conforto na presente operação (varanda com sombreamento e sem fechamento envidraçado) do que no Ap Base nas orientações leste e oeste, que são as mais críticas para o conforto em fevereiro (na orientação leste são 28,1% de horas em conforto no Ap Base e 31,0% na presente proposta; na oeste são 34,7% de horas em conforto no Ap Base e 35,1% na presente proposta). Nas orientações norte e sul o Ap Base apresentou, para o mês de fevereiro, de 4 a 6 pontos percentuais de horas em conforto a mais.

No mês de julho, por sua vez, ainda que em todas as orientações se mantenha mais de 70% (70,7% na orientação sul) das horas em conforto, chegando a 87,1% das horas (na orientação norte), observa-se um grande aumento do desconforto por frio, o que, apesar disso, pode ser facilmente evitado utilizando-se das outras opções de operação já estudadas, reduzindo a ventilação ou utilizando o envidraçamento da varanda em alguns momentos do dia, por exemplo.

5.2.2.4 Operação da varanda para o conforto térmico

Neste tópico são abordados estudos que buscam estratégias que proporcionam maior número de horas em conforto para cada uma das 4 principais orientações solares.

À exceção da orientação sul no mês de julho, o desafio para todos os demais casos é proporcionar resfriamento para redução do desconforto por calor. Os gráficos das Figura 159, Figura 160 e Figura 161 apresentam os resultados para a orientação norte; Figura 162, Figura 163 e Figura 164 para a orientação sul; Figura 165, Figura 166 e Figura 167 para a orientação leste e Figura 168, Figura 169 e Figura 170, para a orientação oeste.

Para o maior conforto, no mês de fevereiro, em todos os casos, adotou-se a varanda aberta com sombreamento externo por meio de brise; a partir dessa configuração variou-se a taxa de ventilação e, em todos os casos, ainda assim, há desconforto por calor e não há desconforto por frio. Em julho esta solução também se mostra adequada, porém, nesse período, a manutenção da varanda com fechamento envidraçado, desde que sombreado (à exceção da orientação sul), mostrou-se também positiva, ainda que a configuração anterior ofereça resposta térmica do ambiente do estar com maior número de horas em conforto que este.

Na orientação norte, em fevereiro, com a varanda sem fechamento envidraçado, mas com brise externo, obteve-se, - com a taxa de renovação de ar de 10R/h das 7h às 23h e ventilação noturna de 2R/h -, 76,8% de horas em conforto no 14º pavimento e 84,1% no 1º pavimento. Para o mês de julho, com esta mesma configuração, adotou-se 4 R/h das 15h às 23h e 2R/h das 23h às 15h e obteve-se 99,7% de horas em conforto e apenas 0,3% de horas em desconforto por calor no 14º pavimento e 93% de horas em conforto com 7% de horas em desconforto por frio no 1º pavimento. Com o fechamento envidraçado da varanda fechado, com brise, adotou-se 6R/h das 15h às 23h e 2R/h nos demais horários e o desempenho resultante foi de 89,1% de horas em conforto, 10,5% de horas em desconforto por frio e 0,4% de horas em desconforto por calor no 14º pavimento e 81,7% de horas em conforto, 18,3% em desconforto por frio e 0 de desconforto por calor no 1º pavimento (Figura 159).

Na orientação sul, no mês de fevereiro, na mesma configuração, com a varanda sombreada por brise e o vidro totalmente aberto, com 6R/h das 7h às 23h e 2R/h de ventilação noturna, obteve-se 76,8% de horas em conforto no 14º pavimento e 79,0% no 1º pavimento. No mês de julho, nesta mesma configuração de abertura do vidro da varanda com sombreamento, mas com a ventilação inicial (4R/h das 15 às 23h e apenas infiltração de 0,5 R/h nos demais horários), no 14º pavimento observou-se 82,8% de horas em conforto e 80,1% no 1º pavimento. Com o fechamento envidraçado na varanda, nessa orientação e reduzindo-se a taxa de renovação de ar para 2R/h das 15 às 23h e 0,5R/h nos demais horários, obtém-se 96,4% de horas em conforto no 14º pavimento e 94,8% no 1º pavimento. No mês de julho, na orientação sul, nos casos estudados não há desconforto por calor, apenas por frio. Observa-se, portanto, que a configuração da varanda integrada com fechamento externo de vidro e sem sombreamento é adequada para a orientação sul no mês de julho, sendo que, reduzindo-se as taxas de ventilação adotadas com relação ao caso original, chegou-se a mais de 90% de horas em conforto (Figura 162).

Para as orientações leste e oeste, para as quais os mesmos parâmetros foram adotados, no mês de fevereiro, com a mesma configuração que considera o vidro da varanda totalmente aberto e sombreamento por brise, adotou-se taxa de renovação de ar igual à da orientação norte, de 10R/h das 7h às 23h e ventilação noturna de 2R/h, e, na orientação leste verificou-se 79,3% de horas em conforto no 14º pavimento e 82,9% no 1º pavimento; na orientação oeste,

obteve-se 82,1% de horas em conforto no 14º pavimento e 82,7% no 1º pavimento. No mês de julho, com o vidro da varanda aberto e brise, adotando-se a taxa de ventilação inicial, de 4R/h das 15 às 23h e apenas infiltração de 0,5 R/h nos demais horários, para a orientação leste, no 14º pavimento há 87,1% de horas em conforto e no 1º pavimento, 85,3%, enquanto que, para a orientação oeste, são 99,9% de horas em conforto no 14º pavimento e 89,5% no 1º pavimento. Com a varanda com fechamento envidraçado somado ao brise externo, adotando-se as mesmas taxas de ventilação inicial, no 14º pavimento chega-se a 94,2% de horas em conforto e no 1º pavimento o percentual é praticamente o mesmo (94,1%) na orientação leste; na orientação oeste são 97,4% de horas em conforto tanto no 14º quanto no 1º pavimentos. Comparando-se os resultados dessas duas orientações (leste e oeste) nota-se que a orientação oeste apresenta percentual em horas em conforto um pouco maior que a leste e, enquanto na leste o desconforto no mês de julho ocorre apenas por frio, na oeste, no 1º pavimento, o desconforto verificado também é exclusivamente por frio, porém, no 14º pavimento, o desconforto (ainda que em pouquíssimo tempo ao longo do mês) é exclusivamente por calor e deriva dos acentuados picos de TO verificados no período da tarde na orientação oeste (Figura 165 e Figura 168).

Em todos os casos buscou-se, no mínimo, 75% de horas em conforto de modo naturalmente ventilado. Maior resfriamento e menor desconforto por calor pode ser obtido com maiores taxas de ventilação.

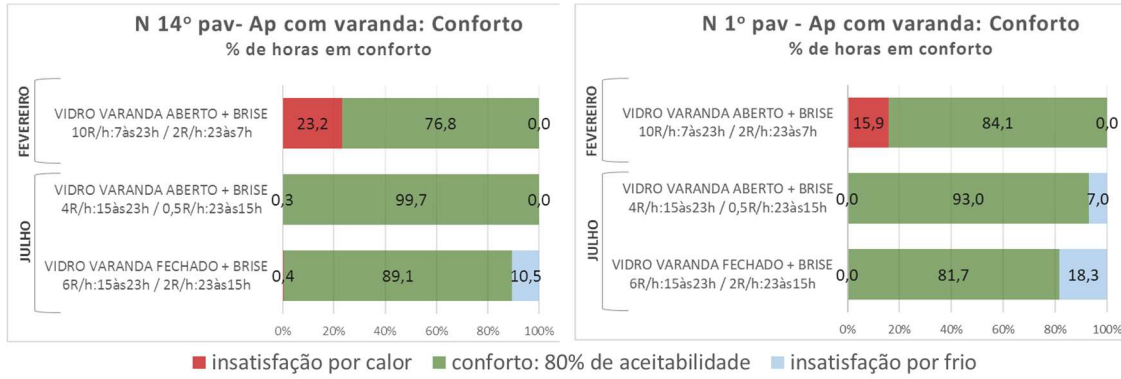


Figura 159. Avaliação dos percentuais de horas mensais (fevereiro e julho) em conforto de acordo com o modelo adaptativo da norma ASHRAE 55 para estudos de obtenção da melhor condição de conforto com operação das varandas e possibilidade de sombreamento com brise externo: orientação norte.

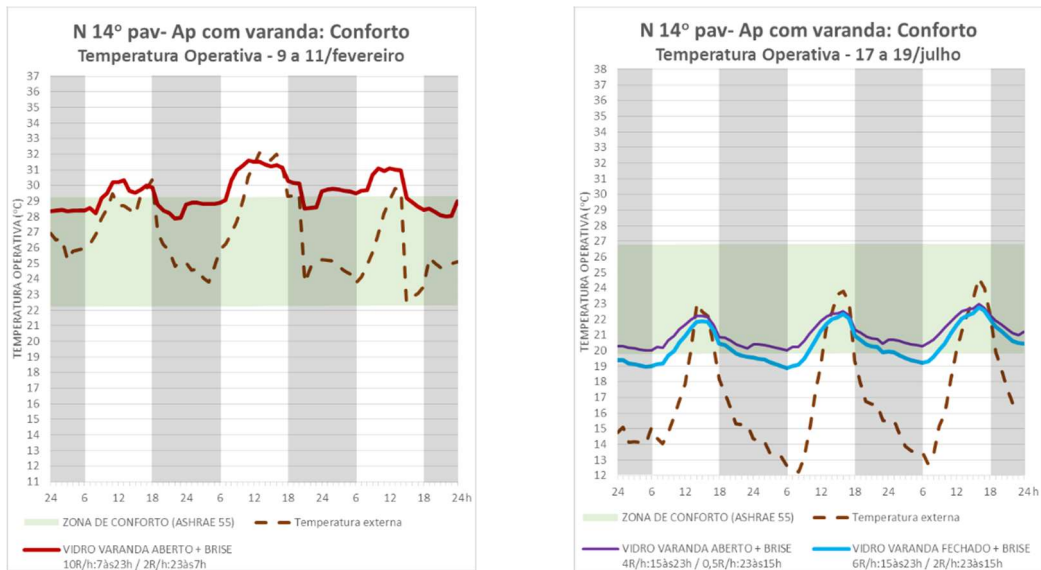


Figura 160. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de obtenção da melhor condição de conforto com operação das varandas e possibilidade de sombreamento com brise externo: orientação norte, 14º pavimento.

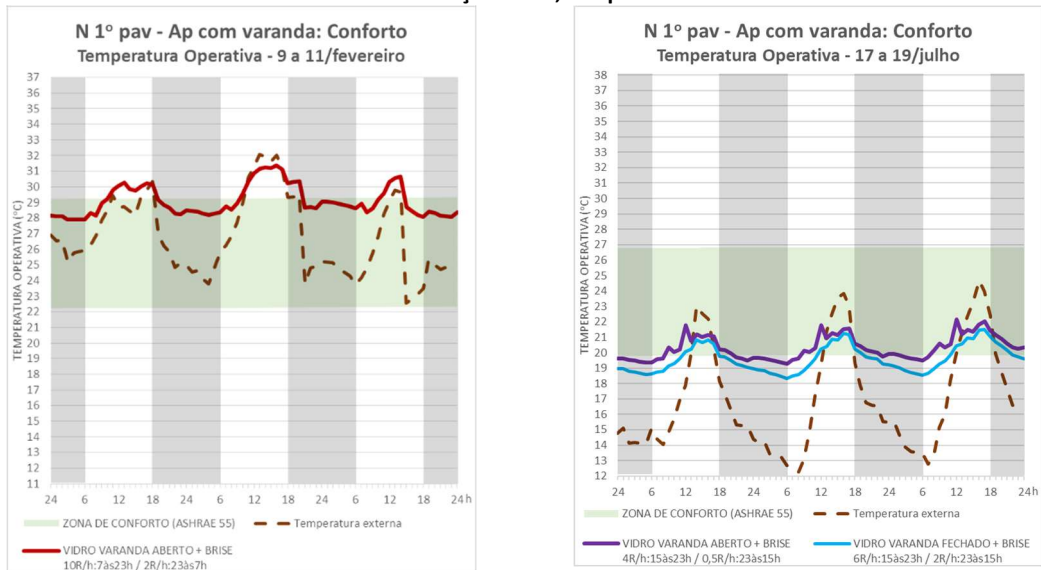


Figura 161. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de obtenção da melhor condição de conforto com operação das varandas e possibilidade de sombreamento com brise externo: orientação norte, 1º pavimento.

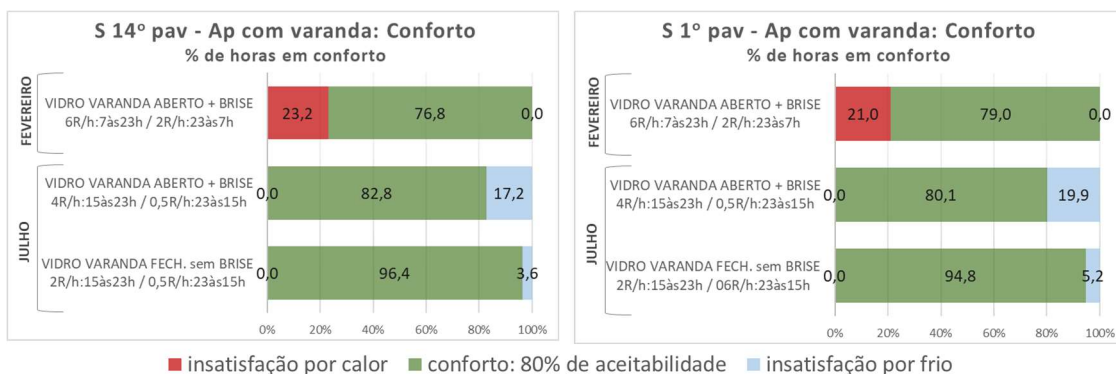


Figura 162. Avaliação dos percentuais de horas mensais (fevereiro e julho) em conforto, de acordo com o modelo adaptativo da norma ASHRAE 55 para estudos de obtenção da melhor condição de conforto, com operação das varandas e possibilidade de sombreamento com brise externo: orientação sul.

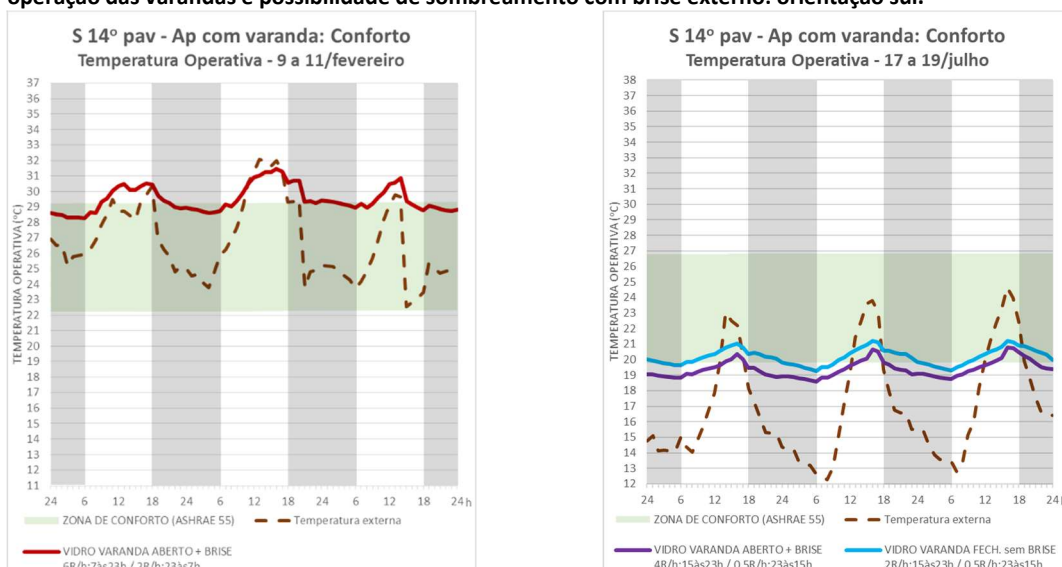


Figura 163. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de obtenção da melhor condição de conforto com operação das varandas e possibilidade de sombreamento com brise externo: orientação sul, 14º pavimento.

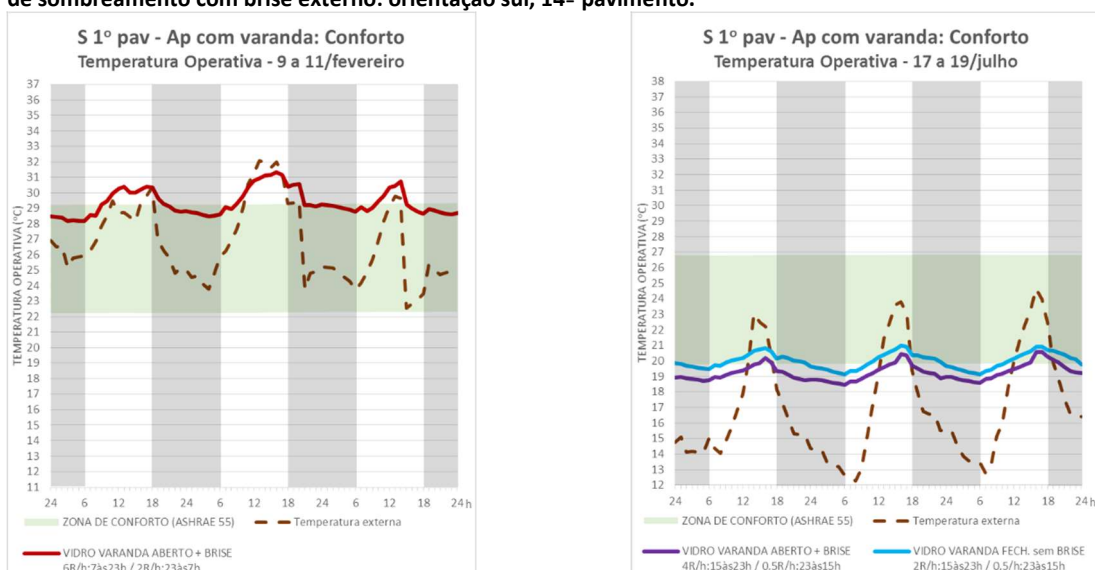


Figura 164. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de obtenção da melhor condição de conforto com operação das varandas e possibilidade de sombreamento com brise externo: orientação sul, 1º pavimento.

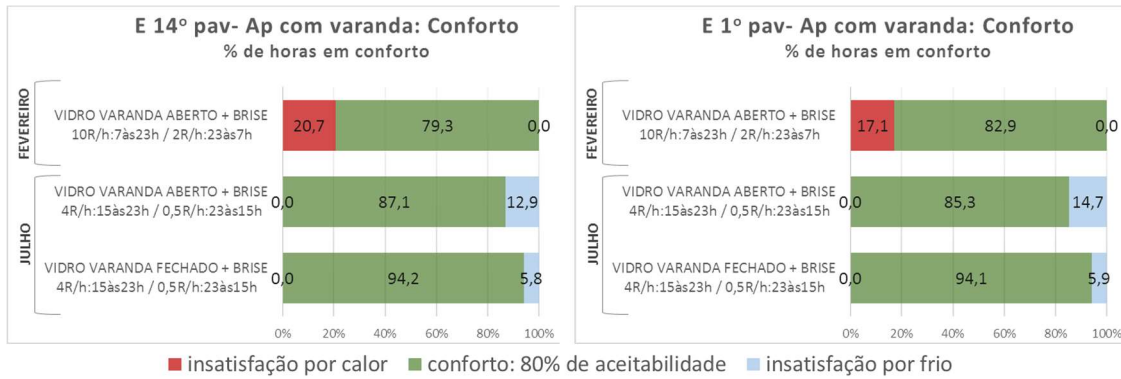


Figura 165. Avaliação dos percentuais de horas mensais (fevereiro e julho) em conforto, de acordo com o modelo adaptativo da norma ASHRAE 55 para estudos de obtenção da melhor condição de conforto, com operação das varandas e possibilidade de sombreamento com brise externo: orientação leste.

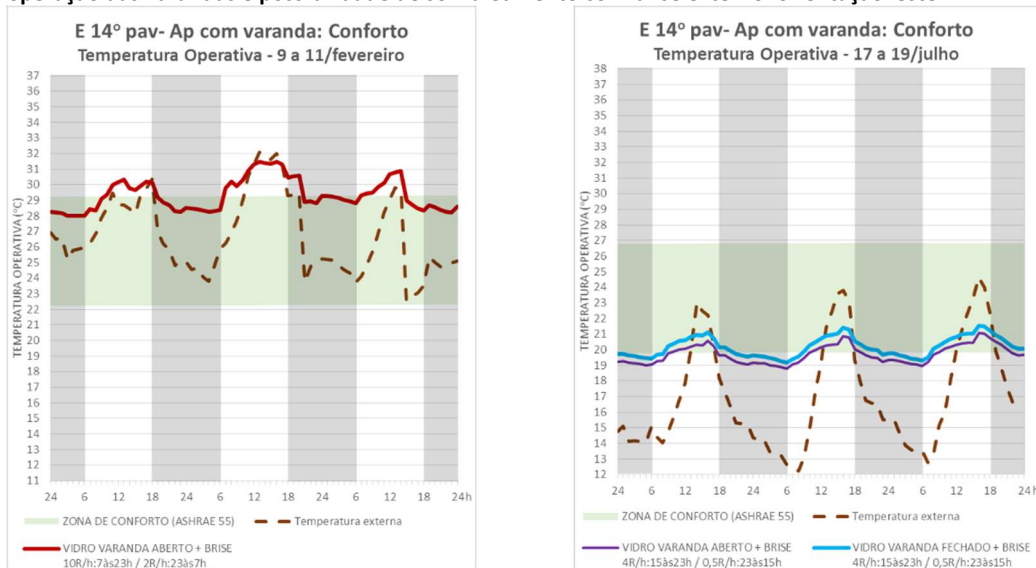


Figura 166. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de obtenção da melhor condição de conforto com operação das varandas e possibilidade de sombreamento com brise externo: orientação leste, 14º pavimento.

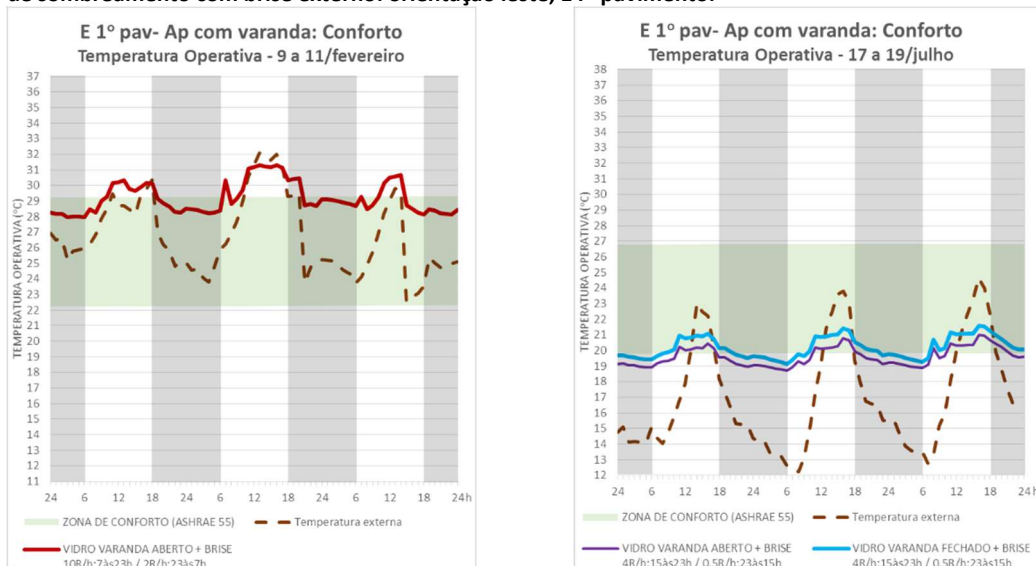


Figura 167. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de obtenção da melhor condição de conforto com operação das varandas e possibilidade de sombreamento com brise externo: orientação leste, 1º pavimento.

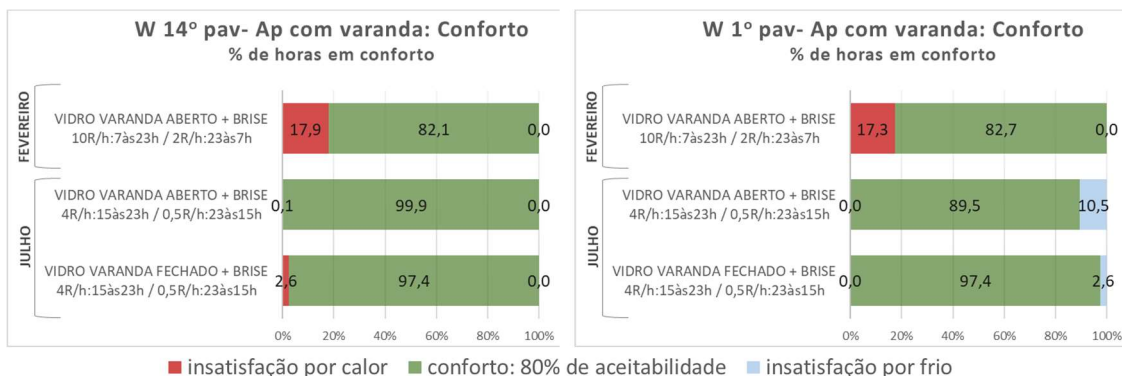


Figura 168. Avaliação dos percentuais de horas mensais (fevereiro e julho) em conforto, de acordo com o modelo adaptativo da norma ASHRAE 55 para estudos de obtenção da melhor condição de conforto, com operação das varandas e possibilidade de sombreamento com brise externo: orientação oeste

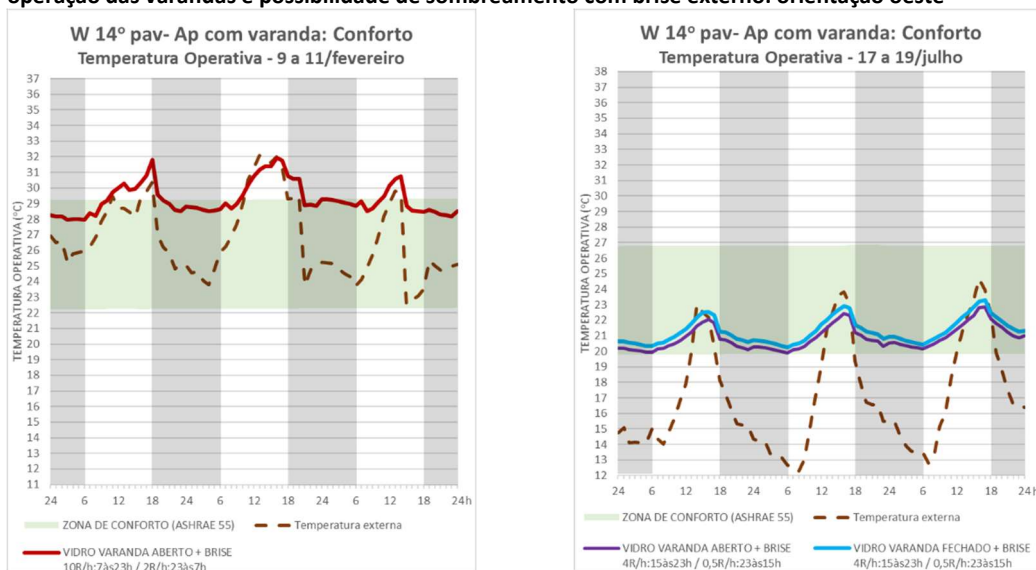


Figura 169. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de obtenção da melhor condição de conforto, com operação das varandas e possibilidade de sombreamento com brise externo: orientação oeste, 14º pavimento.

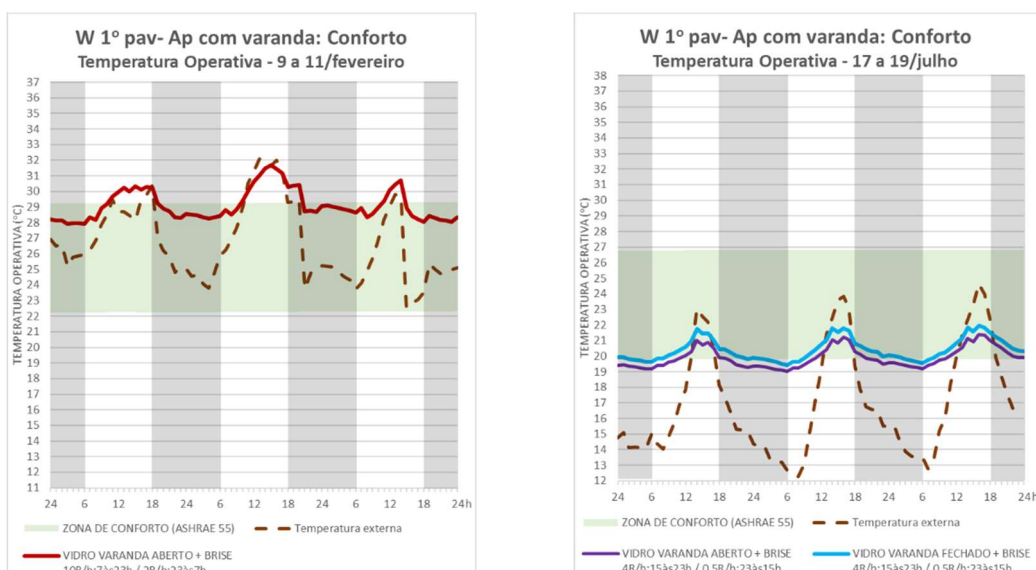


Figura 170. Temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de obtenção da melhor condição de conforto, com operação das varandas e possibilidade de sombreamento com brise externo: orientação oeste, 1º pavimento.

5.3 Planilha síntese das simulações

A síntese dos resultados encontrados com as 1ª e 2ª fases de simulações está exposta nas Tabela 36 e Tabela 37.

Tabela 36. Tabela síntese da 1ª fase de simulações.

1ª Fase de Simulações				
Fatores intrínsecos ao edifício - Fatores construtivos				
Ap Base	Orientação solar	N Øbrise	Diferença de desempenho marcado pela trajetória solar relativa ao longo do ano. Norte: orientação mais aquecida durante o inverno. Sul: menos aquecida dentre todas as orientações. Leste: TO médias mais altas no verão; aquece pela manhã, antes das demais, e a tendência de aquecimento é mantida até o período da tarde. Oeste: Segundo lugar em TO médias mais altas; pico de TO no período da tarde	Maior TO média mensal: fev: 25,9°C (E) jul: 19,4°C (N) Menor TO média mensal: fev: 24,9°C (S) jul: 16,6°C (S)
		S Øbrise		
		E Øbrise		
		W Øbrise		
	Orientação N + brise	N brise assimétrico	Redução das TO médias e amplitudes diárias. Efeito mais significativo em fevereiro: leste e oeste; Efeito mais significativo em julho: norte (ainda que o brise tenha sido desenhado sem sombreamento total nesse mês). Na orientação sul o efeito foi insignificante.	A maior redução de TO média (com relação à mesma orientação sem brise): fev: 0,4°C (brise maior/E) jul: 0,6°C (brise assimétrico/N) Maior redução de amplitudes diárias média mensal: fev: 0,3°C (brise maior/W) jul: 0,5°C (brise assimétrico/N)
		N brise horizontal		
	Orientação S + brise	S brise sombr. total		
		Orientação E + brise		
	E brise maior			
	Orientação W + brise	W brise menor		
W brise maior				
Espessura paredes	12cm	O aumento da massa térmica promove redução das amplitudes diárias de TO aumento das TO médias ao longo de todo o ano. As reduções de amplitudes diárias ocorrem mais por aumento das médias das mínimas que por redução das médias das máximas.	O aumento de TO média entre a espessura de 12cm e de 30cm é de 0,3°C, tanto para fevereiro quanto julho. A redução de amplitude é de 0,3°C em fevereiro e 0,4°C em julho.	
	16cm			
	25cm			
	30cm			
WWR	10%	O aumento do WWR tem como consequência o aumento das TO internas (médias, máximas e mínimas, sendo que o aumento das máximas é maior que das mínimas) e das amplitudes diárias	Aumento de TO média de 10% para 50%: fev: 1,7°C jul: 2,7°C Aumento de amplitude de 10% para 50%: fev: 1,7°C jul: 2,6°C	
	20%			
	30%			
	50%			
Inserção de varanda	Estar	ESTAR - Varanda pequena	Varanda sem fechamento envidraçado: maior efeito de redução das TO médias, máximas e mínimas, além das amplitudes no inverno. Maiores reduções pela varanda maior.	Ap Varanda Pequena (média mensal): fevereiro: +1,0°C que o Ap Base/ e: -0,1°C que o Ap com WWR 50% julho: +1,5°C que o Ap Base e -0,4°C que o Ap WWR 50% Ap Varanda Grande: fevereiro: +1,0°C que o Ap Base/ e: -0,1°C que o Ap com WWR 50% julho: -0,7°C que o Ap Base e -2,6°C que o Ap WWR 50%.
		ESTAR - Varanda grande		
	Estar	ESTAR - Varanda gde envidraçada com porta estar/varanda	Aumento das TO médias especialmente no inverno. Quando estar e varanda estão integrados, os efeitos no estar são mais acentuados. Quando a porta entre estar e varanda é fechada, as condições no estar se amenizam (menor aumento de TO e redução das amplitudes), porém, as condições na varanda são mais críticas.	TO e amplitudes do Ap Varanda Integrada maior que a do Ap Base fev: +1,3°C média mensal e +1,3°C média amplitudes. jul: +2,7°C média mensal e +2,0°C média amplitudes.
		ESTAR - Varanda gde envidr integrada (WWR=100%)		
	Varanda	VARANDA - gde envidraçada com porta estar/varanda	Em comparação com o estar das simulações correspondentes: TO médias 2 a 3 vezes maiores que no estar, com aumento das máximas e redução das mínimas e consequente aumento das amplitudes diárias.	no Ap com a Varanda Integrada: TO e amplitudes na varanda com relação ao estar: fev: +1,1°C média mensal e +7,2°C média amplitudes; jul: +1,6°C média mensal e 9,1°C média amplitudes.
		VARANDA - gde envidr integrada (WWR=100%)		
Fatores intrínsecos ao edifício - Uso e Ocupação				

Ap Base	Inclusão de carga térmica	Ap. base com carga térmica	Aumento das TO médias, máximas e mínimas. No Ap Base o aumento em valor absoluto é maior que no Ap com Varanda Envidraçada	Aumento da TO média mensal com relação à situação sem carga: fev: +1,3°C no Ap Base e +0,8°C no Ap Varanda Envidraçada jul: +1,1°C no Ap Base e +0,6°C no Ap Varanda Envidraçada
Ap. Varan. Envidr. Integr.		Ap. com varanda envidraçada integrada com carga térmica		
Ap Base (com carga)	Renovação de ar	2R/h	O aumento das taxas de renovação de ar, tanto em renovações por hora quanto em quantidade de tempo com taxas de renovação maiores são responsáveis pela redução nas TO média, máxima e mínima, assim como aumento das amplitudes de TO.	Aumento da TO média mensal e redução da amplitude de TO entre o Ap Base com 2R/h 24h/dia e 2R/h das 15 às 21h: fev: +1,2°C de média mensal e -0,4°C de amplitude jul: +1,7°C de média mensal e -0,5°C de amplitude
		2R/h: 7hàs23h		Redução da TO média mensal e aumento da amplitude de TO entre o Ap Base com 2R/h 24h/dia e 10R/h 24h/dia: fev: -2,0°C de média mensal e +1,3°C de amplitude jul: -2,4°C de média mensal e +1,5°C de amplitude
		2R/h: 15hàs21h		
		10R/h: 24h/dia		Aumento da TO média mensal e redução da amplitude de TO entre o Ap Base com 10R/h 24h/dia e 10R/h das 15 às 21h: fev: +2,2°C de média mensal e -1,1°C de amplitude jul: +2,9°C de média mensal e -1,3°C de amplitude
		10R/h: 7hàs23h		
		10R/h: 15hàs21h		
	10R/h: 15hàs21h			
	Ventilação natural	Abre 50% do vão das 8 às 20h	Aberturas fixas provocam ou resfriamento ou aquecimento demais. A operação em função da Temperatura interna é mais favorável e uma pequena abertura no período noturno auxilia na manutenção de TO não muito elevada ao longo de todo o dia, o que é favorável no verão, mas não no inverno. É positivo o fechamento das aberturas quando a temperatura do ar externo se torna muito alta, no verão.	TO média mensal: vão de abertura 10% com relação a vão de 50% no período diurno: fev: +1,0°C / jul: +1,0°C
		Abre 10% do vão das 8 às 20h		Comparando a operação "Abertura em função da Tint - 24h/dia" com "Abertura em função da Tint - diurno": fev: +1,6°C (TO média) -0,8°C(AMPL) jul: +0,5°C (TO média) -0,1°C(AMPL)
		Abre em função da Tint - 24h/dia		
Abre em função da Tint - diurno		Comparando a operação "Abertura em função da Tint - 24h/dia" com "Abertura em função da Tint - diurno + Ventilação noturna": fev: +1,0°C (TO média) e -0,6°C (amplitude) jul: -0,3°C (TO média) +0,3°C(amplitude)		
Abre em função da Tint - diurno + Ventilação noturna				
Abre em func.da Tint - diurno com fech.qd TextTint + Vent. noturna				
Fatores externos ao edifício				
Ap Base	Mudanças climáticas e ilha de calor urbana	SWERA		A inclusão do efeito da ICU nos arquivos climáticos significou um aumento de 0,7°C nas TO médias, com redução das amplitudes diárias, na média de 0,2°C. Aumentos de TO médias: Swera - Futuro próximo: +0,9°C Futuro próximo - Futuro intermediário: +0,9°C Futuro intermediário - Futuro distante: +0,9°C
		SWERA + ICU		
		Futuro próximo		
		Futuro próximo + ICU		
		Futuro Intermediário		
		Futuro Intermediário + ICU		
		Futuro Distante		
Futuro Distante + ICU				
Ap Base	N	FVC 1	O sombreamento do entorno provoca redução na TO tanto maior quanto a insolação tenha maior incidência, portanto, na orientação norte no período do inverno e nas orientações leste e oeste, ao longo de todo o ano. O sombreamento ocasionado pelo entorno e a redução que proporciona na TO são maiores à medida em que o pavimento em que a unidade estudada se localiza se torna mais baixo.	N - diferença de TO média entre o 1º pav com sombreamento e a unidade sem sombreamento: fev: -0,1°C jul: -2,1°C
		FVC 0,3/Ap 14º pav		S - diferença de TO média entre o 1º pav com sombreamento e a unidade sem sombreamento: fev: 0°C jul: 0°C
		FVC 0,3/Ap 8º pav		
		FVC 0,3/Ap 1º pav		
	S	FVC 1		E - diferença de TO média entre o 1º pav com sombreamento e a unidade sem sombreamento: fev: -0,8°C jul: -0,6°C
		FVC 0,3/Ap 14º pav		
		FVC 0,3/Ap 8º pav		
		FVC 0,3/Ap 1º pav		
	E	FVC 1		N - diferença de TO média entre o 1º pav com sombreamento e a unidade sem sombreamento: fev: -0,5°C jul: -0,7°C
		FVC 0,3/Ap 14º pav		
		FVC 0,3/Ap 8º pav		
		FVC 0,3/Ap 1º pav		
	W	FVC 1		
		FVC 0,3/Ap 14º pav		
		FVC 0,3/Ap 8º pav		
		FVC 0,3/Ap 1º pav		

Tabela 37. Tabela síntese da 2ª fase de simulações.

2ª Fase de Simulações			
As configurações de estar / varanda nas diversas orientações			
Ap Base, Ap Varanda Sombreadora e Ap Varanda Envidraçada: Integrada e Porta Estar/Varanda Fechada	N	ApBase/14ºpav	<p>Maior % de horas em conforto: fev: ApBase/1ºpav (45,2%) jul: ApVarPortaFech/1ºpav (88,8%), ApBase/14ºpav (87,9%) e ApVarEnvidrIntegr/1ºpav (87,1%)</p> <p>Menor % de horas em conforto: fev: ApVarPortaFech/14ºpav (12,9%) jul: ApVarEnvidrIntegr/14ºpav (64,4%)</p> <p>Maior % de horas em desconforto por frio: fev: Ø jul: ApBase/1ºpav (18,7%), ApVarSombr/1ºpav (18,4%)</p>
		ApBase/1ºpav	
		ApVarSombr/14ºpav	
		ApVarSombr/1ºpav	
		ApVarEnvidrIntegr/14ºpav	
		ApVarEnvidrIntegr/1ºpav	
	S	ApBase/14ºpav	<p>Maior % de horas em desconforto por calor: fev: ApVarPortaFech/14ºpav (82,6%), ApVarEnvidrIntegr/14ºpav (82,3%) jul: ApVarSombr/14ºpav (3,6%)</p> <p>Menor % de horas em desconforto por frio: fev: Ø jul: ApBase/1ºpav (29,4%)</p>
		ApBase/1ºpav	
		ApVarSombr/14ºpav	
		ApVarSombr/1ºpav	
		ApVarEnvidrIntegr/14ºpav	
		ApVarEnvidrIntegr/1ºpav	
	E	ApBase/14ºpav	<p>Maior % de horas em desconforto por calor: fev: ApVarEnvidrIntegr/14ºpav (91,5%), ApVarPortaFech/14ºpav (91,4%) jul: ApVarSombr/14ºpav (4,7%)</p> <p>Menor % de horas em desconforto por frio: fev: Ø jul: ApBase/1ºpav (26,5%)</p>
		ApBase/1ºpav	
		ApVarSombr/14ºpav	
		ApVarSombr/1ºpav	
		ApVarEnvidrIntegr/14ºpav	
		ApVarEnvidrIntegr/1ºpav	
	W	ApBase/14ºpav	<p>Maior % de horas em desconforto por calor: fev: ApVarPortaFech/14ºpav (90,0%), ApVarEnvidrIntegr/14ºpav (89,6%) jul: ApVarEnvidrIntegr/14ºpav (10,5%), ApVarPortaFech/14ºpav (9,9%)</p> <p>Menor % de horas em desconforto por frio: fev: Ø jul: ApBase/1ºpav (22,0%)</p>
		ApBase/1ºpav	
		ApVarSombr/14ºpav	
		ApVarSombr/1ºpav	
		ApVarEnvidrIntegr/14ºpav	
		ApVarEnvidrIntegr/1ºpav	
Casos críticos: sombreamento e taxa de ventilação			
Ap com Varanda Envidraç. Integrada	N jul	ESTAR	<p>A inserção do brise melhora o desempenho do ambiente, sendo que no estar chega a aproximadamente 90% de horas em conforto e na varanda a 74%. Grande redução do desconforto por calor e aumento do desconforto por frio. A rotação das aletas ocasiona pequena alteração no desempenho no estar, mas na varanda aumentou em aproximadamente 23% as horas em conforto.</p>
		ApVarEnvidrIntegr/14ºpav (Ø brise)	
		ESTAR - Brise: horiz. e vert. ($\alpha = \beta = 45^\circ$)	
		ESTAR - Brise: horiz. incl. e vert. ($\alpha = 24^\circ / \beta = 45^\circ$)	
		VARANDA - Ø brise	
		VARANDA - Brise: horiz. e vert. ($\alpha = \beta = 45^\circ$)	
	E fev	ESTAR - ApVarEnvidrIntegr/14ºpav (Ø brise)	<p>Na orientação leste, no mês de fevereiro, quando o desconforto por calor é crítico (91,5% das horas do mês), ainda que a inserção do brise, colabore para o desempenho térmico, permanece a grande predominância de horas em desconforto por calor: redução de apenas 5 pontos percentuais o número de horas em desconforto por frio no estar (e aumentou em mesma porcentagem as horas em conforto) e aproximadamente 9 pontos percentuais na varanda. A rotação das aletas reforçou a redução das horas em desconforto em 1,4 pontos percentuais no estar e 3,3 pontos percentuais na varanda.</p>
		ESTAR - Brise: horiz. e vert. ($\alpha = \beta = 36^\circ$)	
		ESTAR - Brise: horiz. incl. e vert. ($\alpha = 5^\circ / \beta = 36^\circ$)	
		VARANDA	
		ApVarEnvidrIntegr/14ºpav (Ø brise)	
		VARANDA - Brise: horiz. e vert. ($\alpha = \beta = 36^\circ$)	
Ap com Varanda Envidraç. Integrada	N jul	ESTAR - ApVarEnvidrIntegr/14ºpav (4R/h:15às23h e 0,5R/h:23às15h)	<p>A imposição de maiores taxas de renovação de ar provoca o aumento das horas na condição de conforto, porém, estratégia se mostrou menos eficiente que o emprego de brises. Há aumento do desconforto por frio. Entre a menor e a maior taxa de renovação testadas, há aumento de aproximadamente 11,6 pontos percentuais de horas em conforto no estar e 3,7 pontos percentuais na varanda e aumento do frio de aproximadamente 9 pontos percentuais em ambos os ambientes.</p>
		ESTAR - 6R/h:15às23h e 0,5R/h:23às15h	
		ESTAR - 6R/h:15às23h e 2R/h:23às15h	
		ESTAR - 10R/h:15às23h e 2R/h:23às15h	
		VARANDA - ApVarEnvidrIntegr/14ºpav (4R/h:15às23h e 0,5R/h:23às15h)	
		VARANDA - 10R/h:15às23h e 2R/h:23às15h	
	E fev	ESTAR - ApVarEnvidrIntegr/14ºpav (4R/h:15às23h e 0,5R/h:23às15h)	<p>Foram adotadas altas taxas de ventilação e com isso se obteve grande melhora de desempenho: Enquanto na situação inicial eram apenas 13,5% de horas em conforto, na situação com a maior taxa de renovação de ar chegou-se a 86,3% de horas em conforto em fevereiro. Na varanda foi de 20,8% para 62,9%.</p>
		ESTAR - 10R/h:15às23h e 2R/h:23às15h	
		ESTAR - 10R/h:7às23h e 2R/h:23às7h	
		ESTAR - 20R/h:7às23h e 4R/h:23às7h	
		ESTAR br inclin - 20R/h:7às23h e 4R/h:23às7h	
		VARANDA - ApVarEnvidrIntegr/14ºpav (4R/h:15às23h e 0,5R/h:23às15h)	
VARANDA - 20R/h:7às23h e 4R/h:23às7h			
VARANDA br incl - 20R/h:7às23h e 4R/h:23às7h			

Ap com varanda	Varanda com vidro aberto e sombrear.	N	Ainda permanece predominância de horas em desconforto por calor, porém, trata-se do melhor desempenho observado para todas as orientações no mês de fevereiro com a presença da varanda (sem a parede de vedação externa, que conferia maior massa térmica ao ambiente): Sem alteração de taxa de ventilação, em todos os casos se obteve mais de 30% de horas em conforto, mesmo com a existência da varanda e sem a parede de vedação externa. Nas orientações leste e oeste o desempenho deste caso é superior (mais horas em conforto) que o do Ap Base/14ºpav; nas orientações norte e sul o desempenho é um pouco abaixo do Ap Base.
		S	
		E	
		W	
Conforto fev	14º 1º	VIDRO VARANDA ABERTO + BRISE 10R/h:7às23h/2R/h:23às7h	<p>Foi possível obter mais de 75% de horas em conforto com a inclusão da varanda em todas as orientações, desde que haja a incorporação de elementos sombreadores (brises).</p> <p>No período mais quente é necessário que, além do elemento sombreador, o fechamento de vidro da varanda seja aberto e que as taxas de ventilação sejam aumentadas.</p> <p>Na maioria dos casos (exceção feita à orientação sul), mesmo no período mais frio, a inclusão do sombreamento com recolhimento do fechamento envidraçado da varanda é positivo para o conforto térmico. E desde que o elemento sombreador esteja presente é possível que o envidraçamento seja mantido para ainda assim manter a maior parte das horas em conforto.</p> <p>A orientação sul é a única em que, no período mais frio, o fechamento envidraçado da varanda sem sombreamento resulta em bom desempenho térmico no estar.</p>
Conforto jul	14º 1º	VIDRO VARANDA ABERTO + BRISE 4R/h:15às23h,5R/h:23às15h	
	14º 1º	VIDRO VARANDA FECH. + BRISE 6R/h:15às23h/2R/h:23às15h	
Conforto fev	14º 1º	VIDRO VARANDA ABERTO + BRISE 6R/h:7às23h / 2R/h:23às7h	
	14º 1º	VIDRO VARANDA ABERTO + BRISE 4R/h:15às23h / 0,5R/h:23às15h	
Conforto jul	14º 1º	VIDRO VARANDA FECH. Ø BRISE 2R/h:15às23h / 0,5R/h:23às15h	
	14º 1º	VIDRO VARANDA ABERTO + BRISE 10R/h:7às23h / 2R/h:23às7h	
Conforto fev	14º 1º	VIDRO VARANDA ABERTO + BRISE 10R/h:7às23h / 2R/h:23às7h	
	14º 1º	VIDRO VARANDA ABERTO + BRISE 4R/h:15às23h / 0,5R/h:23às15h	
Conforto jul	14º 1º	VIDRO VARANDA FECH. + BRISE 4R/h:15às23h/0,5R/h:23às15h	
	14º 1º	VIDRO VARANDA ABERTO + BRISE 10R/h:7às23h/2R/h:23às7h	
Conforto fev	14º 1º	VIDRO VARANDA ABERTO + BRISE 10R/h:7às23h/2R/h:23às7h	
	14º 1º	VIDRO VARANDA ABERTO + BRISE 4R/h:15às23h/0,5R/h:23às15h	
Conforto jul	14º 1º	VIDRO VARANDA FECH. + BRISE 4R/h:15às23h/0,5R/h:23às15h	
	14º 1º	VIDRO VARANDA ABERTO + BRISE 4R/h:15às23h/0,5R/h:23às15h	

5.4 Considerações sobre a 1ª fase de simulações

Da 1ª fase de simulações, é importante salientar que a maioria delas foi realizada utilizando o arquivo climático SWERA e que os resultados traduzem uma aproximação correspondente ao clima nele representado (período de 1984). Para uma boa leitura dos resultados é relevante frisar que a maior parte das simulações foi realizada com o Estar (ambiente analisado) voltado para a orientação norte e visa compreender o efeito de diversos fatores no desempenho da unidade habitacional. Esta orientação, como foi visto logo no início dos estudos, tem características próprias que são incorporadas a todos os resultados, a exemplo da maior amplitude térmica no inverno do que no verão.

Quanto às orientações solares, há que se considerar aspectos dos diferentes comportamentos ao longo do dia e do ano, que são reflexos diretos da insolação incidente. A orientação norte, no verão, apresenta TO mais amenas que as das orientações leste e oeste e no inverno é, entre todas as orientações, a que apresenta TO médias mais elevadas. A orientação leste se aquece mais cedo, logo pela manhã, e se mantém aquecida no período da tarde. A orientação oeste, por sua vez, passa a manhã com baixas TO e tem um pico de aquecimento no

período da tarde. A orientação sul é a que menos recebe incidência solar direta ao longo de todo o ano e, por isso a que apresenta menor TO média anual.

A inserção dos brises procura promover o sombreamento de determinada abertura em períodos desejáveis pré-determinados e demonstrou seu potencial para a redução da TO interna. Há que se apontar, porém, que, ainda que projetado de modo a não bloquear a incidência de radiação solar direta em determinados períodos (por exemplo no inverno, conforme recomendação do Zoneamento Bioclimático Brasileiro), esse dispositivo acaba por afetar a TO, reduzindo-a também nesse período, o que pode ocorrer ou por bloqueio parcial da incidência solar direta, ou por redução de parcela da radiação solar indireta incidente. Deste modo, considera-se interessante que sejam propostos dispositivos móveis, para que possam ser operados conforme a demanda térmica do ambiente e dos usuários.

O aumento da massa térmica com aumento da espessura das paredes tem como principal consequência para o desempenho do edifício a redução das amplitudes de TO. Essa maior estabilidade da TO interna tem um efeito que tende a ser positivo para o conforto térmico, dado que as maiores parcelas de desconforto por calor ou por frio ocorrem quando a TO alcança seus extremos. Observa-se também uma pequena elevação da TO média decorrente do aumento da massa das paredes (da ordem de até 0,3°C entre a menor e a maior espessura estudadas). O efeito deste parâmetro é constante ao longo de todo o ano, ou seja, não sofre a sazonalidade das variações anuais relacionadas principalmente à geometria da insolação. Dentre todos os parâmetros construtivos estudados esse é o que tem menor magnitude (ordem de grandeza de menos de 0,5°C de variação de TO entre a menor e a maior espessura), e seu efeito é positivo para o conforto em todas as épocas do ano.

A alteração da área envidraçada de um ambiente com relação à área total da sua vedação (WWR) tem como resultado prático a maior ou menor captação de radiação solar através da superfície translúcida, no caso, o vidro. Como se sabe, esse tipo de superfície, além de permitir maior penetração da radiação, também possui menor inércia térmica (até por uma questão de espessura) do que as superfícies opacas (nesse caso, alvenaria de blocos de concreto com revestimento de argamassa clara), o que faz com que seja mais fácil também perder calor. O resultado visualizado é, portanto, o do aumento dos valores médias de TO média, média das máximas e média das mínimas, sendo o aumento da média das máximas maior que o aumento das mínimas. Destaca-se o aumento das amplitudes diárias de TO conforme se aumenta o WWR: entre o menor WWR estudado (10%) e o maior (50%) a média das amplitudes diárias é aproximadamente o dobro, tanto no mês de fevereiro quanto de julho. Dentre os aspectos construtivos estudados, esse foi o que resultou em alterações mais significativas de desempenho no ambiente.

A inserção da varanda no Apartamento Base com uma porta de vidro entre o estar e a varanda (WWR 50%) pode ter algumas implicações distintas: a varanda pode ser um ambiente de transição entre o ambiente interno e o externo ou ser incorporada ao ambiente interno, ao receber um fechamento de vidro.

No caso da varanda sem fechamento envidraçado, ela pode funcionar como um elemento sombreador (varanda grande e varanda pequena, ambas sem fechamento de vidro) (Figura 92). A configuração dessas varandas neste trabalho possui 5 das 6 faces fechadas e uma aberta para o exterior, de modo que a porta envidraçada fica abrigada. O maior efeito de redução das TO médias, máximas e mínimas, além das amplitudes, é observado no inverno e é mais acentuado para a varanda maior, quando o sombreamento na orientação norte é mais efetivo. No verão, a redução da TO média é insignificante em ambas as dimensões de varanda;

no caso da varanda pequena há redução das amplitudes térmicas principalmente por redução das TO máximas, enquanto a varanda grande proporciona aumento das amplitudes, principalmente por aumento das TO máximas. Nesses casos (sem fechamento externo) a varanda funciona como um ambiente de transição entre interno e externo, com características térmicas próprias. O envidraçamento externo da varanda atua como uma grande vedação que atribui ao ambiente um WWR de 100% (Figura 92). Aumenta, assim, a captação de calor para o interior do ambiente e facilita as perdas de calor. No caso em que a varanda é integrada ao estar, especialmente no inverno quando os ângulos solares são menores, há aumento das TO médias do estar de aproximadamente 1°C, com aumento das máximas e das mínimas. No ambiente da varanda o aumento de TO médias (2 a 3 vezes maiores do que no estar, com aumento das máximas e redução das mínimas) e de suas amplitudes diárias, que são muito maiores que no estar (9 a 10 vezes maior). Em um primeiro momento, a maior captação de calor pode ser benéfica no inverno e se tanto o fechamento envidraçado quando a porta existente entre os ambientes do estar e da varanda forem mantidos operáveis, pode-se obter maiores possibilidades de operação para o usuário, por exemplo, mantendo-se ambas as caixilharias fechadas e o ambiente da varanda funcionando como uma câmara com potencial de camada semi-isolante entre o estar e o ambiente externo ou abrindo totalmente o fechamento envidraçado, tornando-se, desse modo, uma varanda como aquela sem o fechamento envidraçado. Por fim com a manutenção da porta do estar/varanda aberta e também o fechamento envidraçado aberto, é possível aumentar a superfície de abertura e, conseqüentemente, a ventilação. O que ocorre em alguns casos é a supressão da porta entre estar e varanda e o fechamento externo de vidro passa a ser a única vedação externa do ambiente do estar conjugado com a varanda. Nesse caso as possibilidades de operação são reduzidas às possibilidades do fechamento envidraçado.

Das simulações realizadas impondo alterações relacionadas ao uso e ocupação da unidade residencial, inclusão de carga térmica e variações de ventilação, pode-se claramente perceber que a inclusão de carga térmica eleva os valores de TO interna. Esse parâmetro, porém, é pouco ou nada controlável (a não ser por utilização de equipamentos energeticamente mais eficientes) por questões arquitetônicas e é intrínseco à própria existência do edifício, já que se destina a abrigar pessoas e usos residenciais, no caso deste estudo. Em valores absolutos, o aumento de TO verificado proporcionado pela inserção de carga térmica foi maior no Ap Base do que no Ap Varanda Envidraçada.

Sobre a ventilação, foram realizadas simulações de duas maneiras distintas: a primeira delas impondo taxas de ventilação (a primeira menor, 2R/h; e a segunda maior, 10R/h), ocorrendo de maneira constante ao longo do dia ou em horários escolhidos. Dos resultados percebe-se o potencial que a manutenção da ventilação no período noturno tem de resfriamento do ambiente ao longo de todo o dia, quando taxas maiores de ventilação ajudam a reduzir a TO (tanto máximas quanto mínimas) e aumentar as amplitudes diárias de TO. Da redução do período de ventilação apenas para a tarde e a noite observa-se o potencial para fazer com que a TO interna fique mais estável; aumentar a taxa de ventilação apenas no período em que as temperaturas se elevam (à tarde) e assim mantê-la até que a temperatura externa se resfrie o suficiente para ficar incômodo ou até que o ambiente seja desocupado (as cargas internas se reduzam) parece uma boa opção para o conforto térmico para dias não muito quentes.

Do uso das ferramentas que o modelo (Tas) oferece para estudo da ventilação através de imposição de abertura de janelas observa-se a relevância de se operar as janelas em função da temperatura do ambiente, possibilitando o aumento das taxas de ventilação quando a

temperatura do ar interno se eleva e a diminuição quando ela declina, aprimorando assim as potencialidades oferecidas pela edificação de remoção de carga térmica e de armazenamento de calor, conforme demandas do conforto. Reforça-se a importância da ventilação noturna para o resfriamento do ambiente nos dias mais quentes, ressaltando que seu efeito se reflete ao longo de todo o dia, mantendo o ambiente mais resfriado que sem o uso dessa estratégia. É colocada como positiva a possibilidade de fechamento das aberturas quando a temperatura do ar externo se torna muito alta (nesse caso seria possível, nesse momento, a utilização de ar-condicionado, configurando-se assim o modo misto de operação).

Quanto aos fatores externos ao edifício, sobre eles os projetistas têm pouco ou nenhuma ação e, por isso, a importância de se conhecer seus efeitos para melhor lidar com os mesmos.

Do clima em aquecimento, seja pelas mudanças climáticas globais, seja pelo fenômeno da ilha de calor pela intensificação da urbanização, é possível observar que influem fortemente no desempenho térmico do ambiente construído. Sobre as mudanças climáticas globais, sabe-se que o clima externo é primordial para o desempenho térmico de ambientes construídos; temperaturas externas mais altas, além de resultarem em temperaturas internas também mais elevadas, farão com que uma das principais estratégias passivas para a remoção de carga térmica interna, a ventilação, perca eficiência ou seja até indesejável em momentos nos quais o ar externo esteja com temperaturas muito elevadas. Dos dados utilizados para a incorporação do efeito do aquecimento, há aumentos semelhantes tanto de TO médias, quanto máximas e mínimas e as alterações nas amplitudes diárias não são significativas. A ilha de calor urbana pode ser positiva em períodos mais amenos, com a elevação das mínimas noturnas e consequente redução das amplitudes térmicas diárias, por elevar as temperaturas do ar externo justamente quando ocorre a maior parte das horas em desconforto por frio. Por outro lado, nos períodos mais quentes, reduz a efetividade da ventilação noturna no resfriamento do ambiente interno e, em última instância, em um clima com temperaturas médias em elevação, pode significar um sobreaquecimento indesejável.

Outro efeito esperado da intensificação da urbanização é o aumento do sombreamento devido à verticalização e a proximidade de edifícios no entorno. Verifica-se que, assim como os brises, também se trata de um elemento sombreador, porém, tende a sombrear as primeiras e as últimas horas do dia (principalmente nas orientações leste e oeste) ou o período do inverno (principalmente na orientação norte), quando a temperatura é mais amena e a radiação solar incidente tem menor intensidade. Nas horas e dias mais quentes o edifício continua totalmente exposto à radiação solar direta. Edifícios ou pavimentos mais baixos ficam mais sujeitos a esse sombreamento e, finalmente, é necessário considerar que ele não pode ser controlado, pois ocorre à revelia da vontade ou necessidade do projetista do edifício de análise (a não ser que haja algum instrumento incluído na legislação urbanística que o impeça ou amenize, a exemplo do envelope solar).

Do conjunto de alterações impostas ao modelo de simulação percebe-se, portanto, que algumas delas têm potencial principalmente de redução das temperaturas operativas, a saber: inserção de brises, aumento da taxa de ventilação (ou ventilação noturna), sombreamento pelo entorno; e outras ações que por sua vez promovem, principalmente, o aumento da TO, são elas: aumento da área envidraçada, aumento da carga térmica interna (que é pouco controlado pelo projetista), clima em aquecimento (aquecimento global e ilha de calor urbana).

Pode-se pontuar, ainda, que alguns aspectos têm papel de alteração da TO ao longo de todo o ano, como é o caso a massa térmica; do WWR (aumento da TO e amplitudes com

aumento da proporção de área envidraçada); dos aspectos de uso e ocupação, a saber a inclusão de carga térmica (que provoca aumento da TO independentemente da época do ano), do incremento da ventilação (promove maior remoção de carga térmica e aumento das amplitudes térmicas); assim como o aquecimento do clima. Outros apresentam características sazonais e são relacionados, principalmente, à variabilidade anual da incidência solar, como é o caso do sombreamento promovido pelos brises ou pelo entorno, que variam conforme a posição solar ao longo do ano. As orientações solares norte e sul apresentam maior variabilidade de desempenho ao longo do ano, enquanto leste e oeste mantêm tendências de desempenho similares ao longo do ano.

Dentre as alterações paramétricas realizadas nessa 1ª fase de simulação destacam-se, pelo seu maior potencial de influenciar o desempenho térmico do ambiente: a orientação solar, os aspectos relacionados à configuração da vedação e sua consequente captação solar (envidraçamento da vedação externa, inserção da varanda e elementos de sombreamento), a ventilação e o impacto do aquecimento do clima.

5.5 Considerações sobre a 2ª fase de simulações

A 2ª fase de simulações se alimenta da 1ª e passa a explorar, em um contexto mais realista, as configurações de estar/jantar conjugado com a varanda, aliadas às indicações dos resultados já observados na 1ª fase quanto aos fatores de área envidraçada, sombreamento e taxa de ventilação nas diferentes orientações. Inclui cenário climático que reflete um futuro de aproximadamente 50 anos à frente, com o efeito da ilha de calor urbana, aliado a um entorno verticalizado. Desses estudos fica claro que, nos cenários futuros, na cidade de São Paulo a maior questão é o sobreaquecimento dos ambientes internos, em boa parte do ano, e que o desconforto por frio, por menos tempo, pode ser mais facilmente resolvido.

O que mais se observa desses estudos é a forte presença de horas em desconforto por calor. Se nas simulações da 1ª fase, com o arquivo climático SWERA, havia mais facilidade de obtenção de conforto no verão e maior número de horas em desconforto por frio no inverno, na 2ª fase o que se observa é a preponderância de horas em conforto no inverno e um aumento significativo de horas em desconforto por calor na maioria das situações simuladas no verão. A tendência de aquecimento do clima lança, portanto, um grande desafio para o conforto térmico em edifícios naturalmente ventilados: no período do verão as temperaturas que já são mais altas devem se elevar ainda mais e representam um obstáculo para o resfriamento dos edifícios.

A altura (pavimento) em que se localiza a unidade observada é um fator que influi consideravelmente no desempenho térmico, quando o edifício se localiza em área verticalizada, devido ao sombreamento provocado pelo entorno. Esta verificação também foi realizada por Uzun (2018), que afirma que diferentes pavimentos demandam soluções de desenho de fachada diferenciados para o melhor conforto térmico.

Observa-se que no Ap Base a janela de dimensões reduzidas (1,44m² / WWR 20%) impede uma maior captação de radiação solar pela superfície envidraçada, o que também confere à vedação uma maior inércia térmica, pela maior área opaca. Do Ap com a Varanda Sombreadora (sem fechamento envidraçado), há a dificuldade de dissipação do calor no ambiente da varanda, o que leva à indicação de que, ao se propor uma varanda, é mais interessante que ela não fique enclausurada e que possua não uma mas, pelo menos, 2 e,

preferencialmente, 3 faces abertas (varanda que se projeta para fora dos limites do edifício), de modo a facilitar a ventilação e a troca de calor por convecção.

A insolação tem papel primordial no desempenho térmico, o que se reflete especialmente na captação de radiação solar direta quando da utilização de maiores áreas transparentes ou translúcidas. A insolação é ainda a razão das diferenças de desempenho observado entre as diversas orientações. Portanto, quanto ao envidraçamento da varanda, a orientação sul, que recebe menos insolação direta do que as demais e quando a recebe, ocorre em grandes alturas solares, tem, portanto, o Fator Solar relativo de seu vidro reduzido e, conseqüentemente, menor aquecimento devido à insolação direta. Para todas as demais orientações, o simples envidraçamento é um problema para o conforto térmico pela grande captação de radiação solar. Sua presença faz com que o ambiente se torne uma estufa e, em especial, os pontos próximos à superfície envidraçada sejam os de maior desconforto.

As estratégias tanto de sombreamento da superfície envidraçada quanto de incremento das taxas de renovação de ar possibilitam significativa melhora no desempenho; porém, dadas as previsões de um clima futuro mais aquecido, somado à ilha de calor urbana, fazem com que as estratégias tenham sua eficácia limitada (a exemplo da ventilação noturna que, com as temperaturas do ar aumentadas nesse período, possibilitam menor resfriamento).

Da última série de simulações realizada, buscando o melhor conforto térmico nas diversas orientações (“Operação da varanda para o conforto térmico”), ressalta-se que é possível operar a vedação da varanda alterando-se não só o vão de abertura (que pode aumentar ou reduzir as taxas de renovação de ar), mas também combinando, da melhor maneira possível, a porta entre o estar e a varanda e o fechamento envidraçado externo da varanda. É possível manter ou recolher as aletas dos brises, ou ainda, alterar sua inclinação; por exemplo, no caso das fachadas leste e oeste pode ser positivo rotacionar as aletas aumentando o sombreamento proporcionado pelo brise nas primeiras horas da manhã ou últimas horas da tarde, respectivamente, quando a altura solar é menor, e assim promover as melhores condições de conforto conforme desejo do próprio morador.

6 Conclusão, comprovação da hipótese e considerações finais

6.1 Comprovação da hipótese

Da leitura realizada do mercado imobiliário residencial vertical depreende-se que a varanda, em tempos recentes, ganhou dimensões proporcionais à área dos outros ambientes, o que faz com que esta seja tratada como um ambiente interno do apartamento. Para que isso possa ocorrer é necessário que seja fechada, envidraçada. O envidraçamento faz com que haja perda de massa térmica e maior facilidade tanto de ganhar quanto de perder calor, além de se perder a característica de ambiente de transição entre interior e exterior que o espaço originalmente possui.

Dos estudos de simulação computacional depreende-se que, para os padrões construtivos de unidades residenciais em edifícios verticais praticados pelo mercado, alcançar o conforto ambiental em modo de operação naturalmente ventilado será um desafio de maiores dimensões nos cenários de aquecimento vislumbrados. A diminuição de massa térmica aliada ao aumento das superfícies envidraçadas não sombreadas e reduzidas possibilidades de ventilação nos ambientes são os principais fatores que contribuem para o aquecimento em edificações. A presença da varanda, por sua vez, é positiva quando ela assume diversas possibilidades de configuração, atuando e sendo ocupada como um ambiente de transição de fato e não como um dos cômodos internos à residência; deste modo ela pode ser vetor das melhores práticas de operação na busca do conforto térmico.

Portanto, os resultados comprovam a hipótese inicial, destacando-se que elementos que possibilitem a operação das aberturas, em especial aquelas ligadas à varanda, a saber, envidraçamento externo, porta entre varanda e estar e elemento sombreador externo, precisam estar disponíveis para serem operados pelo usuário, que deve estar apto a perceber as melhores possibilidades operação e realizá-las.

6.2 Considerações finais

Dentre os resultados observados nas diversas simulações apresentadas neste trabalho, destacam-se os seguintes pontos de atenção:

- A criticidade dos cenários futuros com a incorporação do efeito da ilha de calor urbana;
- O cuidado com as áreas de vedação envidraçadas;
- A importância da ventilação, inclusive noturna; e
- A importância de dar opções de operação aos usuários, conjugando principalmente sombreamento e ventilação.

Uma composição esquemática das diversas camadas que se propõe para amplas soluções de fechamento das varandas está colocada na Figura 178 e exemplifica soluções de

fechamento que proporciona opções de operação aos usuários, incluindo elementos sombreadores. São exemplos de edifícios existentes que proporcionam opções como a que este trabalho se refere o Edifício residencial Lausanne (Figura 16) e a Residência Olivo Gomes (Figura 17).

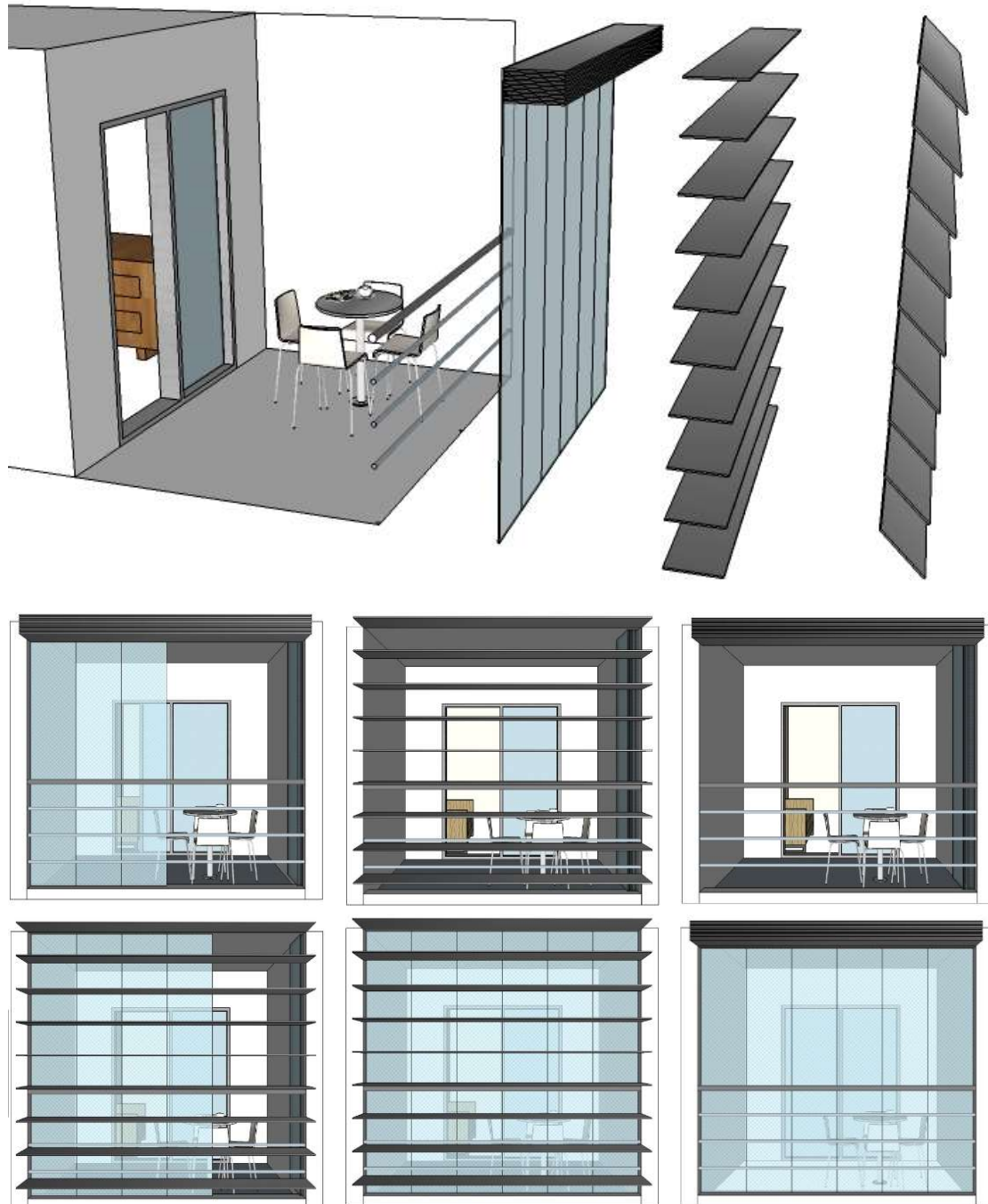


Figura 178. Esquema exemplificativo de varanda com possibilidades de fechamento: envidraçamento externo e brise operável e exemplos de configurações possíveis.

Por fim, sabe-se que são muitos os desafios da intensificação da urbanização nas cidades latino-americanas, assim como a qualidade dos espaços públicos, dos espaços de transição entre edifícios, a mobilidade, a poluição, entre outros (DUARTE, 2015). Um deles, certamente, é o estoque edificado. Os edifícios podem ser pensados para o melhor desempenho de maneira passiva, reduzindo o consumo de energia, armazenando menos carga térmica e acumulando menos calor. O calor armazenado nos edifícios é reirradiado para a cidade, principalmente no período noturno, ou removido do seu interior e enviado para o meio urbano através do uso de ar-condicionado, o que retroalimenta os fenômenos de aquecimento ao qual o edifício está exposto. Há, portanto, uma interdependência entre os edifícios e o meio urbano e o bom desempenho de um deles colabora para o outro. No mais, reforça-se a relevância de se considerar cenários urbanos mais adensados, dado que cidades compactas geralmente geram menos emissões de gases de efeito estufa por habitante (OKE *et al.*, 2017), além de minimizarem as alterações na cobertura do solo. É de se ressaltar, portanto, a relevância de políticas públicas que visem às questões urbanas buscando adaptação e mitigação dos efeitos de aquecimento, tanto global (mudanças climáticas) quanto urbano (ilha de calor urbana e suas diversas manifestações).

6.3 Limitações do estudo e trabalhos futuros

- Para a melhor avaliação da UHI na cidade de São Paulo, sugere-se a realização de medições em diferentes pontos na malha urbana densa e de longo prazo, que englobe as diversas estações do ano, para que possa fazer uma leitura mais detalhada nas escalas espacial e temporal.
- Para a composição do arquivo climático foram utilizadas alterações nos dados de temperatura e umidade relativa do ar. A consideração das demais variáveis do arquivo climático na realização destas alterações poderá proporcionar um cenário climático de simulação mais completo.
- Melhores verificações com relação à ventilação natural e, em especial, com relação às possibilidades e limitações dos modelos numéricos de desempenho térmico podem oferecer respostas mais precisas.
- Neste estudo utilizou-se de um modelo considerado representativo de grande parte da produção de unidades habitacionais em edifícios verticais no período estudado (“Ap Base”). O estudo de outras tipologias, com diferentes dimensões e composição de fachada pode ampliar o conhecimento sobre o desempenho e as possibilidades para edifícios multifamiliares.
- Dados os resultados apresentados neste trabalho, ressalta-se a importância de se incluir o contexto urbano nas simulações computacionais de desempenho térmico (sombreamento e ilha de calor urbana).

7 Referências bibliográficas

1. ALAS, Paulo. **O fenômeno dos supercondomínios: verticalização na metrópole paulistana no início do século XXI**. Orientador: Denise Helena Silva Duarte. 2013. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
2. ALVES, Carolina Abrahão, DUARTE; Denise H. Silva; GONÇALVES, Fábio L. Teixeira. Residential Buildings' Thermal Performance and Comfort for the Elderly under Climate Changes Context in the city of São Paulo, Brazil. **Energy and Buildings**, v.114, p. 62-71, 2016.
3. ALVES, Carolina Abrahão, TATEOKA, Suzana S.; DUARTE; Denise H. Silva; GONÇALVES, Fábio L. Teixeira. Thermal performance and comfort in traditional residential buildings for the elderly under climate changes context. Third International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island, October 13-15, 2014. **Proceedings**, Venice, 2014.
4. ALVES, Carolina Abrahão. **Resiliência das edificações às mudanças climáticas na Região Metropolitana de São Paulo. Estudo de caso: desempenho térmico de edifícios residenciais para idosos**. 2014. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
5. ALVES, Carolina Abrahão; DUARTE, Denise H. Silva; GONÇALVES, Fábio L. Teixeira. Resiliência das edificações às mudanças climáticas na Região Metropolitana De São Paulo. Parte 2: estudo de caso - desempenho térmico de edifícios residenciais para idosos. XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais**, Campinas: PUCCAMP, 2015. ISSN: 2175-6333.
6. ALVES, Carolina Abrahão; DUARTE; Denise H. Silva; GONÇALVES, Fábio L. Teixeira. Resiliência das edificações às mudanças climáticas na Região Metropolitana De São Paulo. Parte 1: revisão crítica e contextualização. XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais**, Campinas: PUCCAMP, 2015. ISSN: 2175-6333.
7. ANDRADE, Carlos Fernando de Souza Leão. Palácio Capanema: uma das 7 maravilhas do Rio? **Vitruvius**, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/minhacidade/08.086/1917>. Acesso em 10 jan. 2017.
8. ANDRADE, Carlos Roberto Monteiro de; FELDMAN, Sarah; NEGRELOS, Eulália Portela. Solo Urbano: Conceito, Histórico e Legislação. NUNES, Ramom Rachide Nunes; REZENDE, Maria Olímpia de Oliveira (org.). **Recurso Solo: propriedades e usos**. São Carlos: Editora Cubo, 2015.
9. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **ASHRAE 55-2004**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: ASHRAE, 2004.
10. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **ASHRAE 55-2010**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, Addenda 2013. Atlanta: ASHRAE, 2013.

11. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **ASHRAE 55-2013**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: ASHRAE, 2013.
12. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **ASHRAE 55-2017**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: ASHRAE, 2017.
13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
14. AULICIEMS, A. **Thermal Comfort**: Building design and human performance, p. 3-28. Nova York: Nancy Ruck, Van Nostrand Reinhold, 1989.
15. BAKER, Nick V. **The Handbook of sustainable refurbishment**: non-domestic buildings. Londeres: Earthscan co-published with RIBA Publishing, 2009.
16. BAKER, Nick V., STANDEVEN, M. Thermal comfort in free running buildings. **Energy and Buildings**, v. 23, p 175-182, 1994.
17. BARATTO, Romullo. Edifício Copan receberá um museu em homenagem à obra de Niemeyer. **Archdaily**, 04/mar/2014. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/01-180745/edificio-copan-recebera-um-museu-em-homenagem-a-obra-de-niemeyer>. Acesso em: 10 jan. 2017.
18. BARATTO, Romullo. O Copan está afundando! (mas não se preocupe, está tudo sob controle). **Archdaily**, 13/nov/2014. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/757169/o-copan-esta-afundando-mas-nao-se-preocupe-esta-tudo-sob-controle>. Acesso em: 10 jan. 2017.
19. BARNABY, Charles S.; CRAWLEY, Drury B. Weather Data for Building Performance Simulation. HENSEN, Jan L. M., LAMBERTS, Roberto (ed.). **Building Performance Simulation for Design and Operation** (Chapter: 3). Spon Press, 2011.
20. BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP. **Geosp – Espaço e Tempo** (Online), v. 20, n. 1, p. 160-177, 2016. ISSN 2179-0892.
21. BATISTA, Rafael Jonas R.; GONÇALVES, Fábio Luiz T.; PORFIRIO DA ROCHA, Rosmeri. Present climate and future projections of the thermal comfort index for the metropolitan region of São Paulo, Brazil. **Climatic Change**, v. 137, p. 439-454, 2016.
22. BAY, Joo-Hwa; WANG, Na; LIANG, Qian; KONG, Ping. Socio-Environmental Dimensions in Tropical Semi-Open Spaces of High-Rise Housing in Singapore. BAY, Joo-Hwa; ONG, Boon-Lay. **Tropical Sustainable Architecture**: Social and Environmental Dimension. Oxford: Architectural Press, 2006.
23. BBC. Australia weather: January was hottest month on record. **BBC News**. 2019. Disponível em: <https://www.bbc.com/news/world-australia-47085785>. Acesso em 2 fev. 2019.
24. BITTENCOURT, Leonardo. Conforto Ambiental e as possibilidades do modelo adaptativo. GONÇALVES, Joana C. S.; BODE, Klaus. **Edifício Ambiental**, São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
25. BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). **Balanco energético nacional 2016**: ano base 2015. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2016.

26. BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). **Balço energético nacional 2018**: ano base 2017. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2018.
27. BRUAND, Yves. **Arquitetura Contemporânea no Brasil**. 4. ed. São Paulo: Perspectiva, 2002.
28. BUENO, Bruno. **Study and prediction of the energy interactions between buildings and the urban climate**. 2012. PhD thesis (Doctor of philosophy in Architecture: Building Technology) – Massachusetts Institute of Technology (MIT), Massachusetts, 2012.
29. BUENO, Bruno; NORFORD, Leslie; HIDALGO, Julia; PIGEON, Grégoire. The urban weather generator. **Journal of Building Performance Simulation**, v.6, n.4, p. 269-281, 2013. DOI: 10.1080/19401493.2012.718797
30. CALTHORPE, Peter. **Urbanism in the Age of Climate Change**. Washington, DC: Island Press, 2010.
31. CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (CEF). São Paulo - **Plano Diretor Estratégico**: cartilha de formação. 2ed. São Paulo: câmara municipal, 2003.
32. COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION (CEN). **CEN EN 15251**: Indoor Environmental Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings: Addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. English version. Bruxelas, 2007
33. CHAN, A.L.S. Developing future hourly weather files for studying the impact of climate change on building energy performance in Hong Kong. **Energy and Buildings**, n. 43, p. 2860-2868, 2011.
34. CHARTERED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES ENGINEERS (CIBSE). **CIBSE Guide A**: Environmental design. 7.ed. Londres: CIBSE, 2006.
35. COLE, Raymond J., ROBINSON, John, BROWN, Zosia, O'SHEA, Meg. Re-contextualizing the notion of comfort. **Building Research & Information**, London: Routledge, v.36, n. 4, p. 323-336, 2008.
36. COLEY, D., KERSHAW, T., EAMES, M. A comparison of structural and behavioural adaptations to future proofing buildings against higher temperatures. **Building and Environment**, v. 55, p. 159–166, 2012.
37. CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos**: conforto ambiental. Rio de Janeiro: Revan2009.
38. CRAWLEY, Drury B. Estimating the impacts of climate change and urbanization on building performance. **Journal of Building Performance Simulation**, v 1:2, p. 91-115, 2008.
39. DE DEAR, R, BRAGER, G, COOPER, D. **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference**: Final Report on RP 884. Macquarie University, Sydney, Australia, 1997.
40. DE DEAR, R.; KIM, J.; PARKINSON, T. Residential adaptive comfort in a humid subtropical climate—Sydney Australia. **Energy and Buildings**, v. 158, p.1296-1305, 2018.
41. DE DEAR, R. A global database of thermal comfort experiments. **ASHRAE Technical data bulletin**, Vol 14, no 1, p. 15-26, 1998.
42. DE VECCHI, R.; CÂNDIDO, C. M.; LAMBERTS, R. Thermal history and comfort in a Brazilian subtropical climate: a 'cool' addiction hypothesis. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 7-20, jan./mar. 2016. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do

- Ambiente Construído. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212016000100057>. Acesso em: 10 jan. 2017.
43. DUARTE, Denise. O Clima urbano e o ambiente construído. GONÇALVES, Joana C. S.; BODE, Klaus (org.) **Edifício ambiental**, São Paulo: Oficina de textos, 2015.
 44. EMBRAESP (Empresa Brasileira de Estudos do Patrimônio S/C Ltda.). **Relatório Anual 2014**. Informativo imobiliário EMBRAESP. São Paulo: EMBRAESP, 2015.
 45. EMMANUEL, Rohinton. Performance standard for tropical outdoors: A critique of current impasse and a proposal for way forward. **Urban Climate**, v. 23, p.250-259, 2018.
 46. EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **NOTA TÉCNICA EPE 030/2018** - Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética. Brasília: 13/dez/2018. Disponível em: <http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/nota-tecnica-epe-030-2018>. Acesso em 7 jan. 2019.
 47. ERELL, E., WILLIAMSON, T. Simulating air temperature in an urban street canyon in all weather conditions using measured data at a reference meteorological station. **International Journal of Climatology**, v. 26(12), p. 1671-1694, 2006.
 48. FERREIRA, João Sette Whitaker (coord.). **Produzir casas ou construir cidades? Desafios para um novo Brasil urbano**. Parâmetros de qualidade para implementação de projetos habitacionais e urbanos. São Paulo: LABHAB, FUPAM, 2012
 49. FERREIRA, M. J.; OLIVEIRA, A.P., SOARES, J.; CODATO, G.; BÁRBARO, E. W.; ESCOBEDO, J. F. Radiation balance at the surface in the city of São Paulo, Brazil: diurnal and seasonal variations. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 107, p. 229-246, 2012.
 50. FERREIRA, Maurício J.; OLIVEIRA, Amauri P.; SOARES, Jacyra R. Diurnal variation in stored energy flux in São Paulo city, Brazil. **Urban Climate**, Philadelphia, v. 5, p. 36-51, 2013.
 51. FRACALOSSI, Igor. Clássicos da Arquitetura: Banco Sul-Americano / Rino Levi. **Archdaily**, 2013. Disponível em: <http://www.archdaily.com.br/br/01-42536/classicos-da-arquitetura-banco-sul-americano-rino-levi>. Acesso em 06 dez. 2016
 52. FRACALOSSI, Igor. Clássicos da Arquitetura: Conjunto Residencial Prefeito Mendes de Moraes (Pedregulho) / Affonso Eduardo Reidy. **Archdaily**, 02/dez/2011. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/01-12832/classicos-da-arquitetura-conjunto-residencial-prefeito-mendes-de-moraes-pedregulho-affonso-eduardo-reidy>. Acesso em: 22 ago. 2017.
 53. FRACALOSSI, Igor. Clássicos da Arquitetura: Parque Eduardo Guinle / Lucio Costa. **Archdaily**, 17/dez/2011. Disponível em: <http://www.archdaily.com.br/br/01-14549/classicos-da-arquitetura-parque-eduardo-guinle-lucio-costa>. Acesso em: 22 ago. 2017.
 54. FREITAS, Edmilson D.; ROZOFF, Christopher M.; COTTON, William R.; DIAS, Pedro L. Interactions of an urban heat island and sea-breeze circulations during winter over the metropolitan area of São Paulo, Brazil. **Boundary-Layer Meteorol.** v. 122, p. 43-65. 2007.
 55. GIVONI, Baruch. **Man, Climate and Architecture**. 2 ed. London: Applied Science, 1976.
 56. GONÇALVES, Fábio L. T. **Artigo**. Destinatário: Carolina Abrahão Alves. 10 abr. 2018. 1 mensagem eletrônica.
 57. GONÇALVES, Joana Carla Soares Gonçalves; DOLCE, Mônica; MULFARTH, Roberta C. Kronka; LIMA, Eduardo Gasparelo; FERREIRA, Amanda. Revealing the thermal environmental quality

- of the high-density residential tall building from the Brazilian bioclimatic modernism: The case-study of Copan building. **Energy and Buildings**, n. 175, p. 17–29, 2018.
58. GOOGLE. **Google Earth**. Versão 7.1.1.1871. Ano 2013. Acesso em: 05 jan. 2017.
59. GRIMMOND, C. S. B. Progress in measuring and observing the urban atmosphere. **Theoretical and applied climatology**, n. 84, p. 3-22, 2006.
60. GUATTARI, Claudia; EVANGELISTI, Luca; BALARAS, Constantinos A. On the assessment of urban heat island phenomenon and its effects on building energy performance: A case study of Rome (Italy). **Energy and Buildings**, n. 158, p.605-615, 2018.
61. GUERRA, Abilio; MARQUES, André. João Filgueiras Lima, ecologia e racionalização. **Vitruvius**, 2015. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/16.181/5592>. Acesso em: 10 jan. 2017.
62. GUPTA, Rajat; GREGG, Matthew. Using UK climate change projections to adapt existing English homes for a warming climate. **Building and Environment**, n. 55, p.20-42, 2012.
63. GUSSON, Carolina S.; MADEIRA, Ângela, H. Y.; DUARTE, Denise Helena S. São Paulo: A Dense City? 4th CIB International Conference on Smart and Sustainable Built Environments - SASBE 2012 Emerging Economies - **Proceedings**. Campinas: Fundação de Desenvolvimento da UNICAMP - Funcamp, 2012. p. 293-299. 2012.
64. GUSSON, Carolina dos Santos; DUARTE, Denise. Microclimatic behaviour of two densely built areas in Sao Paulo, Brazil. 10th International Conference on Urban Climate/14th Symposium on the Urban Environment: **Proceedings**. Nova York, 2018.
65. HASSOL, Susan Joy; TOROK, Simon; LEWIS, Sophie; LUGANDA, Patrick. **WMO Bullet: (Un)Natural Disasters: Communicating Linkages Between Extreme Events and Climate Change**, v. 65, n.2, 2016.
66. HAWKES, Dean. The selective environment: environmental design and cultural identity. BAY, Joo-Hwa; ONG, Boon-Lay. **Tropical Sustainable Architecture: Social and Environmental Dimension**, Oxford: Architectural Press, 2006.
67. HENSE, Jan L. M; LAMBERTS, Roberto. Introduction to building performance simulation. HENSE, Jan L. M; LAMBERTS, Roberto, **Building Performance Simulation for Design and Operation**, Spon Press: 2011.
68. HENRIQUES, Gonçalo Castro. Severiano Porto: Sintaxe e processo, que futuro(s)? **Vitruvius**, 2016. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/17.198/6303>. Acesso em: 10 jan. 2017.
69. HEPNER, Alexandre. **Desenho urbano, capital e ideologia em São Paulo: centralidade e forma urbana na Marginal do Rio Pinheiros**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
70. HERNANDEZ NETO, Alberto. **Dúvidas - simulações**. Destinatário: Carolina Abrahão Alves. 19 out. 2018. 1 mensagem eletrônica.
71. HICKS, B.B.; CALLAHAN, W.J.; HOEKZEMA, M.A. On the heat islands of Washington, DC, and New York City, NY. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 135, n. 2, p. 291–300, 2010.

72. HOUET, T.; PIGEON, G. Mapping urban climate zones and quantifying climate behaviors – an application on Toulouse urban area (France). **Environmental Pollution**, v.159, p. 2180–2192, 2011.
73. HUMPHREYS, M. A. Outdoor temperatures and comfort indoors. **Batiment International, Building Research and Practice**, v. 6, 1978.
74. HUMPHREYS, M. A., RIJAL, H. B., NICOL, J. F. Examining and developing relation between climate and thermal comfort indoors. **Proceedings of conference: Adapting to change: New thinking on comfort** Cumberland Lodge, Windsor, UK. 9-11 April 2010.
75. HYDE, Richard. **Climate responsive design: a study of buildings in moderate and hot humid climates**. New York: E & FN Spon, 2000.
76. INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS DA USP (IAG/USP). **Boletim Climatológico Anual da Estação Meteorológica do IAG/USP**, São Paulo: v. 20, 2017. Disponível em: <http://www.estacao.iag.usp.br/Boletins/2017.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2017.
77. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico 1940-2010**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.seriesestatisticas.ibge.gov.br>. Acesso em 10 jan. 2017.
78. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Séries Estatísticas & Séries Históricas**. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: http://atlascolar.ibge.gov.br/images/atlas/mapas_brasil/brasil_urbanizacao.pdf. Acesso em nov/2016.
79. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **World Energy Outlook 2013: Summary**. International Energy Agency, Paris. 2014.
80. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais Climatológicas do Brasil de 1981 – 2010**. Brasília, 2018
81. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **World Energy Outlook 2012: Summary**. International Energy Agency, Paris. 2013.
82. INTERNATIONAL ORGANIZATION STANDARDIZATION (ISO). **ISO 7726**. Ergonomics: instruments for measuring physical quantities. Genève: ISO, 1998.
83. INVIDIATA, Andrea; CLOSS, Pamela; GUTHS, Saulo. Elementos de arquitetura bioclimática mediterrânea aplicados no Brasil. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, **Anais**, Maceió, 2014.
84. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change 2001: Synthesis report**, Cambridge university press: IPCC, 2001.
85. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change 2007: Synthesis report**, Geneva: IPCC, 2007.
86. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**, IPCC Working Group I Contribution to AR5. 2013.
87. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**, IPCC Working Group II Contribution to AR5. 2014

88. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change**, IPCC Working Group III Contribution to AR5. 2014.
89. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change 2014: synthesis report**, Geneva: IPCC, 2014.
90. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **IPCC First Assessment Report 1990**, IPCC, 1990.
91. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **IPCC Second Assessment Climate Change 1995**. IPCC, 1995.
92. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **The IPCC and the Sixth Assessment cycle**, Geneva: IPCC, 2017. Disponível em: https://www.ipcc.ch/pdf/ar6_material/AC6_brochure_en.pdf. Acesso em: 11 abr. 2018.
93. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Special Report: Global Warming of 1.5°C**. Geneva: IPCC, 2018. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/sr15/>. Acesso em: 3 fev. 2019.
94. ISAAC, M., VAN VUUREN, D. P. Modeling global residential sector energy demand for heating and air conditioning in the context of climate change. **Energy Policy**, v. 37, n.2, p. 507–521, 2009.
95. JENDRITZKY, Gerard; DE DEAR, Richard. Adaptation and thermal environment. EBI, Kristie L. (ed), BURTON, Ian (ed.), MCGREGOR, Glenn (ed.). **Biometeorology for adaptation to climate variability and change**, Springer, 2009.
96. KENDRICK, C., OGDEN, R., WANG, X., BAICHE, B. Thermal mass in new build UK housing: A comparison of structural systems in a future weather scenario. **Energy and Buildings**, v.48, p. 40–49, 2012.
97. KOLOKOTRONI, M; REN, X; DAVIES, M; MAVROGIANNI, A. London’s urban heat island: Impact on current and future energy consumption in office buildings. **Energy and Buildings**, n. 47 p.302–311, 2012.
98. KOLOKOTRONI, M; ZHANG, Y; GIRIDHARAN R. Heating and cooling degree day prediction within the London urban heat island area. **Building Serv. Eng. Res. Technol.**, n. 30-3, p. 183–202, 2009.
99. LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (LABEEE). **Relatório 200504**: Processamento de arquivos climáticos para simulação do desempenho energético de edificações. LABEE, 28 de fevereiro de 2005. Disponível em: http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/arquivos_climaticos/RT200504.pdf. Acesso em: 5 ago. 2013.
100. LAMBERTS, R., CÂNDIDO, C., DE DEAR, R., DE VECCHI, R. **Appendix 7 – The Proposed Brazilian Standard (in Portuguese)**: Towards a Brazilian Standard on Thermal Comfort. 2013. Disponível em: http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/RP_Towards_a_Brazilian_Standard_Complete_Version.pdf. Acesso em 8 jan. 2017.
101. LAMBERTS, R., PEREIRA, F., DUTRA, L. **Eficiência energética na arquitetura**. 3 ed.,2007.
102. LEE, S.H.; BAIK, J.J. Statistical and dynamical characteristics of the urban heat island intensity in Seoul. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 100, p. 227–237, 2010.

103. LEE, Susan E., LEVERMORE, Geoff J. Simulating urban heat island effects with climate change on a Manchester house. **Building Services Engineering Research Technology**, 2012.
104. LIAO, Jennifer W. L. **Balconies as outdoor living spaces in high-rise buildings in São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Architectural Association School of Architecture, Open University, Londres, 2015.
105. LIMA, Luciano Goveia Braga de. **Efeitos da expansão do crédito imobiliário sobre a produção habitacional privada em São Paulo – 2005 a 2011**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2015.
106. LIMA, Rejane. Calor aumenta o número de mortes na Baixada. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 11 fev. 2010.
107. LLOPART M., COPPOLA E., GIORGI F., DA ROCHA R. P., CUADRA S.V. Climate change impact on precipitation for the Amazon and La Plata basins. **Climatic Change**, v. 125, n. 1, p. 111-125, 22 mai. 2014.
108. LOMAS, K.J.; GIRIDHARAN, R. Thermal comfort standards, measured internal temperatures and thermal resilience to climate change of free-running buildings: A case-study of hospital wards. **Building and Environment**, v. 55, p. 57-72, set. 2012.
109. LOMBARDO, M. A. **A ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**, São Paulo: Hucitec, 1985.
110. LONGARINE, Augusto. **Caracterização da produção recente de edifícios residenciais multifamiliares na cidade de São Paulo: subsídios para estudos de desempenho térmico das unidades e de impactos na mobilidade urbana**. 2017. Relatório de Iniciação Científica – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2017a.
111. LONGARINE, Augusto; DUARTE, Denise. Caracterização da produção recente de edifícios residenciais multifamiliares na cidade de São Paulo: Subsídios para estudos de desempenho térmico das unidades e de impactos na mobilidade urbana. 17a Conferência Internacional da LARES - Latin American Real Estate Society, 2017, São Paulo: **Anais**. Latin American Real Estate Society. São Paulo: LARES, v. 1. p. 1-30, 2017b.
112. MARENGO, José A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, Distrito Federal, Brasil, 2006.
113. MATZARAKIS, Andreas; DE ROCCO, Manuela; NAJJAR, Georges. Thermal bioclimate in Strasbourg - the 2003 heat wave. **Theoretical Applied Climatology**, v. 98, p. 209–220, 2009
114. MCCARTNEY K.J and NICOL J.F. Developing an Adaptive Control Algorithm for Europe: Results of the SCATs Project. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 623-635, 2002.
115. MEYER, João. As políticas habitacionais e seus desdobramentos. VARGAS, Heliana Comin; ARAUJO, Cristina Pereira. **Arquitetura e Mercado Imobiliário**, Barueri: Manole, 2014.
116. MEYER, João; CAMPOS, Ana Cecília; QUEIROGA, Eugênio; GALENDER, Fany; DEGREAS, Helena; MACEDO, Sílvio; AKAMINE, Rogério; CUSTÓDIO, Vanderli. Incorporações residenciais verticais em São Paulo. Conferência Internacional PNUM 2013 - Forma Urbana nos Territórios de Influência Portuguesa Análise, Desenho, Quantificação. **Anais**, Coimbra,

2013. Disponível em: http://www.dec.uc.pt/~pnum2013/Proceedings_PNUM2013.pdf. Acesso em: 2 abr. 2013.
117. MISHRA, Vimal; GANGULY, Auroop R.; NIJSEN, Bart; LETTENMAIER, Dennis P. Changes in observed climate extremes in global urban areas. **Environmental Research Letters**, v. 10, n. 2, 2015. DOI: 10.1088/1748-9326/10/2/024005.
118. NAKANO, Kazuo; GUATELLA, Sully Alonso. **A forma urbana a partir de planos diretores e leis de zoneamento do Município de São Paulo**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v. 6, n. 3, p. 142-154, set. 2015. ISSN 1980-6809. Disponível em: <http://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8640799>. Acesso em: 01 nov. 2017. DOI:<http://dx.doi.org/10.20396/parc.v6i3.8640799>.
119. NASA Earth Observatory. **India Faces Deadly Heat Wave**. Junho, 2015. Disponível em: <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=85986>. Acesso em: 03 fev. 2016.
120. NASA. **Release 17-006**: NASA, NOAA Data Show 2016 Warmest Year on Record Globally. NASA TV. 18 de janeiro de 2017. Disponível em: <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-noaa-data-show-2016-warmest-year-on-record-globally> Acesso em 03 fev. 2017.
121. NASA. **Release 18-003**: Long-Term Warming Trend Continued in 2017: NASA, NOAA. 18 de janeiro de 2018. Disponível em: <https://www.nasa.gov/press-release/long-term-warming-trend-continued-in-2017-nasa-noaa> Acesso em 28 jan. 2018.
122. NICOL, J F; HUMPHREYS, M A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. **Energy and Buildings**, v. 34, p. 563-572, 2002.
123. NOBRE, Carlos. **Palestra em seminário**: “Mudanças Climáticas: Perspectivas e Desafios Sociais”. 22 nov. 2013. Informação verbal.
124. NOBRE, Carlos A. *et al.* **Vulnerabilidade das Megacidades Brasileiras às Mudanças climáticas: Região metropolitana de São Paulo**. Sumário executivo. 2010.
125. OKE, Timothy R. **Boundary layer climates**. 2ed. Londres: Methuen & Co., 1987.
126. OKE, Timothy R. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.108, n. 455, p.1-24, 1982.
127. OKE, Timothy R., MILLS Gerald, CHRISTEN Andreas, VOOGT, James A. **Urban Climates**, Cambridge University Press, 2017.
128. OLGAY, Victor. **Design with climate**: bioclimatic approach to architectural regionalism. Princeton, Nova Jersey: Princeton University Press, 1963, reimpresso em 1973.
129. OLIVEIRA, A. P.; SILVERIA, L. C.; NOFOENTE, J. F.; SÁNCHEZ, M. P.; TITO, J. V.; CODATO G.; MARQUES FILH, E. P.; PEREIRA, M. M. R.; RIBEIRO, F. N. D. Observational Investigation of the Urban Heat Island in the Metropolitan Region of São Paulo City, Brazil. 10th International Conference on Urban Climate Jointly with 14th Symposium on the Urban Environment, 2018, New York. **Proceedings do the 10th International Conference on Urban Climate Jointly with 14th Symposium on the Urban Environment**. Nova York, 2018.
130. ORSINI, Jose Antonio Marengo (INPE). **Palestra em Seminário** “Mudanças Climáticas em São Paulo: Causas, Impactos e Soluções”, 14 out. 2015. Informação verbal.
131. OXIDIS, S., DUDEK, A., PAPADOPOULOS. A computational method to assess the impact of urban climate on buildings using modeled climatic data. **Energy and Buildings**, v. 40, n. 3, p. 215-223, 2008.

132. PALME, M.; INOSTROZA, L.; VILLACRESES, G.; LOBATO-CORDERO, Andrea; CARRASCO C. From urban climate to energy consumption. Enhancing building performance simulation by including the urban heat island effect. **Energy and Buildings**, n. 145, p. 107-120, 2017.
133. PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PBMC). **Contribuição do Grupo de Trabalho 3 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**: Sumário Executivo do GT1. Rio de Janeiro, RJ, 2013.
134. PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PBMC). **Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**: Sumário Executivo GT2. Rio de Janeiro, RJ, 2013.
135. PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PBMC). **Contribuição do Grupo de Trabalho 2 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**: Sumário Executivo do GT3. Rio de Janeiro, RJ, 2013.
136. PORRITT, Stephen; SHAO, Li; CROPPER, Paul; GOODIER, Chris. Adapting dwellings for heat waves. **Sustainable Cities and Society**, n. 1 p. 81– 90, 2011.
137. QUAN, Jinling; CHEN, Yunhao; ZHAN, Wenfeng; WANG, Jinfei; VOOGT, James; WANG Mengjie. Multi-temporal trajectory of the urban heat island centroid in Beijing, China based on a Gaussian volume model. **Remote Sensing of Environment**, v. 149, p. 33-46, jun. 2014.
138. RIBEIRO, F. N. D.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J.; MIRANDA, R. M.; BARLAGE, M.; CHEN, F. Effect of sea Breeze Propagation on the Urban Boundary Layer of the Metropolitan Region of Sao Paulo, Brazil. **Atmospheric Research**, v. 214, p. 174–188, 2018.
139. ROAF, Sue, CRICHTON, David; NICOL, Fergus. **A adaptação de edificações e cidades às mudanças climáticas**: Um guia de sobrevivência para o século XXI. Porto Alegre: Bookman, 2009.
140. ROTH, M. Review of urban climate research in (sub) tropical regions. **International Journal of Climatology**, v. 27, n.14, p. 1859–1873, 2007.
141. SALVATI, Agnese; ROURA, Helena Coch; CECERE, Carlo. Assessing the urban heat island and its energy impact on residential buildings in Mediterranean climate: Barcelona case study. **Energy and Buildings**, n. 146, p. 38-54, 2017.
142. SÁNCHEZ E, SOLMAN S, REMEDIO A.R.C, BERBERY H, SAMUELSSON P, DA ROCHA R.P, MOURÃO C, LI L, MARENGO J, DE CASTRO M, JACOB D. Regional climate modelling in CLARIS-LPB: a concerted approach towards twentyfirst century projections of regional temperature and precipitation over South America. **Climate Dynamics**, v. 45, p. 2193-2212, 2015.
143. SANTAMOURIS, M. On the energy impact of urban heat island and global warming on buildings. **Energy and Buildings**, v. 82, p. 100-113, 2014
144. SANTAMOURIS, Mattheos; HADDAD, Shamila; SALIARI, Maria; VASILAKOPOULOU, Konstantina; SYNNEFA, Afroditi; PAOLINI, Riccardo; ULPIANI, Giulia; GARSHASBI, Samira; FIORITO, Francesco. On the energy impact of urban heat island in Sydney: Climate and energy potential of mitigation technologies. **Energy and Buildings** n. 166 p. 154–164, 2018.
145. SANTOS, Joaquim Pizzutti dos; RORIZ, Maurício. Influência do ângulo de incidência nos ganhos de calor solar através de materiais transparentes. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 1, 2012.

146. SÃO PAULO (Município) SECRETARIA MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO URBANO (SEMPA) (org). **Plano diretor estratégico do Município de São Paulo: 2002-2012**. São Paulo Editora: Senac, 2004.
147. SÃO PAULO (MUNICÍPIO). **Lei nº 3.427 de 19 de novembro de 1929**: Código de Obras Arthur Saboya. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/SP/SAO.PAULO/LEI-3427-1929-SAO-PAULO-SP.pdf>, 1929. Acesso em: 24 jun. 2018.
148. SILVA, Izabel Fraga Amaral e. **Um olhar sobre a obra de Acácio Gil Borsoi: obras e projetos residenciais 1953-1970**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2004.
149. SOMEKH, Nadia. **A cidade vertical e o urbanismo modernizador**: São Paulo, 1920-1939. São Paulo: Edusp/Studio Nobel/FAPESP, 1997.
150. STEWART, Iain D., OKE, Timothy R. Local climate zones for urban temperature studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, p. 1879-1900, 2012.
151. STONE, Bryan. **The City and the Coming Climate**: Climate Change and the Places We Live. Cambridge University Press, 2012.
152. STREET, Michael; REINHART, Christoph; NORFOR, Leslie; OCHSENDORF, John. Urban heat island in Boston – an evaluation of urban temperature models for predicting building energy use. **Proceedings of BS2013: 13th Conference of International Building Performance Simulation Association**, Chambéry, France, Aug 26-28, 2013.
153. SWAID, H., HOFFMAN, M.E. Prediction of urban air temperature variations using the analytical cttc model. **Energy and Buildings**, v. 14, n. 4, p. 313-324, 1990
154. TEIXEIRA, C. A.; INVIDIATA, A.; SORGATO, M.; MELO, A. P.; FOSSATI, Michele; LAMBERTS, R. **Levantamento das características de edifícios residenciais brasileiros**. (Relatório de pesquisa). 2015. Disponível em: http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Relatorio_TipologiasResidenciais.pdf. Acesso em: 10 jan. 2017.
155. TILLSON, Amy-Alys; ORESZCZYN, Tadj; PALMER Jason. Assessing impacts of summertime overheating: some adaptation strategies. **Building Research and Information**, n. 41-6, p. 652-661, 2013.
156. TSUDA, Fernanda Panotim; DUARTE, Denise. The Conflicts between the Simplification of Building Regulations and the Challenge of Building Cities for a Changing Climate: The case of São Paulo city. PLEA 2018, Hong Kong: Smart and Healthy within the 2-degree Limit: **Proceedings**. Hong Kong, 2018.
157. United Nations, Department of Economics and Social Affairs (UNDESA). **United Nations, Department of Economics and Social Affairs, Population Division World Urbanization Prospects: The World's Cities in 2016**. (ISBN 978-92-1-151549-7). 2016.
158. United Nations, Department of Economics and Social Affairs (UNDESA). **United Nations, Department of Economics and Social Affairs, Population Division World Urbanization Prospects: The 2014 Revision**. 2014.
159. United Nations Environment Programme (UNEP). **Global Status Report 2017: Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector**. (ISBN: 978-92-807-3686-1) 2017.

160. UZUM, Mônica dos Santos Dolce. **O desempenho térmico da habitação econômica em edifícios do período de 1930 a 1964 no centro da cidade de São Paulo: Estudos analíticos de simulação computacional para diretrizes de requalificação arquitetônica.** Orientadora Joana Carla Soares Gonçalves. - São Paulo, 2018. 495p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. 2018.
161. VARGAS, Heliana Comin. O arquiteto e seus clientes. VARGAS, Heliana Comin; ARAUJO, Cristina Pereira. **Arquitetura e Mercado Imobiliário.** Barueri: Manole, 2014.
162. VIANNA, Sérgio Besserman; VEIGA, José Eli da; ABRANCHES, Sérgio. A Sustentabilidade do Brasil. GIAMBIAGI, BARROS (orgs) **Brasil Pós-Crise: Agenda para a próxima década.** Campus, p. 305-324, 2009.
163. WATSON, I. D.; JOHNSON, G.T. Graphical estimation of sky viewfactors in urban environments. **International Journal of Climatology**, n. 7, p. 193–197, 1987.
164. World Meteorological Organization (WMO). **WMO Bullet Hotter, drier, wetter: Face the future**, V. 65, n.1, 2016.
165. World Meteorological Organization (WMO). **Summer sees heat and extreme weather.** 2018. Disponível em: <https://public.wmo.int/en/media/news/summer-sees-heat-and-extreme-weather>. Acesso em 2 fev. 2019.
166. WU, Anson; PETT, Jacky. **Cold comfort for Kyoto? Carbon implications from increasing residential cooling demand:** A scoping report. ACE: London: 2006.
167. YANG, Xiaoshan; JIN, Tao; YAO, Lingye; ZHU, Chunlei; PENG, Lilliana Lihua. Assessing the Impact of Urban Heat Island Effect on Building Cooling Load based on the Local Climate Zone Scheme. **Procedia Engineering**, n. 205, p. 2839–2846, 2017.
168. ZHOU, Y.; SHEPHERD, J. Atlanta's urban heat island under extreme heat conditions and potential mitigation strategies. **Natural Hazards**, v. 52, p. 639–668, 2010.

Apêndice A -

Apartamentos recentes do mercado imobiliário e seu desempenho térmico: estudos de caso

Dado o cenário imobiliário residencial e o recorte temporal desta tese, que abrange os anos de 2005 a 2014, período marcado por um *boom* imobiliário, procurou-se estudar em maiores detalhes algumas unidades, a fim de compreender suas características espaciais e questões relacionadas ao seu desempenho térmico. Trata-se de uma amostra orientada, não probabilística, selecionada, inicialmente, através do recorte temporal de lançamentos proposto para esse trabalho, localizações e características diversas e também pelas possibilidades de acesso e instalação de equipamentos de medição por um período de tempo simultâneo.

A amostra compõe-se de 4 apartamentos de 2 e três 3 dormitórios (sendo que dois deles foram propostos, inicialmente, pelas construtoras, com quatro dormitórios), entregues a partir do ano 2006, em diferentes bairros da cidade de São Paulo, sendo uma dessas unidades executada dentro do Programa Minha Casa Minha Vida.

A localização dos condomínios da amostra de apartamentos selecionada e das estações meteorológicas utilizadas estão na Figura A-187.

Foram realizados levantamentos das características espaciais, construtivas, termofísicas e de implantação desses apartamentos e também medições de variáveis ambientais em seu interior e, em dois deles (nos quais não havia fechamento em vidro nas varandas), medições microclimáticas externas nas respectivas sacadas, de abril a maio de 2016.

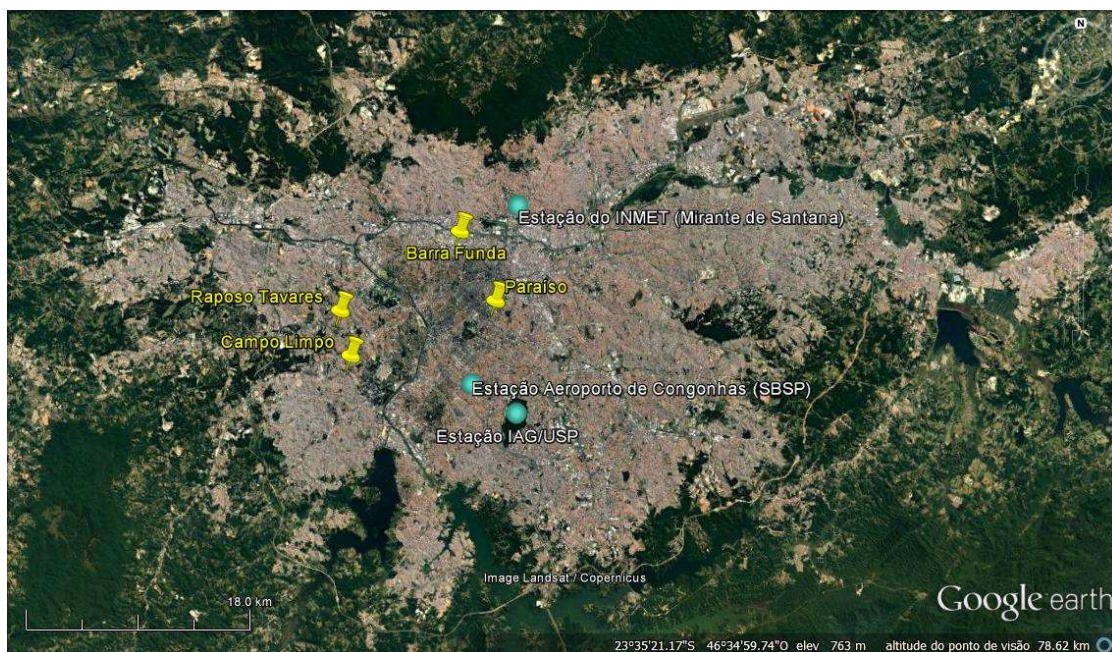


Figura A-187. Localização dos condomínios dos apartamentos selecionados e estações meteorológicas sobre foto aérea da cidade de São Paulo. Elaborado sobre base do Google Earth. (GOOGLE, 2013)

1. Caracterização das unidades da amostra selecionada

Foram selecionados quatro apartamentos, em algumas localidades da Cidade de São Paulo e serão identificados pela região em que se localizam (bairro ou referência próxima):

- Unidade Paraíso;
- Unidade Barra Funda;
- Unidade Raposo Tavares;
- Unidade Campo Limpo.

Todas as unidades estavam em uso e seus proprietários gentilmente aceitaram colaborar com esse estudo. Para a compreensão de cada uma delas, foi levantada a documentação disponível com seus respectivos proprietários, como plantas e manuais do proprietário; também feitas observações *in loco* de informações não disponibilizadas nesses materiais como pé-direito, altura e características das aberturas, além de entrevistas com os proprietários, tanto para melhor caracterização física das unidades quanto para compreensão da rotina de ocupação dos ambientes e de operação das aberturas.

A. Unidade Paraíso

O apartamento no Paraíso é uma unidade localizada no 4º pavimento de um edifício de 11 pavimentos além de térreo e dois subsolos, no bairro Paraíso, próximo à estação de metrô de mesmo nome, no centro expandido da cidade de São Paulo. O entorno próximo é caracterizado por diversidade de usos, incluindo residências, comércio e serviços, além de importantes vias da cidade de São Paulo, como a Avenida Vinte e Três de Maio, via expressa que compõe o corredor Norte-Sul, e a Avenida Bernardino de Campos, que liga a Avenida Paulista à Rua Vergueiro. A volumetria do entorno é marcada tanto por torres altas esparsas (não há condomínios de múltiplas torres nos arredores), quanto por edificações de baixa altura, formando uma massa mais densa próxima ao nível do solo. A maior parte da área de vegetação nas proximidades se concentra nas laterais da Avenida Vinte e Três de Maio e há também alguma arborização urbana presente de maneira esparsa (ver localização na foto aérea, Figura A-189).

O condomínio desta unidade é composto por uma única torre, com recuos em todos os lados e com área de lazer, incluindo piscina, churrasqueira, academia e salão de festas.

A unidade possui 50,9m² de área privativa, sendo 41,4m² de área útil²⁷. São dois dormitórios, sendo que apenas um deles é utilizado com essa função, o outro foi transformado em um escritório. Há um banheiro, além de sala de estar conjugada com a sala de jantar, separadas da cozinha apenas por um balcão. A área de serviço é um ambiente bem pequeno, de apenas 1,6 m², separado da cozinha por uma divisória com porta de vidro e vão ventilante permanente através de uma veneziana na parte superior. Há uma pequena sacada (2,7m²), ligada à sala de estar através de uma porta de vidro protegida por cortina. As duas laterais da sacada são fechadas por paredes do edifício. A cozinha não possui aberturas diretas, mas é ventilada através da área de serviço e da sala de estar/jantar. Os ambientes de ocupação prolongada (sala de estar/jantar) e dormitório 2 se voltam para a direção predominante sul e os ambientes do banheiro, dormitório 1 e área de serviço estão voltados para oeste. O pé direito do estar é de 2,62m. O apartamento é ocupado por um casal e ambos trabalham fora de casa, de modo que em grande parte do tempo o apartamento fica desocupado e com as janelas fechadas (Figura A-188 e Figura A-189).

²⁷ Neste trabalho considerou-se como área privativa toda a área do apartamento, incluindo paredes e também a varanda. No cálculo da área útil foi considerada a soma das áreas dos ambientes, excluída a área da varanda.



Unidade Paraíso

Bairro Paraíso (Centro Expandido)

Nº de dormitórios 2 / Nenhuma suíte

Orientação geográfica principal
sala de estar/jantar,varanda,dormitório2 **SUL**

Orientação geográfica secundária
banheiro, dormitório1 e área de serviço **OESTE**

Área privativa 50,91 m²

Área útil 40,10 m²

Sala estar/jantar 13,57 m²

Dormitório 1 7,50 m²

Dormitório 2 8,60 m²

WC 2,48 m²

Cozinha 3,79 m²

AS 1,64 m²

Circulação 2,52 m²

Varanda 2,36 m²
Aberta (sem fechamento)

Parades internas - 11 cm

Paredes externas - 16 cm

Paredes externas em alvenaria estrutural em blocos de concreto de alta resistência, armados internamente com barras de ferro.

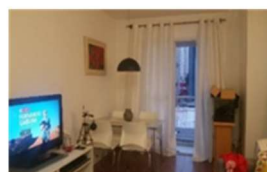
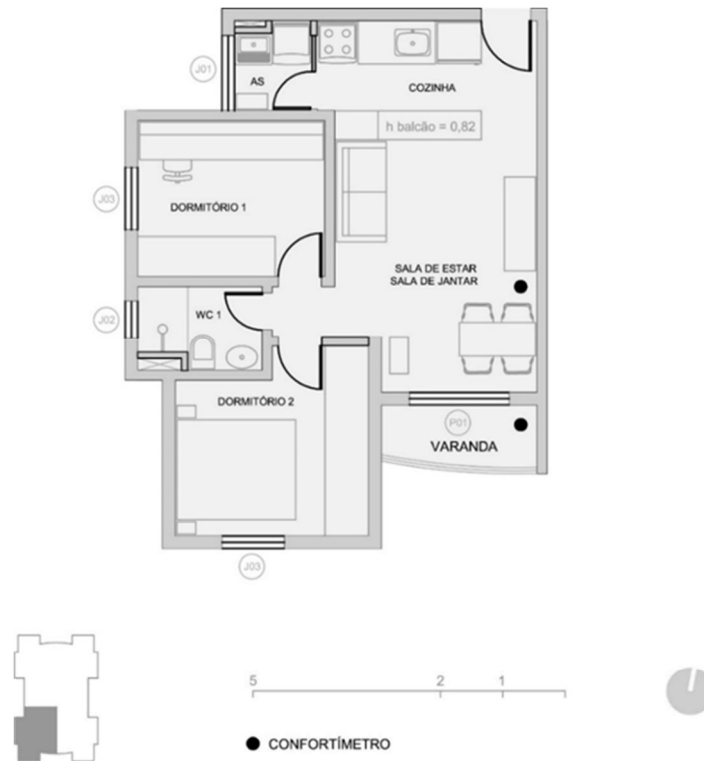


Figura A-188. Unidade Paraíso: implantação, características e fotos.



<p>P01</p> <p>140m x 2,10m</p>	<p>Porta de correr com 2 folhas deslizantes de vidro</p>	<p>J02</p> <p>0,60m x 0,60m</p>	<p>Janela maxim-ar de 1 folha</p>
<p>J01</p> <p>120m x 1,00m</p>	<p>Janela de correr de 2 folhas deslizantes de vidro com tela metálica fixa superior (ventilação permanente)</p>	<p>J03</p> <p>0,60m x 0,60m</p>	<p>Janela de correr de 1 folha deslizante de vidro e 2 folhas deslizantes metálicas (venezianas)</p>

		OCUPAÇÃO																								
Horário		0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	
Pessoa(s)	Estar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	2
	Dorm.2	2	2	2	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Equipamentos (que influenciam no estar)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	TV	TV	TV	TV	TV	TV	TV	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	fogão	fogão	-	-	-
Iluminação	Estar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24W	24W	24W	24W	24W
	Coz.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12W	12W	-	-	-
	Dorm. 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12W	12W
	Banh.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12W	-	-
Abertura janelas	Estar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0	0
	Dorms.	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,05	0,05
	AS	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	Banh.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Figura A-189. Unidade Paraíso: Planta, caixilharia e ocupação.

B. Unidade Barra Funda

O apartamento na Barra Funda é uma unidade residencial bastante ampla, com 127,65m² de área privativa, sendo 108,5 m² de área útil, localizada no 5º pavimento. Insere-se em um condomínio composto por 4 torres, com área de lazer completa, incluindo piscina, *playground*, churrasqueira, praça interna, entre outros. Cada torre tem 24 pavimentos, além de térreo e dois subsolos.

Os cômodos sala de estar/jantar, terraço e suíte estão voltados para a orientação predominantemente norte. A segunda orientação mais relevante da unidade é a oeste, para onde se voltam os outros dois dormitórios e também a cozinha e há uma terceira orientação, a de predominância sul, voltada para um nicho da implantação em formato “H” da torre, para onde se voltam área de serviço e *home office*.

O condomínio localiza-se próximo à estação intermodal da Barra Funda, no centro expandido da cidade de São Paulo. O entorno imediato é marcado pela presença de grandes galpões de baixa a altura, como o próprio terminal intermodal da Barra Funda, um grande supermercado, espaços de eventos e exposições e, a aproximadamente 300m de distância, o Memorial da América Latina. Além disso, há as altas torres do próprio condomínio, mais um edifício alto na esquina ao lado daquela do condomínio estudado. Há também algumas edificações de altura intermediária em relação às torres do condomínio, que se localizam nas proximidades e abrigam funções de serviço, a exemplo de ensino universitário. As imediações caracterizam-se, portanto, pela diversidade de usos. Há pouca vegetação nos arredores próximos e, nesse sentido, destaca-se a praça, ainda que pequena, em frente à estação Barra Funda. A paisagem é marcada por dois fortes elementos de circulação que são a linha férrea, que corre na superfície, e o viaduto Antártica (visível a partir do apartamento estudado), que é onde a Avenida Antártica e a linha férrea se cruzam (em desnível) (Figura A-190).

A planta original do apartamento é elaborada para conter 4 dormitórios, porém, a construtora já prevê a possibilidade de se desfazer de um deles para ampliação da sala de estar, sendo essa a opção da proprietária; portanto, o apartamento possui 3 dormitórios, sendo uma suíte com *closet*. Além do banheiro da suíte, há um banheiro para os outros dois dormitórios, um lavabo ligado à área social e um banheiro ligado à área de serviço. Neste apartamento, cozinha e área de serviço não são integradas, mas ligadas através de uma porta de passagem e possuem aberturas independentes para ventilação. Sala de estar e jantar são integradas formando um amplo espaço, especialmente pela ampliação resultante da integração da área do 4º dormitório o pé direito deste ambiente é de 2,70m. Além desses ambientes há um pequeno espaço, ligado às áreas de estar, para uso como escritório, denominado (pela própria divulgação do empreendimento) como *home office*. Verifica-se, por fim, um espaço bastante amplo caracterizado como uma varanda, denominado terraço, diretamente integrado às salas de estar e jantar através de uma grande porta envidraçada, e que se mantém contínuo até a face de onde seria o 4º dormitório, de modo que a abertura desse espaço liga-se diretamente ao terraço. Neste apartamento, a varanda foi fechada externamente por meio de caixilharia envidraçada e operável. Mais do que um ambiente de transição entre interno e externo (aberto, porém coberto) como é a concepção inicial das varandas (e até por isso não são incluídas no cálculo de área construída), o ambiente, tendo recebido o fechamento e o uso dado pelos moradores, acaba por ser principalmente utilizado como um ambiente interno, isolado das condições externas. Essa configuração para o uso das sacadas/terraços é cada vez mais comum e, ao mesmo tempo em que proporciona um aumento na área total do apartamento, especialmente

da área de estar, interfere no desempenho térmico das unidades, como será mostrado mais adiante neste trabalho. Quando do período de medição, a família que habita o apartamento estava em um período atípico, passando por mudanças, utilizado por 6 pessoas, de modo que 2 dormiam na suíte, uma em cada um dos outros dois dormitórios e outras 2 pessoas, na sala de estar. Durante o dia, a maior parte das pessoas saía da residência, porém duas delas permaneciam durante o dia todo (Figura A-191).



Unidade Barra Funda

Bairro Barra Funda (Centro Expandido)

Nº de dormitórios 3 / 1 deles é suíte

Orientação geográfica principal NORTE
sala de estar/jantar, varanda e suíte

Orientação geográfica secundária OESTE
dormitórios e cozinha

	127,6
Área privativa	5 m ²
Área útil	93,49 m ²
Sala estar/jantar	30,20 m ²
Suíte (com closet)	16,14 m ²
Dormitório 1	8,32 m ²
Dormitório 2	8,13 m ²
WC Suíte	3,48 m ²
WC1	1,40 m ²
WC2	2,88 m ²
Lavabo	1,52 m ²
Cozinha	9,24 m ²
AS	3,83 m ²
Home Office	4,20 m ²
Circulação	4,15 m ²
Varanda	15,00 m ²

Com fechamento envidraçado operável

Parades internas - 15 cm
Paredes externas - 25 cm

Paredes em bloco de concreto não estrutural.
Estrutura em pilares e vigas em concreto armado

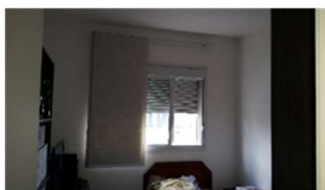


Figura A-190. Unidade Barra Funda: implantação, características e fotos.



P01 3,5m x 2,5m		Porta de correr com 4 folhas de vidro, sendo 2 delas deslizantes	J03 0,60m x 0,60m		Janela maxim-ar de 1fo lha
J01 120m x 100m		Janela de correr de 2 folhas deslizantes de vidro com tela metálica fixa superior (ventilação permanente)	J04 150m x 120m		Janela de correr de 2 folhas deslizantes de vidro com veneziana móvel integrada
J02 2,5m x 100m		Janela de correr de 4 folhas deslizantes de vidro com veneziana fixa metálica fixa superior (ventilação permanente)	J05 0,60m x 0,60m		Janela de correr de 2 folhas deslizantes de vidro com bandeira fixa inferior de vidro

		OCUPAÇÃO																									
		Horário	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	
Pessoas	Estar		2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6	6	6	6	6	0
	Suite		2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	Dorm.1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1
	Dorm.2		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1
Equipamentos (que influenciam no estar)			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	TV	TV	TV	TV	TV	TV	-	
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	PC	PC	PC	-	-	-	
Iluminação	Estar		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	48W	48W	48W	48W	48W	-	
	Dorm.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12W	-	
	Coz.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24W	24W	24W	-	-	
	Banh.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12W	-	-	-	
Abertura janelas	Estar		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	Dorm.		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	Coz.		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
	AS		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
	Banh.		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	

Figura A-191. Unidade Barra Funda: Planta, caixilharia e ocupação.

C. Unidade Raposo Tavares

O condomínio da unidade Raposo Tavares é composto por 3 torres de apartamentos com área de lazer incluindo piscina, academia, churrasqueira, entre outros, no bairro Jardim Esther Yolanda, localizado região oeste, fora do centro expandido da capital paulista, nas proximidades da Rodovia Raposo Tavares. O entorno próximo apresenta uma grande área verde, principalmente entre o condomínio e a Rodovia, algumas torres altas de edifícios circundantes ao condomínio e uma extensa área ocupada por edificações de baixa altura, sendo basicamente residências unifamiliares na direção do bairro e um motel com acesso a partir da Rodovia Raposo Tavares. A localização do condomínio marca a interface entre o bairro residencial, com circulação apenas local e a Rodovia Raposo Tavares, que tem fluxo intenso de veículos e uso diversificado (ainda que o condomínio não tenha acesso direto para a rodovia) (Figura A-192).

O apartamento estudado localiza-se no 13º pavimento da torre central, que possui 17 pavimentos, térreo e dois subsolos, e o apartamento estudado tem face principal voltada para a orientação leste (sala estar/jantar, terraço, dormitório 1 e face cega da suíte) e secundária para norte (suíte, dormitório 2 e área de serviço).

A unidade possui 92,8m² de área privativa, sendo 79,8m² de área útil. A planta original do apartamento é composta por 4 dormitórios, porém, os proprietários optaram por retirar um deles e, com isso, ampliar a sala de jantar. Portanto, são 3 dormitórios, sendo uma suíte. Um dos dormitórios localiza-se mais próximo à área das salas de estar e jantar e com janela voltada diretamente para o terraço (de modo que também se compõe como um ambiente que poderia ser facilmente integrado ao estar retirando-se as vedações). Além do banheiro da suíte, há também um banheiro social, próximo aos quartos e à sala. Ligado ao estar há um amplo terraço, que recebeu caixilharia envidraçada operável e cortinas rolô. A cozinha foi integrada às áreas de estar através da substituição da parede por um balcão, porém, foi instalada uma grande porta deslizante que possibilita o fechamento e a separação destes dois ambientes, o que acontece ocasionalmente. Adjacente à cozinha está a área de serviço, ambas separadas por uma porta de vidro com ventilação permanente. Há um pequeno ambiente adjacente à área de serviço, usado como dispensa. O pé direito do estar é de 2,65m. O apartamento é ocupado por um casal com uma filha e todos eles passam a maior parte do dia (manhã e tarde) fora do apartamento. Segundo relato dos moradores, o fechamento envidraçado da varanda é de fato operado para maior conforto dos usuários, sendo aberto durante os dias e noites de calor e mantido, na maior parte do tempo, fechado ou parcialmente fechado nos dias mais frios (Figura A-193).



Unidade Raposo Tavares

Bairro Jardim Ester (Fora do Centro Expandido)
 Nº de dormitórios 3 / 1 deles é suíte

Orientação geográfica principal **LESTE**
 sala estar/jantar, varanda, dormitório 1

Orientação geográfica secundária **NORTE**
 suíte, dormitório 2 e área de serviço

Área privativa	92,76 m ²
Área útil	69,44 m ²
Sala estar/jantar	26,51 m ²
Suíte	9,48 m ²
Dormitório 1	8,01 m ²
Dormitório 2	8,16 m ²
WC Suíte	2,62 m ²
WC1	2,48 m ²
Lavabo	1,61 m ²
Cozinha	5,79 m ²
AS	3,38 m ²
Circulação	1,41 m ²
Varanda	10,79 m ²

Com fechamento envidraçado operável

Parades internas - 11 cm
 Paredes externas - 18 cm

Paredes em bloco de concreto não estrutural (paredes internas e externas). Estrutura em pilares e vigas em concreto armado



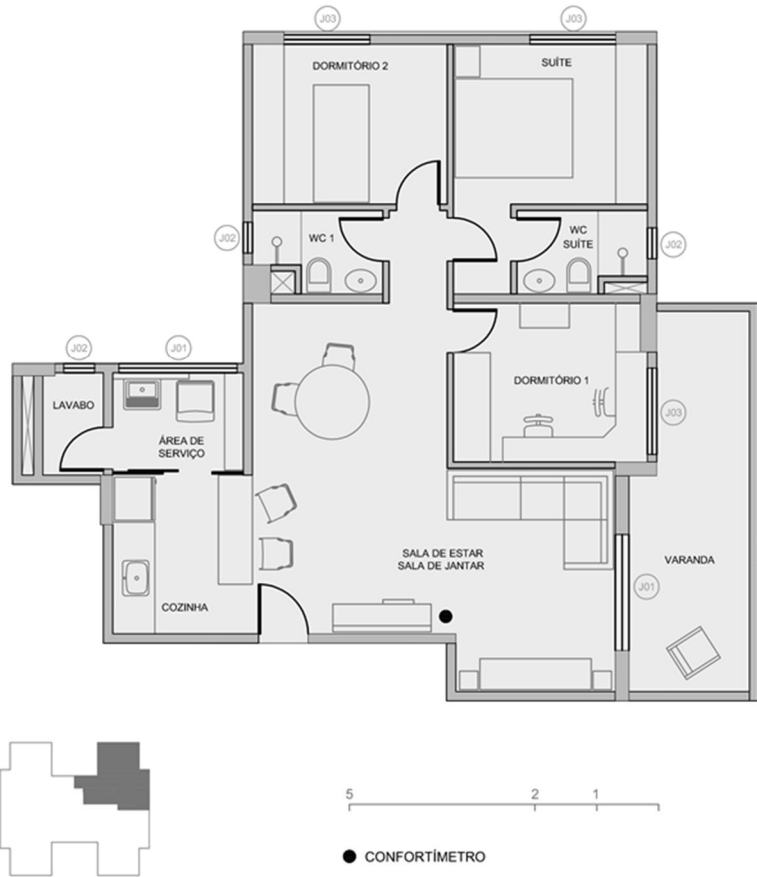








Figura A-192. Unidade Raposo Tavares: implantação, características e fotos.



P01 1,85m x 2,10m		Porta de correr com 2 folhas deslizantes de vidro	J02 0,50m x 0,50m		Janela maxim-arch de 1fo lha
J01 1,20m x 100m		Janela de correr de 2 folhas deslizantes de vidro com veneziana fixa superior (ventilação permanente)	J03 140m x 110m		Janela de correr com 1fo lha deslizante de vidro e 2 folhas deslizantes metálicas (venezianas)

		OCUPAÇÃO																									
		Horário	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	
Pessoas	Estar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	3	3	3	0
	Suíte	2	2	2	2	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	Dorm. 2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Equipamentos (que influenciam no)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	TV	TV	TV	TV	-	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	fogão	-	-	-	-	-
Iluminação	Estar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24W	24W	24W	24W	-	
	Suíte	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12W	12W	
	Dorm. 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12W	12W	
	Dorm. 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12W	12W	
	Coz.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12W	-	-	-	-	-
	Banh.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12W	-	-	-	-	-
Abertura janelas	Estar	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,50	0,50	0,50	0,50	0,08	0,08	
	Terraço	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,50	0,50	0,50	0,50	0,08	0,08	
	Dorms.	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,50	0,50	0,50	0,50	0,05	0,05	
	A.S.	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,55	0,55	0,55	0,55	0,05	0,05
	Banh.	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	

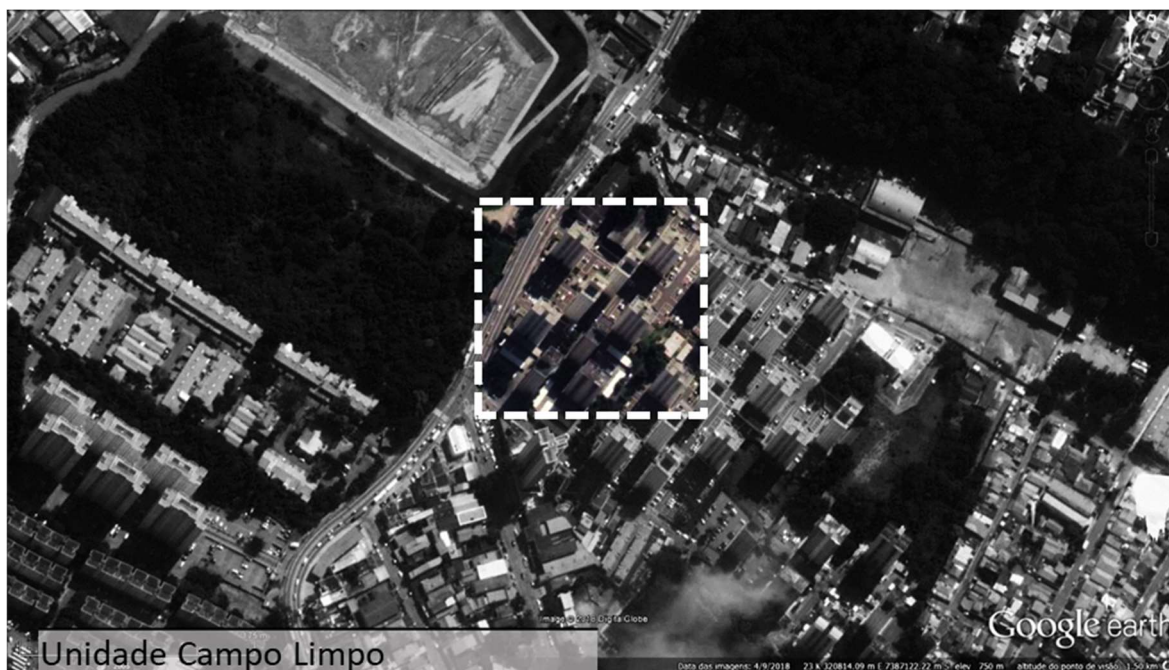
Figura A-193: Unidade Raposo Tavares: Planta, caixilharia e ocupação.

D. Unidade Campo Limpo (PMCMV)

O condomínio da unidade Campo Limpo foi construído através de financiamento federal via Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) e engloba 20 torres de apartamentos.

As proximidades do condomínio apresentam uso diversificado. Há, nas proximidades, além do condomínio onde se localiza a unidade estudada, outros também com torres de edifícios esparsas, além de trechos com edificações baixas e maior densidade e áreas não edificadas. Encontra-se vegetação nos arredores, tanto em glebas não edificadas, quanto em clubes esportivos e em condomínios. A unidade estudada se volta para a Estrada do Campo Limpo e, logo após este eixo viário há uma grande área não edificada e vegetada. O condomínio conta com área de lazer com diversos equipamentos como quadras de esporte, academia, churrasqueira, salão de festas e de jogos, entre outros, porém, não há piscina. As torres são compostas por 13 andares mais pavimento térreo. Não há subsolo e os carros são estacionados no térreo, na área livre entre as torres, sem cobertura sobre as vagas de estacionamento. O apartamento estudado localiza-se no 2º pavimento, voltado para a Estrada do Campo Limpo, sem torres obstruindo sua vista/insolação. O apartamento possui duas fachadas com aberturas para ventilação, sendo a principal, para onde se voltam o estar e o terraço, além da área de serviço, na direção noroeste e a secundária, para onde se voltam os dois dormitórios, na direção nordeste (Figura A-194).

O apartamento possui 53,0m² de área privativa, sendo 43,3m² de área útil. A unidade possui dois dormitórios e um banheiro, além de sala de estar integrada à sala de jantar e cozinha, esta última separada da área de serviço por uma porta de correr e a ventilação da cozinha é feita por esse ambiente. Há um pequeno terraço (1,85 m²), que não recebeu fechamento de vidro e, então, fica sempre aberto. O pé direito do estar é de 2,60m. O apartamento é ocupado por 4 pessoas, duas delas passam a maior parte do dia fora e as outras duas passam as tardes fora do apartamento (Figura A-195).



Unidade Campo Limpo

Bairro Jardim Umarizal (Fora do Centro Expandido)

Nº de dormitórios 2 / Nenhuma suíte

Orientação geográfica principal
sala estar/jantar, varanda, área de serviço

NOROESTE

Orientação geográfica secundária
dormitório1, dormitório2

NORDESTE

Área privativa 52,99 m²

Área útil 42,32 m²

Sala estar/jantar 13,36 m²

Dormitório 1 9,30 m²

Dormitório 2 7,63 m²

WC 2,06 m²

Cozinha 5,86 m²

AS 2,26 m²

Circulação 1,85 m²

Varanda 1,85 m²

Aberta (sem fechamento)

Parades internas - 12 cm

Paredes externas - 16,5 cm

Paredes em bloco de concreto não estrutural (paredes internas e externas). Estrutura em pilares e vigas em concreto armado.

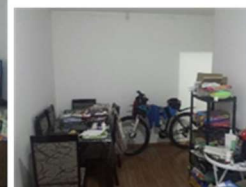
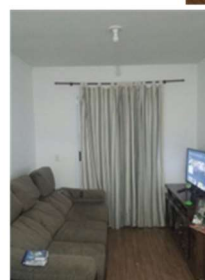
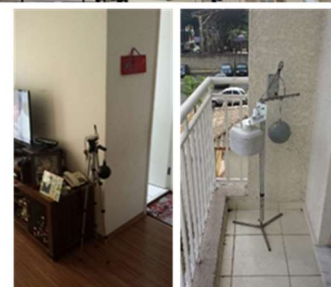
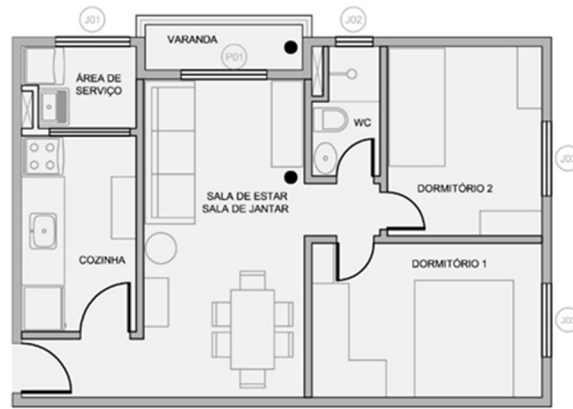


Figura A-194. Unidade Campo Limpo: implantação, características e fotos.



P01 140m x 2,10m		Porta de correr com 2 folhas deslizantes de vidro	J02 0,60m x 0,60m		Janela maxim-ar de 1 folha
J01 120m x 120m		Janela de correr de 2 folhas deslizantes de vidro com veneziana fixa superior (ventilação permanente)	J03 120m x 120m		Janela de correr com 1 folha deslizante de vidro e 2 folhas deslizantes metálicas (venezianas)

		OCUPAÇÃO																								
Horário		0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h	22h	23h	
Pessoa	Estar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	3	3	3	2	3	
	Dorm. 1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Dorm. 2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
Equipamentos (que influenciam no estar)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	TV	TV	TV	-	-	-	-	-	-	-	laptop	laptop	laptop	laptop	laptop	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	fogão	-	fogão	-	-	fogão
Iluminação	Estar	-	-	-	-	-	-	-	-	24W	24W	24W	24W	-	-	-	-	-	-	24W	24W	24W	24W	24W	24W	
	Dorm. 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25W	25W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25W	25W	
	Dorm. 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25W	-	-	
	Coz.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25W	-	25W	-	-	25W
	Banh.	-	-	-	-	-	-	-	25W	-	-	25W	-	-	-	-	-	-	-	-	25W	-	25W	-	-	25W
Abertura janelas	Estar	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	
	Dorms.	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,25	0,25	0,25	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,15	0,15	0,15	0,15	
	A.S.	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	
	Banh.	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	

Figura A-195. Unidade Campo Limpo: Planta, caixilharia e ocupação.

2. Medições das variáveis ambientais

Para as medições das variáveis ambientais de conforto térmico foram utilizados sensores e registradores de dados (*data loggers*) da marca Hobo.

Nos ambientes internos foram utilizados equipamentos do modelo HOB0® U12 Logger, que mede e registra as variáveis de temperatura e umidade relativa do ar e possui duas entradas para sensores externos. Foram, então, acoplados sensores para medição de velocidade dos ventos, Cambridge AccuSense F-900, e temperatura de globo, que utiliza o sensor TMCx-HD Water/Soil Temperature Sensor, envolto por globo de cobre com pintura negra e diâmetro 15cm, conforme ISO 7726.

Nas duas medições em ambientes externos foram utilizados equipamentos modelo HOB0® Pro v2 (U23-00x), que mede e registra as variáveis de temperatura e umidade relativa do ar, com proteção solar e sensor para medição de temperatura de globo modelo TMCx-HD Water/Soil Temperature Sensor (mesmo utilizado nas medições externas), com globo pintura cor cinza e diâmetro 15cm.

As medições ocorreram de 12 de abril a 19 de maio de 2016, sendo que o período de medições simultâneas em todas as unidades foi de 13 de abril a 02 de maio. O ambiente escolhido para realização das medições foi o estar de cada uma das residências e, em duas delas, em que a sacada não possui fechamento em vidro, também a sacada.

Os equipamentos foram posicionados sobre tripés. A altura aproximada dos sensores internos ficou em 110cm, o que corresponde à altura do abdômen de uma pessoa média (ISO 7726, 1998). Sua localização foi definida com a participação e consentimento dos voluntários em pontos que não prejudicassem a rotina dos residentes em suas habitações.

Os dados obtidos foram formatados e agrupados em planilha eletrônica e, posteriormente, foram gerados gráficos para melhor leitura e comparação.

A frequência de registro de dados foi a cada 30 minutos e as variáveis medidas foram: temperatura do ar (bulbo seco), temperatura de globo, umidade relativa do ar e velocidade do ar. A partir da temperatura de globo medida, obteve-se a temperatura radiante média, TRM, cujo cálculo foi realizado, de acordo com a norma ISO 7726, cujas equações respectivamente para convecção natural e convecção forçada são apresentadas respectivamente a seguir (ISO,1998).

$$t_{rm} = \left\{ (t_g + 273)^4 + \left[\frac{0,25 \cdot 10^8}{\epsilon_g} \right] \cdot \left(\frac{|t_g - t_{ar}|}{D} \right)^{\frac{1}{4}} \cdot (t_g - t_{ar}) \right\}^{\frac{1}{4}} - 273 \quad (11)$$

$$t_{rm} = \left\{ (t_g + 273)^4 + \left[\frac{(1,1 \cdot 10^8 \cdot v_{ar}^{0,6})}{(\epsilon_g \cdot D^{0,4})} \right] \cdot (t_g - t_{ar}) \right\}^{\frac{1}{4}} - 273 \quad (12)$$

Onde:

t_{rm} = temperatura radiante média, em °C;

t_g = temperatura de globo, em °C;

t_{ar} = temperatura do ar, em °C;

ϵ_g = emissividade do globo, adimensional;

D = diâmetro do globo, em m;

v_{ar} = velocidade do ar, em m/s.

3. Dados de condições ambientais externas (estações meteorológicas)

Posteriormente às medições foram coletados dados horários medidos no mesmo período de estações meteorológicas na cidade de São Paulo. São elas:

- Estação Meteorológica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP (IAG/USP). Localizada no Parque de Ciência e Tecnologia da USP, na Avenida Miguel Stéfano, 4200, Água Funda, zona sul de São Paulo. Coordenadas Geográficas: 23,65°S / 46,62°W. Altitude: 800m. Número na WMO: 83.004.
 - Sensor de medição de temperatura do ar e umidade relativa Aspiration Psychrometer 32, Assmann Type. Precisão nos registros de umidade relativa do ar: $\pm 1\%$; de Temperatura do ar: $\pm 0,1^\circ\text{C}$.
- Estação Mirante de Santana do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Localizada na Praça Vaz Guaçu, Jardim São Paulo, zona Norte de São Paulo. Número na WMO: 86.910;
 - Sensor de temperatura do ar QMT 103. Precisão: acima de $+0,08$ a 0°C ; Sensor de umidade relativa do ar QMH 101/102.
- Estação SBSP, no aeroporto de Congonhas, da Rede Metar, com dados obtidos para uso exclusivo em pesquisa junto ao Laboratório Master²⁸ do IAG/USP. O aeroporto de Congonhas se localiza na Av. Washington Luiz, zona sul da capital paulista.
 - Estação Vaisala SH95. Precisão das medições de Temperatura do ar: $\pm 0,1^\circ\text{C}$.

As estações do aeroporto de Congonhas e Mirante de Santana localizam-se, portanto, com entorno imediato em área descampada (aeroporto e praça) e em área urbana de adensamento intermediário (entorno próximo urbanizado e ocupado, porém, sem verticalização intensa). Por outro lado, a estação do IAG/USP, no Parque da Água Funda tem entorno imediato em área de Parque, com grande extensão localizado às margens da mancha urbana, em área de urbanização menos densa que a das demais estações.

Os dados obtidos junto ao laboratório Master, da estação SBSP, no aeroporto de Congonhas, possui diversas falhas (períodos sem dados registrados); esses períodos foram preenchidos para este trabalho através de interpolação com as medições adjacentes.

4. Análise dos dados medidos

Para fins de comparação e melhor compreensão dos dados coletados e para uma primeira leitura do desempenho térmico das unidades, os dados medidos foram plotados em gráficos, incluindo tanto as medições internas, nas salas de estar dos apartamentos da amostra, quanto as medições externas, nas varandas abertas de dois dos apartamentos, quanto os dados obtidos das estações meteorológicas. Esse trabalho permitiu uma primeira aproximação e leitura dos dados.

Algumas das principais observações que se extraiu desse estudo inicial dos dados mostram que os ambientes internos se mantêm com temperaturas mais estáveis que os externos e que as temperaturas registradas nos ambientes internos se aproximam das temperaturas externas

²⁸ Meteorologia aplicada a sistemas de tempo regionais. Disponível em: <http://www.master.iag.usp.br/>
Acesso em: 01/02/2017.

mais altas diárias. Nos períodos mais frios essa tendência é reforçada e nos períodos mais quentes, menos exacerbada.

Na unidade Raposo Tavares observa-se desempenho mais favorável ao conforto térmico, com predominância de temperaturas mais baixas que as demais unidades no período mais quente e de temperaturas mais altas, também em comparação com as demais unidades, no período mais frio. Por outro lado, a unidade Barra Funda apresentou as temperaturas internas mais altas no período mais quente, enquanto a unidade Paraíso apresentou temperaturas mais baixas no período mais frio.

Quanto às duas medições realizadas nas sacadas de apartamentos, na da unidade o Paraíso e na da unidade Campo Limpo, observam-se diferenças significativas entre os dados registrados: no caso das medições na unidade Campo Limpo, as temperaturas apresentam maior amplitude e destacam-se, principalmente, pelos picos de temperaturas altas diárias. Essas discrepâncias reforçam o caráter muito localizado dessas medições externas, muito influenciadas pela orientação solar e pelas características edifício e, em especial, do local onde foi posicionado o equipamento de medição, não caracterizando necessariamente, portanto, as condições microclimáticas do local. No caso da sacada do apartamento Campo Limpo, a orientação é noroeste, de modo que a porta envidraçada da sacada (na frente da qual foram posicionados os equipamentos de medição) recebe insolação direta no final da tarde; diferentemente, a sacada apartamento no Paraíso, que tem orientação sul e, no período de medições não recebeu insolação direta em momento algum do dia. A influência desses fatores se reflete nas medições, em que os dados assim obtidos no apartamento no Campo Limpo, ainda que o bairro não tenha uma urbanização tão intensa, revelou picos de temperatura no período da tarde consideravelmente maiores que os do Paraíso, que se localiza no centro expandido da metrópole.

As estações meteorológicas, por sua vez, como já observado em *3 Dados de condições ambientais externas (estações meteorológicas)*, possuem condição de implantação diferentes, em especial no caso da estação do IAG/USP, que fica em uma posição de menor interferência da malha urbana sobre o microclima do seu local de implantação. O que se observa reflete bastante as diferenças e semelhanças da implantação delas: dados registrados pelas estações do Mirante de Santana e da SBSP Congonhas muito semelhantes entre si; por outro lado, as maiores amplitudes térmicas diárias e, principalmente, menores temperaturas mínimas diárias, foram registradas pela estação do IAG/USP.

O gráfico contendo todo o período de medição dos dados de temperatura do ar, medidos em graus Celsius (°C), em todos os pontos, incluindo os dados das estações meteorológicas coletados, estão expostos na Figura A-196. Os dados medidos nas residências foram coletados no intervalo de 30 em 30 minutos e os dados obtidos das estações meteorológicas são horários. Para compatibilização dos dados para permitir sua plotagem em um mesmo gráfico, os dados das estações meteorológicas foram interpolados, para que apresentassem um valor a cada 30 minutos.

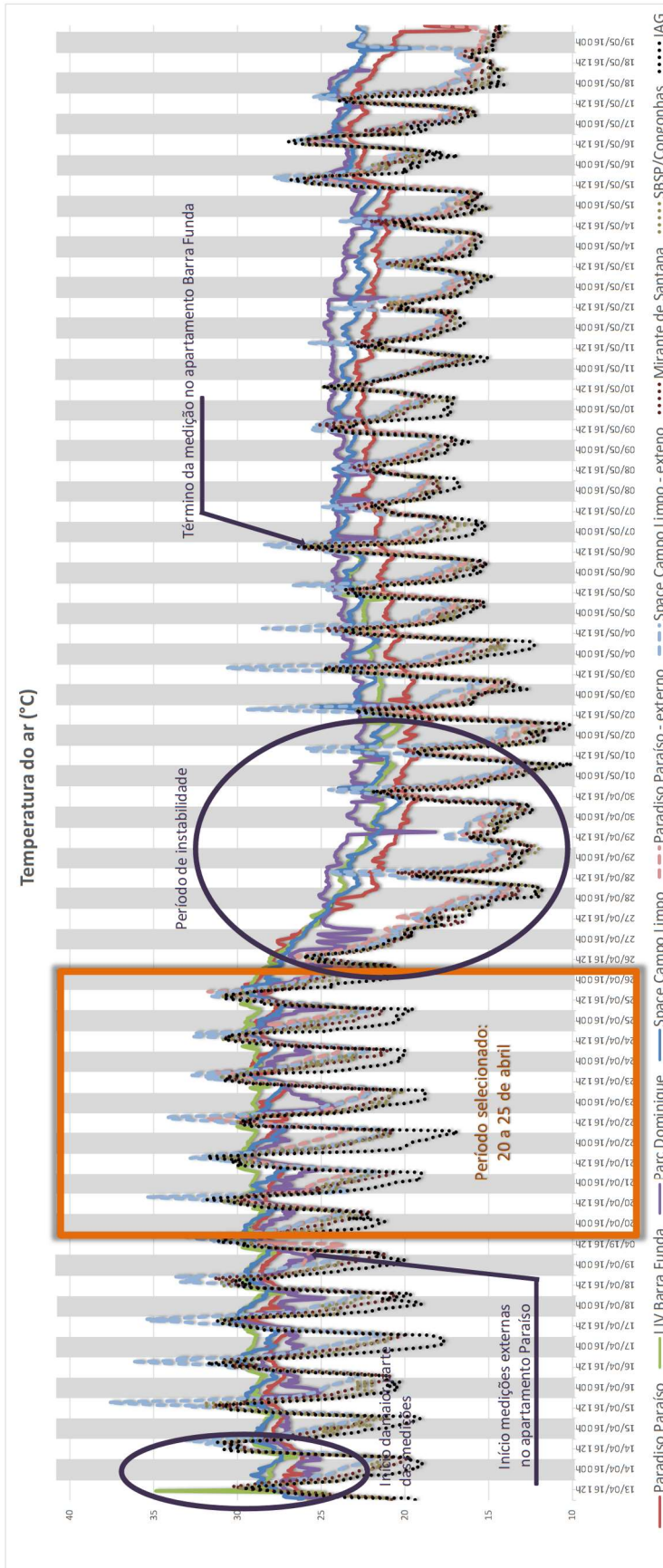


Figura A-196. Dados de Temperatura do ar medidos em todos os pontos e coletados das estações meteorológicas da cidade de São Paulo. O gráfico indica os principais pontos identificados que embasaram a seleção do período de uma semana para prosseguimento dos estudos e análises.

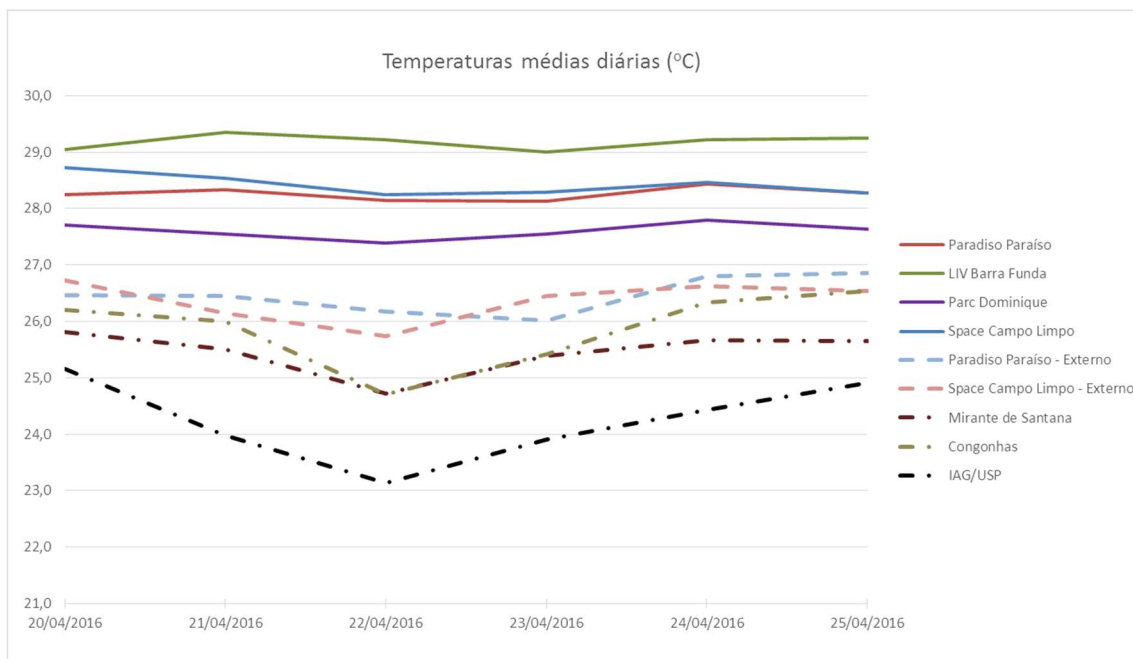


Figura A-197. Temperaturas médias diárias do período selecionado (20 a 25 de abril/2016) em todos os pontos medidos e também coletados de três estações meteorológicas da cidade de São Paulo.

As principais leituras preliminares realizadas podem ser confirmadas com o gráfico da Figura A-197, onde estão apresentadas as temperaturas médias diárias para cada uma das medições realizadas.

A partir desta primeira leitura dos dados, selecionou-se um período de uma semana (sete dias), para estudo e análise. Para esta seleção foram utilizados critérios como: medição simultânea em todos os pontos e período com condições de tempo mais estável. Portanto, o período selecionado compreende os dias de 20 a 25 de abril, reflete o período de maior estabilidade e também faz parte do período mais quente da medição, conforme indicado na Figura A-196.

A Figura A-198 apresenta Temperatura do ar (em °C), que inclui dados medidos internamente aos apartamentos, nas sacadas de dois dos mesmos e também das estações meteorológicas e, no qual destaca-se a maior amplitude de valores registrados na estação do IAG/USP, as temperaturas mais altas na sacada da unidade Campo Limpo e as temperaturas médias interiores mais altas na unidade Barra Funda e mais baixas na unidade Raposo Tavares.

A Figura A-199 apresenta umidade relativa do ar (em %), nos mesmos locais da figura anterior, que se relaciona diretamente e, de modo inverso, às medições de temperatura do ar.

A Figura A-200 apresenta as medições de velocidade do ar (em m/s) no interior dos apartamentos medidos, medição que está diretamente relacionada à permeabilidade do ar no interior dos apartamentos e, por isso, em grande parte, à operação das aberturas pelos usuários.

A Figura A-201, por sua vez, representa os valores de Temperatura Radiante Média (TRM) calculados para o interior dos apartamentos medidos e obtidos através de cálculos realizados de acordo com as Equações 1 e 2.

A Figura A-198 reforça as observações iniciais já expostas de que, neste período, a unidade Barra Funda apresentou temperaturas mais altas (tanto temperatura do ar quanto TRM) e, conseqüentemente, apresentou valores de UR um pouco mais baixos que os demais apartamentos e valores baixos para os dados de velocidade do ar. Sua ocupação é a mais intensa

dentre os apartamentos estudados, com presença constante de pessoas ocupando o apartamento (ainda que o número seja variado) e também se registrou que geralmente cozinham no almoço.

Do mesmo modo, a unidade Raposo Tavares apresentou as temperaturas mais baixas (tanto temperatura do ar quanto TRM) e destacam-se os valores medidos de velocidade do ar, em que este apartamento apresenta, com frequência, valores mais altos que os demais. Esta última variável, como já observado, relaciona-se com abertura e fechamento de janelas e portas e coincide com a entrevista realizada com os moradores, que declaram operarem frequentemente os dispositivos, abrindo quando sentem calor e fechando nos períodos frios.

As unidades Paraíso e Campo Limpo apresentam valores de temperatura do ar intermediários com relação aos demais. São os dois menores entre os apartamentos estudados, ambos com varandas sem fechamento externo envidraçado. Suas orientações geográficas são bastante distintas, sendo que a unidade Paraíso tem a varanda voltada para sul, enquanto a unidade Campo Limpo para Noroeste, o que se reflete nos valores de temperatura radiante média mais altos encontrados no Campo Limpo. Do mesmo modo, nesta unidade registraram-se valores significativamente maiores de temperatura do ar.

Das leituras conjuntas das variáveis medidas com a caracterização dos apartamentos, principalmente orientação geográfica dos ambientes medidos, não foi possível encontrar uma relação clara entre ambos. Se, por um lado, poder-se-ia esperar que a unidade Barra Funda, por apresentar maiores espessuras de paredes externas (25cm), e a orientação geográfica Norte, além de maior área, seu desempenho foi o pior para o período, considerado quente para a cidade de São Paulo, apresentando também as maiores temperaturas internas. Curiosamente este apartamento apresenta também uma grande varanda, de 15m², que poderia ser um elemento de transição entre os meios e climas externo e interno; porém, o fechamento envidraçado, ainda que operável, fica, na maior parte do tempo, fechado, fator que certamente influencia no desempenho térmico do apartamento. Curiosamente, no período em que houve a instabilidade climática com redução das temperaturas, este apartamento assume uma posição intermediária com relação aos demais e não é o mais quente deles (como poderia se esperar pela insuficiente operação das aberturas e pela massa térmica das paredes externas mais espessas e pela grande área interna da unidade).

Por outro lado, e realizando uma leitura similar, o apartamento com melhor desempenho, a unidade Raposo Tavares, apresenta varanda com orientação Leste e menor área que o apartamento anterior. A varanda também é generosa e com fechamento em vidro, porém, a operação dela pelos moradores é realizada com mais frequência e de forma mais adequada.

Quanto às medições externas de temperatura, a diferença significativa entre os dois pontos medidos pode ser interpretada através da sua implantação. Se, por um lado, a varanda da unidade Paraíso volta-se para a direção Sul, direção que neste período do ano e nesta latitude não recebe insolação direta, a varanda da unidade Campo Limpo volta-se para Noroeste, de modo que recebe insolação direta (não há barreiras em frente à varanda) no período da tarde, o que é refletido nos picos de temperaturas máximas registrados nesse ponto. As temperaturas mínimas, que também são menores na varanda da unidade Campo Limpo que na da Paraíso podem ser reflexo da localização de ambos, sendo que o bairro do Paraíso está em uma região mais central, mais adensada e menos verde da cidade de São Paulo e, portanto, mais sujeita aos fenômenos de aquecimento urbano e, por isso, as mínimas registradas não são tão baixas.

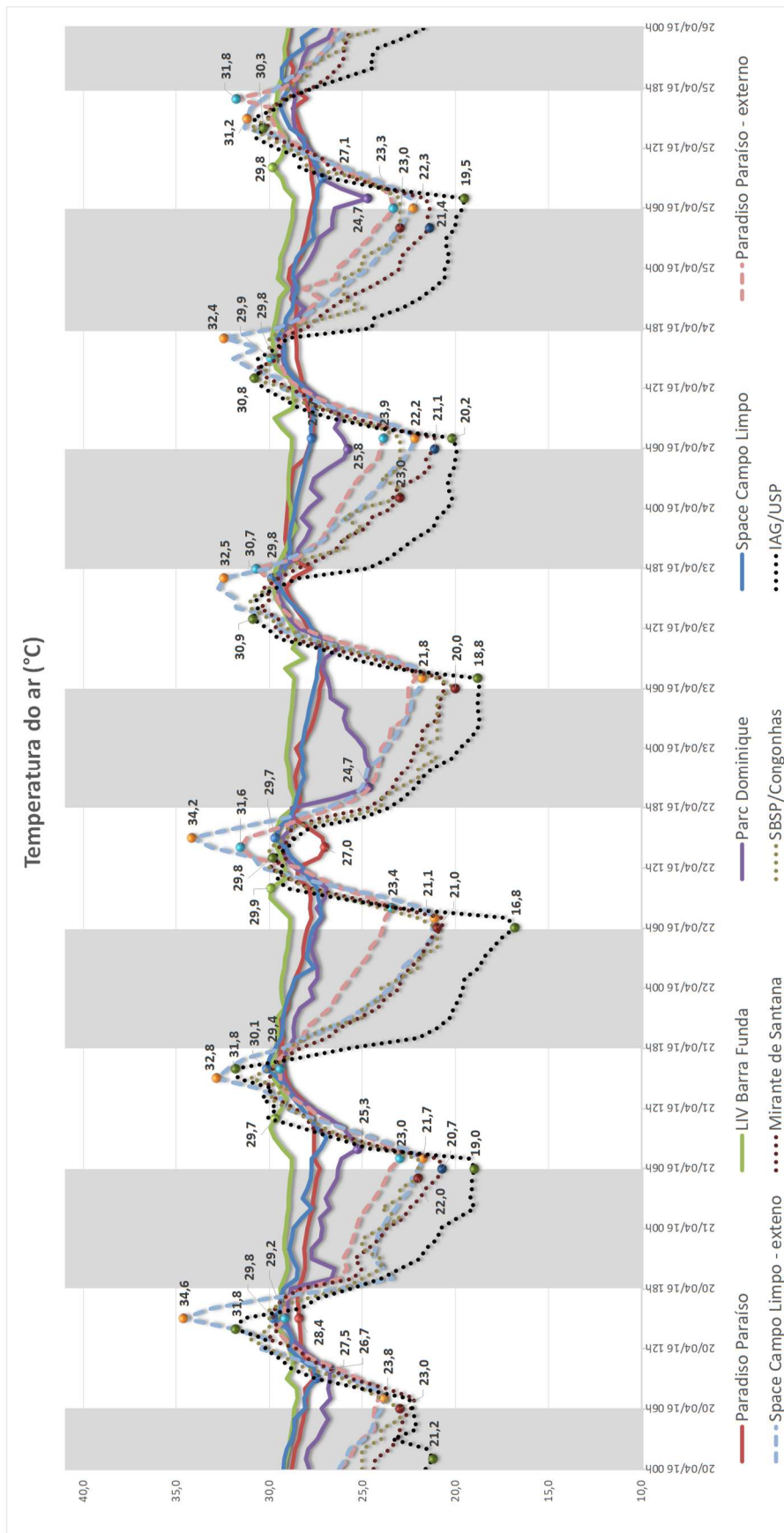


Figura A-198. Dados de temperatura do ar (em °C) medidos na amostra selecionada de residências e coletados das estações meteorológicas.

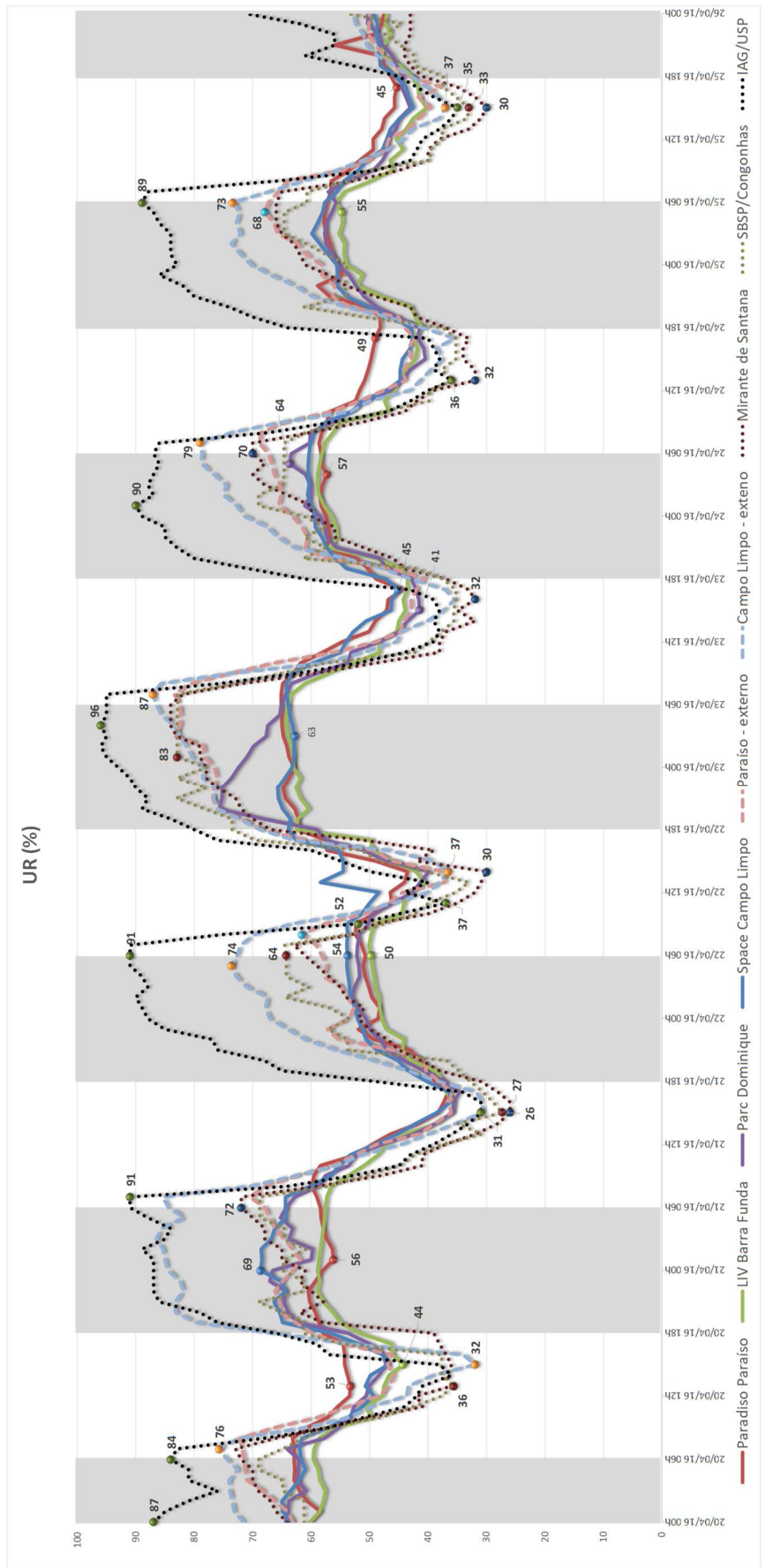


Figura A-199. Dados de umidade relativa do ar (em %) medidos na amostra selecionada de residências e coletados das estações meteorológicas.

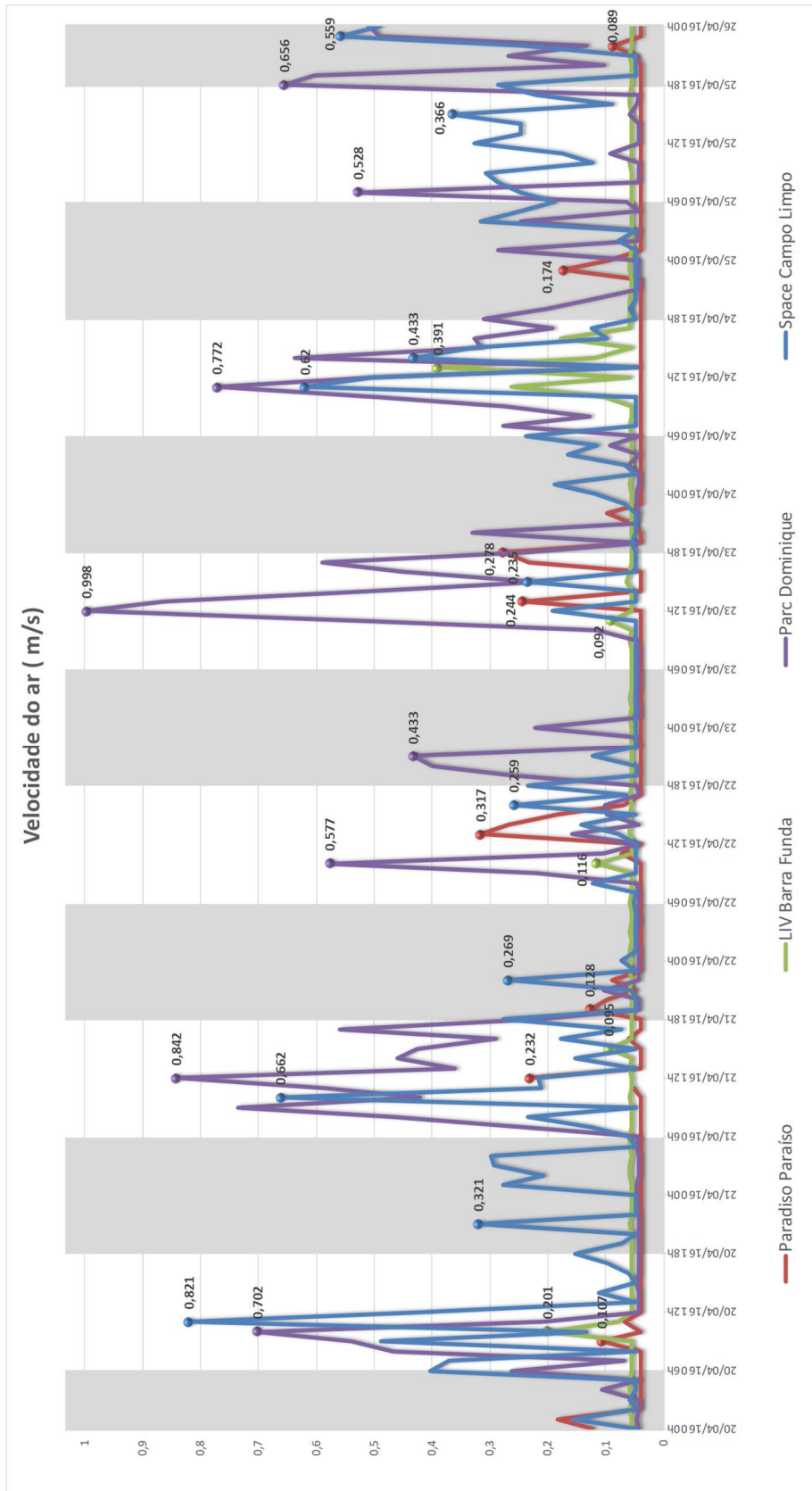


Figura A-200. Dados de velocidade do ar (em m/s) medidos internamente na amostra selecionada de residências.

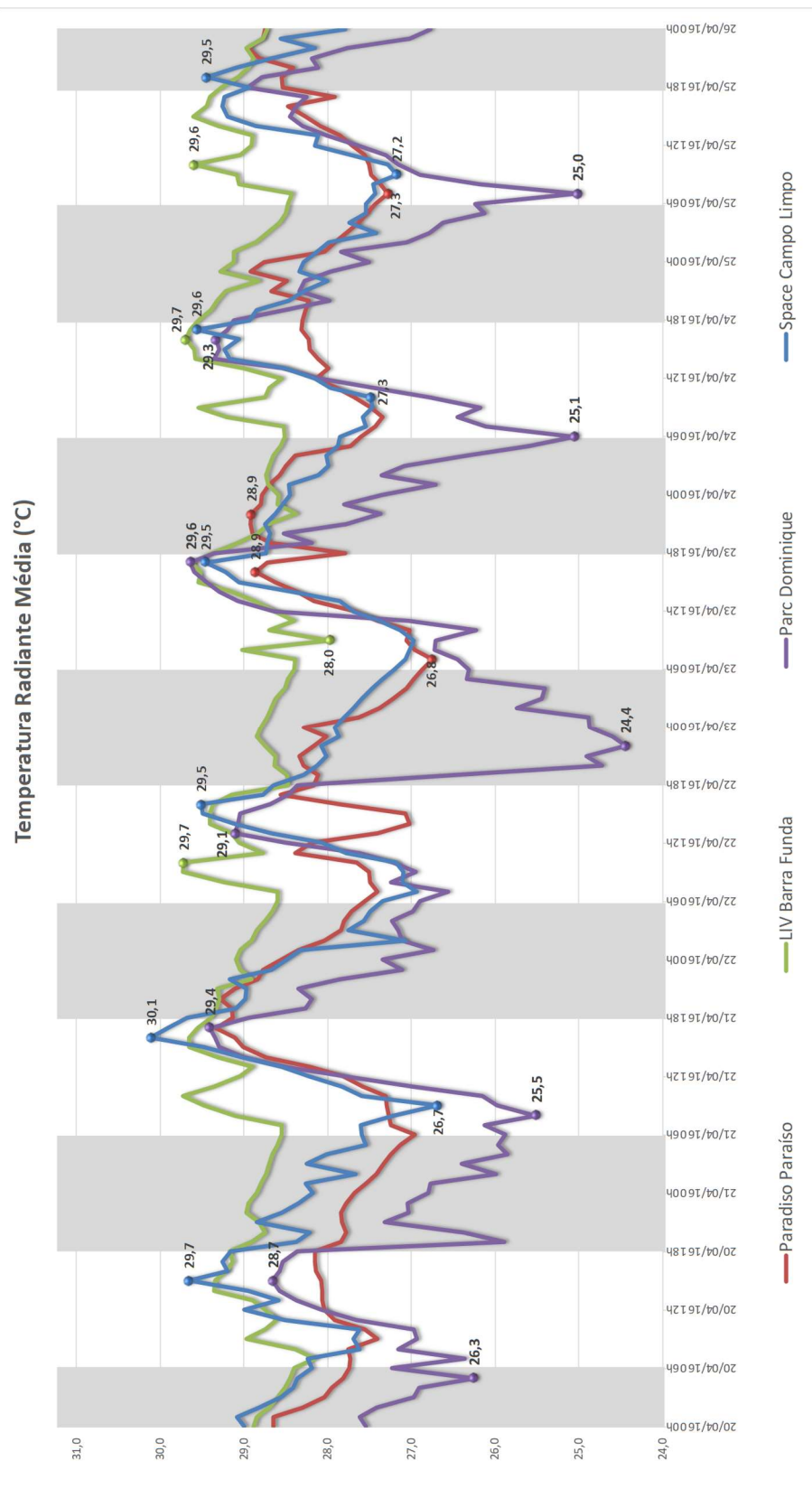


Figura A-201. Dados de temperatura radiante média (em °C), calculados a partir da temperatura de globo medida na amostra selecionada de residências e coletados das estações meteorológicas.

5. Comentários Finais

Das unidades levantadas é possível se fazer algumas observações. De início, nota-se que, em geral, os ambientes dos apartamentos são pequenos (a exemplo dos dormitórios que, frequentemente não conseguem bem acomodar sequer uma cama de casal e uma mesinha de cabeceira). Correntemente é oferecida a opção de ampliação da sala de estar através da supressão de um dos dormitórios para integração dos espaços. Em grande parte dos apartamentos, especialmente os menores, de até dois dormitórios, cozinha e lavanderia são integradas, de modo que há, no máximo, uma caixilharia separando ambos e a ventilação da cozinha é feita através da janela da área de serviço.

É notória a presença das grandes varandas, popularizadas como terraços *gourmet*, nos apartamentos maiores e de padrão um pouco mais elevado, sistematicamente incorporadas ao estar, muitas vezes com o piso já nivelado, de certa forma já prevendo ou mesmo incentivando o fechamento delas.

Da materialidade das vedações, observa-se amplo predomínio de alvenaria de blocos de concreto (estrutural ou não). As vedações internas também são predominantemente constituídas de alvenaria de bloco de concreto, porém, com menores espessuras; verifica-se, também, presença de divisórias de *drywall* utilizando gesso acartonado.

Da leitura das medições realizadas, depreende-se a importância da operação das aberturas. O clima de São Paulo, em geral, é ameno e a carga térmica em ambientes residenciais é relativamente baixa, de modo que, nos períodos quentes, o aumento das aberturas com consequente incremento da ventilação possibilita remoção de carga térmica e, do contrário, nos dias frios, o fechamento das aberturas possibilita a retenção de carga térmica, gerando condições mais favoráveis aos usuários. A tendência de fechamento das varandas pode tanto atuar como uma vilã do conforto térmico assim como favorecer as condições internas, a depender do uso e operação que é feita delas. Esta afirmação pode ser verificada nos dois casos levantados onde esta situação ocorre (Barra Funda e Raposo Tavares) e também foi verificada em Liao (2015). A tendência de se utilizar esses espaços como um prolongamento da área social e sua ocupação como um dos espaços fechados do apartamento acabam por inviabilizar seu aproveitamento como um importante elemento de transição; além do que, é comum que haja aberturas, por exemplo de um dormitório, voltada para esta varanda fechada, o que pode mesmo inviabilizar a ventilação de certos ambientes. Deste modo reforça-se a importância, não só de oferecer mecanismos e opções de uso e operação, como de informar e treinar os usuários.

As medições realizadas externamente, nas varandas das duas unidades em que não há fechamento envidraçado nas varandas indicam tanto a importância da orientação geográfica, ao resultar em maiores temperaturas radiantes médias e, consequentemente maior desconforto por incidência direta da radiação solar, quanto a interferência da morfologia urbana na amplitude de temperaturas externas, tendo em vista que a unidade localizada no centro expandido de São Paulo, em uma das centralidades da cidade apresentou menores amplitudes diárias de temperatura que aquela situada em região mais distante deste centro, em área mais aberta e com mais área de vegetação e impermeabilização do solo. Estas observações são reforçadas pela observação e comparação entre os dados das estações meteorológicas confrontados com as características do local em que cada uma delas se implanta.

Os casos reais estudados, tanto aspectos físicos, quanto de uso, ocupação e desempenho são parâmetros e pontos de partida para a compreensão do mercado imobiliário e para a elaboração do modelo de apartamento para as simulações computacionais.

Referências Bibliográficas

1. ALAS, Paulo. **O fenômeno dos supercondomínios: verticalização na metrópole paulistana no início do século XXI**. 2013. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2013.
2. ALVES, Carolina Abrahão. **Resiliência das edificações às mudanças climáticas na Região Metropolitana de São Paulo**. Estudo de caso: desempenho térmico de edifícios residenciais para idosos. 2014. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2014.
3. ALVES, Carolina Abrahão, DUARTE; Denise H. Silva; GONÇALVES, Fábio L. Teixeira. Residential Buildings' Thermal Performance and Comfort for the Elderly under Climate Changes Context in the city of São Paulo, Brazil. **Energy and Buildings**, v.114, p. 62-71, 2016.
4. ALVES, Carolina Abrahão, TATEOKA, Suzana S.; DUARTE, Denise H. Silva; GONÇALVES, Fábio L. Teixeira. Thermal Comfort in Residential Buildings for the Elderly under Climate Changes Context. 30th International PLEA Conference: Sustainable Habitat for Developing Societies Choosing the way forward December 16 -18, 2014: **Proceedings**, Ahmedabad, 2014.
5. ALVES, Carolina Abrahão, TATEOKA, Suzana S.; DUARTE; Denise H. Silva; GONÇALVES, Fábio L. Teixeira. Thermal performance and comfort in traditional residential buildings for the elderly under climate changes context. Third International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island, October 13-15, 2014, **Proceedings**, Venice, 2014.
6. ALVES, Carolina Abrahão; DUARTE, Denise H. Silva; GONÇALVES, Fábio L. Teixeira. Resiliência das edificações às mudanças climáticas na Região Metropolitana De São Paulo. Parte 2: estudo de caso - desempenho térmico de edifícios residenciais para idosos. **XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído**, Campinas: PUCCAMP, 2015. ISSN: 2175-6333.
7. ALVES, Carolina Abrahão; DUARTE; Denise H. Silva; GONÇALVES, Fábio L. Teixeira. Resiliência das edificações às mudanças climáticas na Região Metropolitana De São Paulo. Parte 1: revisão crítica e contextualização. **XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído**, Campinas: PUCCAMP, 2015. ISSN: 2175-6333.
8. CRAWLEY, Drury B. **Estimating the impacts of climate change and urbanization on building performance**. Journal of Building Performance Simulation, v 1:2, p. 91-115, 2008.
9. EMPRESA BRASILEIRA DE ESTUDOS DO PATRIMÔNIO S/C LTDA. (EMBRAESP). **Relatório Anual 2014**. Informativo imobiliário EMBRAESP. São Paulo: EMBRAESP, 2015.
10. GOOGLE. **Google Earth**. Versão 7.1.1.1871. Ano 2013. Acesso em: 05/01/2017.

11. ISO (International Organization for Standardization). **ISO 7726: Ergonomics: instruments for measuring physical quantities**. Genève: ISO, 1998.
12. LIAO, Jennifer W. L. **Balconies as outdoor living spaces in high-rise buildings in São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Architectural Association School of Architecture, Open University, Londres, 2015.
13. LIMA, Luciano Gouveia Braga de. **Efeitos da expansão do crédito imobiliário sobre a produção habitacional privada em São Paulo – 2005 a 2011**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2015.
14. MEYER, João; CAMPOS, Ana Cecília; QUEIROGA, Eugênio; GALENDER, Fany; DEGREAS, Helena; MACEDO, Sílvio; AKAMINE, Rogério; CUSTÓDIO, Vanderli. Incorporações residenciais verticais em São Paulo. **Conferência Internacional PNUM 2013** - Forma Urbana nos Territórios de Influência Portuguesa Análise, Desenho, Quantificação. Anais. Coimbra, 2013. Disponível em: http://www.dec.uc.pt/~pnum2013/Proceedings_PNUM2013.pdf. Acesso em: abril/2013.
15. MEYER, João F. P.; HADDAD, E. . Notas sobre os lançamentos de condomínios clube verticais em São Paulo.. VII Colóquio QUAPÁ SEL - Anais, 2012, Campo Grande - MS. VII Colóquio QUAPÁ SEL - **Anais**, Campo Grande, MS, 29 e 30 de outubro de 2012. São Paulo: QUAPA, 2012. v. 1. p. CD-Rom-CD-Rom.
16. SÃO PAULO. **Lei de Uso e Ocupação do Solo**. Lei Municipal 13.885 de 2004.
17. TEIXEIRA, C. A. ; INVIDIATA, A. ; SORGATO, M. ; MELO, A. P. ; FOSSATI, Michele ; LAMBERTS, R. . **Levantamento das características de edifícios residenciais brasileiros**. (Relatório de pesquisa). 2015. Disponível em: http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Relatorio_TipologiasResidenciais.pdf. Acesso em: 10 jan. 2017.

Apêndice B -

Simulação de uma unidade real e comparação dos resultados com as medições

Foi escolhida uma das unidades residenciais levantadas para a realização de simulação, comparação dos resultados com os dados medidos e a busca por resultados que respondam de maneira verossímil ao comportamento térmico de uma unidade real.

O modelo de simulação computacional utilizado é o Tas (*Thermal Analysis Simulation Software*), da EDSL (*Environmental Design Solutions Limited*). O software adota o método da simulação dinâmica de desempenho térmico de edifícios. Utiliza arquivos climáticos (no formato TWD) anual com intervalo de tempo horário e fornece resultados para esse mesmo intervalo temporal.

Para esse estudo selecionou-se a unidade Paraíso. Ela foi modelada no TAS *3D Modeller*, a ferramenta de elaboração de modelo físico do Tas. Em seguida o modelo foi exportado para o TAS *Building Simulator*, a ferramenta de parametrização e cálculo da simulação de desempenho térmico. Os resultados puderam ser posteriormente observados através do Tas *Results Viewer*.

Foi elaborado um esquema simplificado de cargas térmicas baseado no levantamento apresentado no Apêndice A (Apartamentos do mercado imobiliário recente e seu desempenho térmico: estudos de caso) para inclusão na simulação térmica, conforme segue.

Tabela B-39. Cargas térmicas consideradas na simulação computacional do apartamento Paraíso.

Apartamento Paraíso							Total					
Ambiente	Fonte	Horário	Potência (W)	Carga (W)	áreas (m ²)	W/m ²			19 às 23h	23 às 19h		
estar	1 LED	19 às 23h	24	24*	15,01	1,60	Ilum. Sens.		1,60	0,00		
									16 às 23h	23 às 16h		
	1 TV	16 às 23h	90	54*		3,60	Equip.		3,60	0,00		
									15 às 20h	20 às 23h	23 às 15h	
	1 pessoa	15 às 20h		63 sens. 52 (lat)		4,20	Pessoas sensível		4,20	8,39	0,00	
	2 pessoas	20 às 23h		126 sens. 104 (lat)		3,46						
							8,39	Pessoas latente	3,46	6,93	0,00	
							6,93					
									7 às 23h	23 às 7h		
dorm. 2	2 pessoas dormindo	23 às 7h	80 sens.	80 (lat)	8,60	9,30	P.sensível	0,00	0,00	9,30		
			80 (lat)			9,30	P.latente	0,00	0,00	9,30		
							24h/dia					
coz/AS	geladeira	24h	120	30**	3,82	7,85	Eq.sensível	7,85				

* Adoção do critério de que 60% da potência nominal dos aparelhos elétricos (exceto aqueles cuja função seja aquecimento) é cedida ao ambiente como calor. (FROTA, SCHIFFER, 2003).

** Por ter, a geladeira, uma função térmica, entende-se que 100% da potência do equipamento, quando ligado, é cedida como calor ao ambiente. Foi estimado que ela estaria ligada 25% do tempo e, por isso, foi considerado que, a cada hora, é esse o percentual da potência cedido como calor ao ambiente.

As cargas térmicas de uma residência, porém, especialmente quando ocupada por apenas um casal que permanece fora dela na maior parte do dia, são consideradas baixas.

Para simulação da ventilação, o software pode trabalhar de duas maneiras: é possível informar o quanto das aberturas, em porcentagem, é mantido aberto (o que pode ser especificado para cada horário do dia ou em função de algum outro parâmetro, como, por exemplo, temperatura do ar externo), ou através da informação da taxa de ventilação (que pode ser em quilogramas por segundo, kg/s, ou em renovações de ar por hora, R/h).

O modelo elaborado baseado na unidade real foi então parametrizado variando-se e combinando-se alguns parâmetros:

- Arquivo climático: procurou-se representar da melhor maneira possível o clima ao qual o apartamento estaria exposto no momento das medições. Entende-se que, levando-se em conta o aquecimento global em curso, inequívoco tendo em vista os dados medidos, dentre os arquivos climáticos empregados neste trabalho, aquele que melhor representa o momento presente é o “Futuro Próximo”; resta, porém, a questão sobre utilizar ou não o arquivo climático que, além de retratar o aquecimento global também incorpore o efeito da ilha de calor pois a localização do edifício, apesar de centro expandido da cidade de São Paulo, não conta com entorno imediato verticalizado. Deste modo foram testados os arquivos climáticos Futuro Próximo e Futuro Próximo + ICU.
- Inclusão ou não de carga térmica: as cargas térmicas internas são baixas e, com base em experiências anteriores, percebe-se que o efeito da inclusão de carga térmica não é muito verossímil, pois a inclusão de carga térmica frequentemente resulta em picos de temperatura e em efeito que muitas vezes parece superestimado. Uma possibilidade é que a complexidade do ambiente interno de um edifício não é representado na simulação computacional, pois há diversos elementos (a exemplo do mobiliário) que funcionam como elementos de inércia térmica e que não são representados na simulação computacional termodinâmica.
- Taxas de ventilação: ainda que se saiba o horário aproximado de abertura das janelas pelos usuários do apartamento quando das medições (das 15h às 23h), não se sabe as taxas de renovação em seu interior; do mesmo modo, no caso de abertura de janelas, não é possível saber se o arquivo climático utilizado corresponde aos ventos que atingiram o edifício no período da medição, desse modo foram feitos alguns testes de ventilação:
 - Taxas de renovação constantes: 2, 4 e 10 renovações por hora, 24 horas por dia;
 - Taxas de renovação de 2, 4 e 10 renovações por hora no período esperado de abertura das janelas (das 15 às 23h) e 0,5 renovação por hora nos demais horários, correspondente à infiltração pelas frestas das aberturas.
 - Abertura de janelas com apenas infiltração em todas elas (porta da sacada do estar, janela do serviço e janelas dos dormitórios), correspondente a 1% do vão total das mesmas.
 - Abertura de 10% e 50% do vão da porta da sacada do estar durante 24 horas por dia e apenas infiltração nas demais janelas;
 - Abertura de 10% e 50% do vão da porta da sacada do estar no período das 15 às 23h e apenas infiltração nas demais janelas.

Os resultados das simulações realizadas foram comparados com os valores medidos. Para isso buscou-se dias com temperaturas do ar semelhantes àquelas registradas na estação do aeroporto de Congonhas (mesma fonte de dados do arquivo climático base da elaboração dos demais arquivos climáticos utilizados nesta tese (ALVES, 2014; ALVES *et al.* 2016)) em ambos os arquivos climáticos. Foram selecionados os dias 6 a 8 de março do arquivo climático. Dos

dados medidos, foram escolhidos os dias 18 a 20 de abril/2016, por se tratar de dias de tempo estável e serem dias úteis, quando a ocupação do apartamento e a operação das janelas são mais previsíveis. Na comparação de dados simulados e medidos há que se considerar que, ainda que com temperaturas semelhantes, os dias comparados não exatamente são iguais.

O dado utilizado para a comparação entre simulação e as medições na unidade real foi a temperatura operativa, TO. A TO é definida, de acordo com a norma ISO 7726 como a temperatura uniforme de um recinto em que um ocupante trocava a mesma quantidade de calor por radiação mais convecção que no ambiente real, não uniforme. O seu cálculo é feito utilizando os dados de temperatura do ar (Ta) e temperatura radiante média (TRM). Esta variável foi escolhida por representar a temperatura percebida por uma pessoa de maneira mais verossímil do que apenas temperatura do ar ou a temperatura radiante média. Segue o equacionamento (ISO, 1998):

$$TO = A * ta + (1 - A)TRM \quad (6)$$

(Ta = temperatura do ar / Trm = temperatura radiante média)

O valor de A é encontrado em função da velocidade do ar (Var), em metros por segundo (m/s)
(

Tabela B-39):

Tabela B-40. Valor de A em função da Var. (ISO, 1998)

Var	0,2	0,2 a 0,6	0,6 a 1,0
A	0,5	0,6	0,7

As Figura B-202, Figura B-203, Figura B-204 e Figura B-205 apresentam os resultados das simulações com taxas de renovação definidas na parametrização:

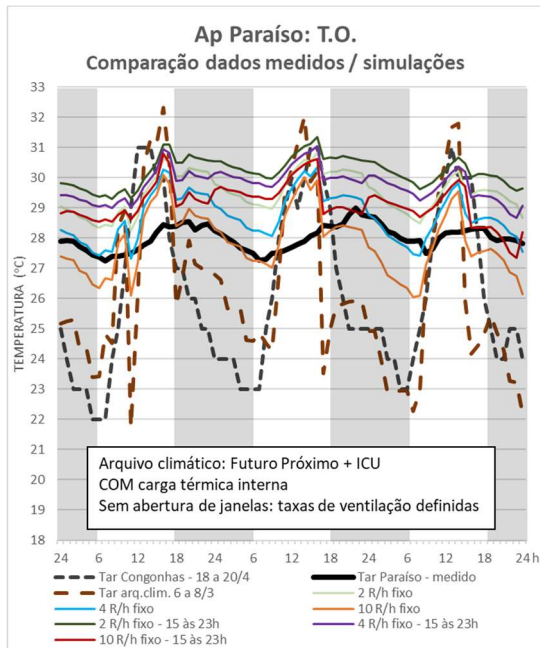


Figura B-202. Gráficos de temperatura do ar externo e temperatura operativa para comparação entre dados medidos e simulados na unidade residencial Apartamento Paraíso. Arquivo climático Futuro Próximo + ICU; com inclusão de carga térmica interna e com taxas de ventilação definidas na parametrização da simulação.

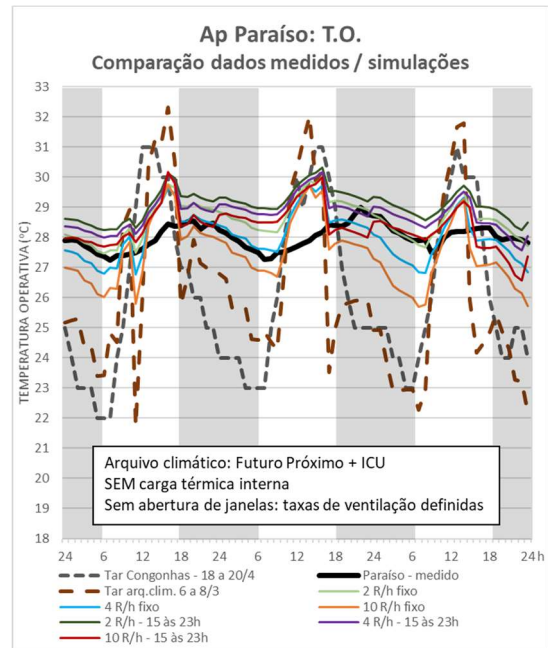


Figura B-203. Gráficos de temperatura do ar externo e temperatura operativa para comparação entre dados medidos e simulados na unidade residencial Apartamento Paraíso. Arquivo climático Futuro Próximo + ICU; sem inclusão de carga térmica interna e com taxas de ventilação definidas na parametrização da simulação.

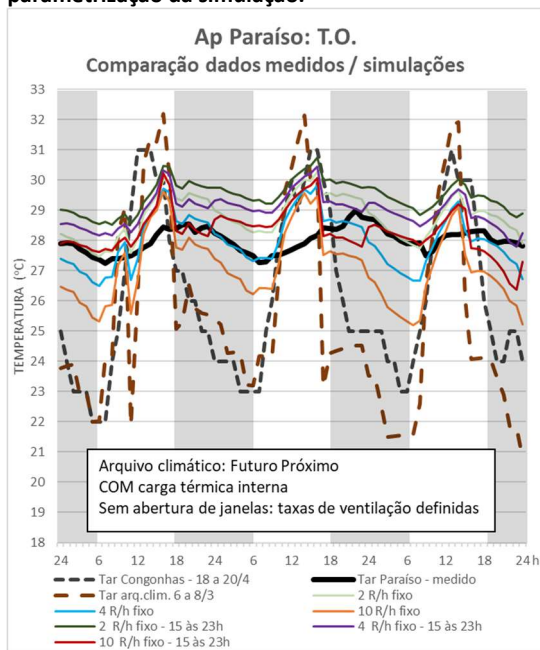


Figura B-204. Gráficos de temperatura do ar externo e temperatura operativa para comparação entre dados medidos e simulados na unidade residencial Apartamento Paraíso. Arquivo climático Futuro Próximo; com inclusão de carga térmica interna e com taxas de ventilação definidas na parametrização da simulação.

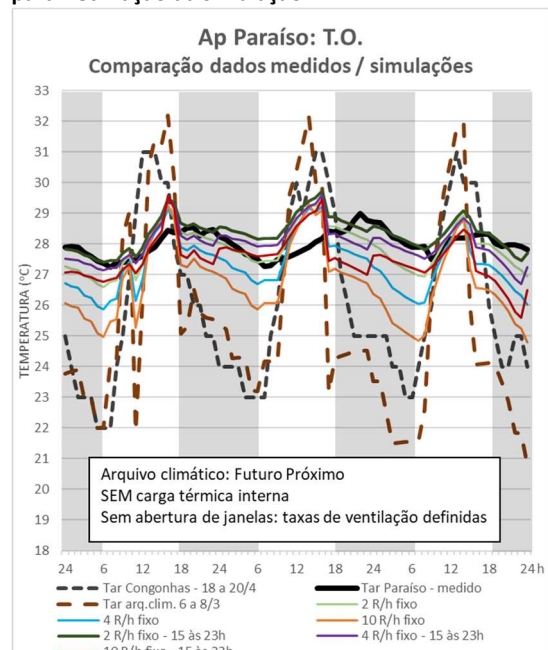


Figura B-205. Gráficos de temperatura do ar externo e temperatura operativa para comparação entre dados medidos e simulados na unidade residencial Apartamento Paraíso. Arquivo climático Futuro Próximo; sem inclusão de carga térmica interna e com taxas de ventilação definidas na parametrização da simulação.

As Figura B-206, Figura B-207, Figura B-208 e Figura B-209 apresentam os resultados das simulações considerando abertura da porta da sacada do estar:

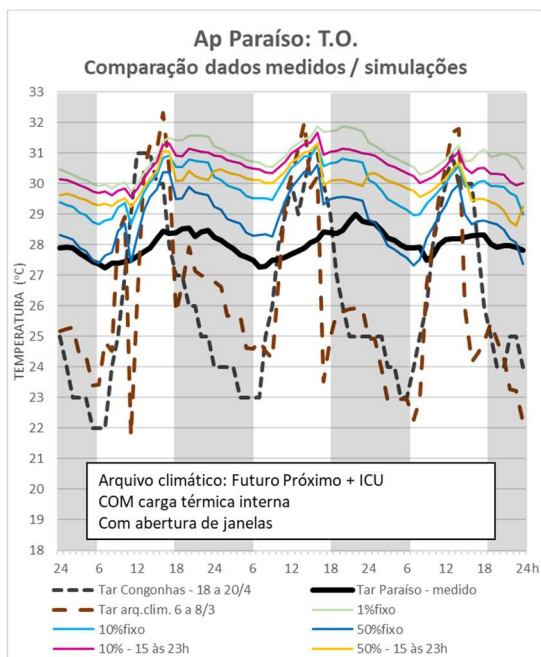


Figura B-206. Gráficos de temperatura do ar externo e temperatura operativa para comparação entre dados medidos e simulados na unidade residencial Apartamento Paraíso. Arquivo climático Futuro Próximo + ICU; com inclusão de carga térmica interna e com operação para abertura de janelas.

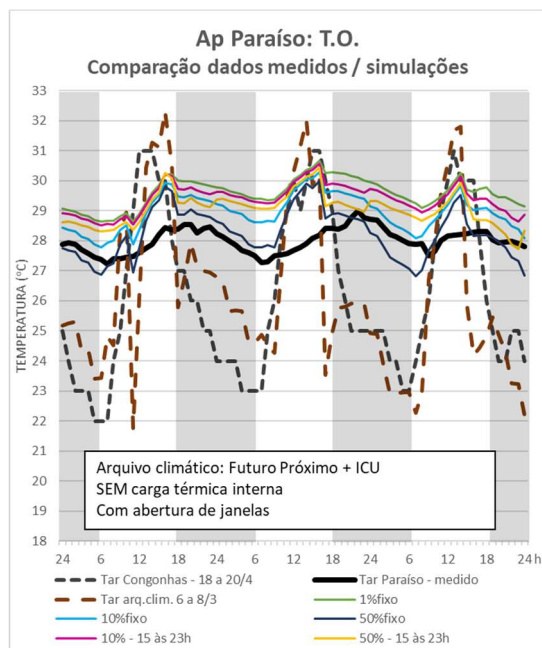


Figura B-207. Gráficos de temperatura do ar externo e temperatura operativa para comparação entre dados medidos e simulados na unidade residencial Apartamento Paraíso. Arquivo climático Futuro Próximo + ICU; sem inclusão de carga térmica interna com operação para abertura de janelas.

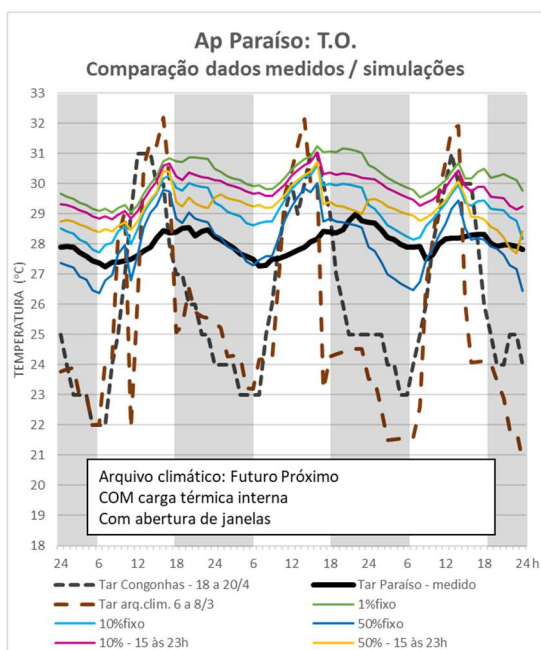


Figura B-208. Gráficos de temperatura do ar externo e temperatura operativa para comparação entre dados medidos e simulados na unidade residencial Apartamento Paraíso. Arquivo climático Futuro Próximo; com inclusão de carga térmica interna e com operação para abertura de janelas.

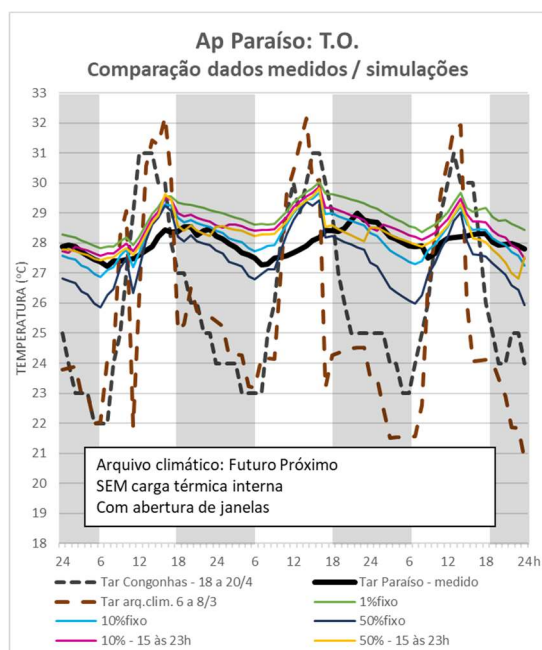


Figura B-209. Gráficos de temperatura do ar externo e temperatura operativa para comparação entre dados medidos e simulados na unidade residencial Apartamento Paraíso. Arquivo climático Futuro Próximo; sem inclusão de carga térmica interna com operação para abertura de janelas.

Da comparação dos resultados das simulações com a medição percebe-se que o desempenho do apartamento real apresenta temperaturas mais estáveis que as simulações. Em

especial, as simulações revelam um significativo aumento de temperatura nas horas mais quentes do dia, o que não é verificado nas medições onde, por sua vez, há um aumento gradual das temperaturas no período da tarde que avança no período noturno.

As simulações com maiores taxas de renovação, em especial aquelas com 10 renovações por hora fixas durante as 24h do dia e, de maneira análoga, com abertura de janela de 50% do vão durante as 24h do dia, apresentam maior variabilidade de temperatura ao longo dos dias, de modo que parecem pouco adequadas a representarem o comportamento térmico do edifício real. Por sua vez, as simulações com menores taxas de ventilação (e menor abertura das janelas), proporcionam temperaturas mais estáveis e, por isso, com maior semelhança com comportamento da unidade medida. O aumento das taxas de ventilação no período da tarde/noite (das 15 às 23h) também contribui para a maior estabilidade das temperaturas por promover maior remoção de calor interno justamente no período em que a unidade mais se aqueceu.

Da inclusão (ou não) de carga térmica, nota-se o aquecimento do ambiente²⁹. Dada a comparação entre simulações e dados medidos, o aumento de temperatura ocasionado pela inclusão de carga térmica parece superdimensionado.

Tendo em vista principalmente a tendência de maior estabilidade das temperaturas do apartamento e levando-se em conta as diferenças de temperatura externa entre os arquivos climáticos e os dias selecionados do período da medição, conclui-se que as simulações com o arquivo climático Futuro Próximo retrataram melhor a situação real; a inclusão de carga térmica interna de fato causa um efeito muito significativo nas temperaturas operativas das simulações, de modo que parece pouco verossímil; por fim, as menores taxas de renovação de ar proporcionam resultados mais semelhantes ao medido, a exemplo principalmente da simulação com 2 renovações de ar por hora e 4 renovações por hora apenas no período das 15 às 23h ou, nos casos em que é simulada a abertura de janelas, 10% de abertura no horário de 15 às 23h.

Referências Bibliográficas

1. ALVES, Carolina Abrahão. **Resiliência das edificações às mudanças climáticas na Região Metropolitana de São Paulo. Estudo de caso: desempenho térmico de edifícios residenciais para idosos**. 2014. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2014.
2. ALVES, Carolina Abrahão, DUARTE; Denise H. Silva; GONÇALVES, Fábio L. Teixeira. Residential Buildings' Thermal Performance and Comfort for the Elderly under Climate Changes Context in the city of São Paulo, Brazil. **Energy and Buildings**, v.114, p. 62-71, 2016.
3. INTERNATIONAL ORGANIZATION STANDARDIZATION (ISO). **ISO 7726**. Ergonomics: instruments for measuring physical quantities. Genève: ISO, 1998.

²⁹ Quanto maior e mais constante a taxa de renovação de ar, menor a diferença de temperatura média entre as simulações com e sem carga térmica interna; das temperaturas médias anuais, com a taxa de renovação de ar de 10 renovações por hora 24h por dia, as simulações com carga térmica têm T.O. interna 0,5°C maior que sem carga; para as simulações com apenas 2 renovações por hora das 15 às 26°C essa diferença nas temperaturas médias anuais é de 1,6°C.

Apêndice C -

Ventilação natural cruzada no software Tas

O software Tas é reconhecido por fornecer possibilidades de operação em ventilação natural, com operação de aberturas e cálculos que calculam os coeficientes de pressão hora a hora para cada uma delas (CRAWLEY *et al.*, 2008). Deste modo, este trabalho realizou testes de simulação afim de compreender os resultados das simulações de desempenho térmico utilizando este tipo de opção.

O mesmo Apartamento Base utilizado para as demais simulações foi empregado. Este modelo conta com aberturas de mesmas características nos ambientes do estar, serviço e dormitórios 1 e 2: dimensões de 1,20m x 1,20m, caixilhos em alumínio e 2 folhas de vidro simples (8mm) e com abertura máxima ventilante de 50% do vão. As janelas do estar e do serviço localizam-se na mesma orientação (no caso, orientação norte), enquanto as janelas dos dormitórios 1 e 2 estão em parede perpendicular às anteriores (orientação leste).

Foi realizada, inicialmente, uma série de 3 simulações com resultados extraídos para o ambiente do estar e foi incluída de maneira progressiva a operação da janela do estar, em seguida do serviço e então dos dormitórios (mantendo-se a(s) anterior(es) operante(s)). As portas dos dormitórios foram consideradas abertas o tempo todo. O objetivo foi verificar o efeito da possibilidade ou não de múltiplas entradas/saídas para o ar (Figura C-210).

Tendo em vista os resultados obtidos com as simulações anteriores, foi realizada uma segunda série de simulações, introduzindo a ventilação cruzada, porém, neste momento, em apenas um ambiente. Partiu-se do mesmo modelo (Apartamento Base), porém, neste caso, os resultados observados referiram-se ao dormitório 2, que possui duas paredes externas, perpendiculares entre si. Inicialmente foi considerada apenas a abertura existente, na orientação leste, e, no segundo momento, foi incluída uma segunda abertura no mesmo ambiente, na orientação norte e as duas foram mantidas abertas. Com esta configuração a circulação do ar pode ocorrer sem que seja necessário cruzar diferentes ambientes (Figura C-211).

Por fim, para fins de verificação, foram feitos cálculos manuais simplificados, seguindo a metodologia do CSTB, afim de se calcular a ventilação necessária para o conforto térmico.

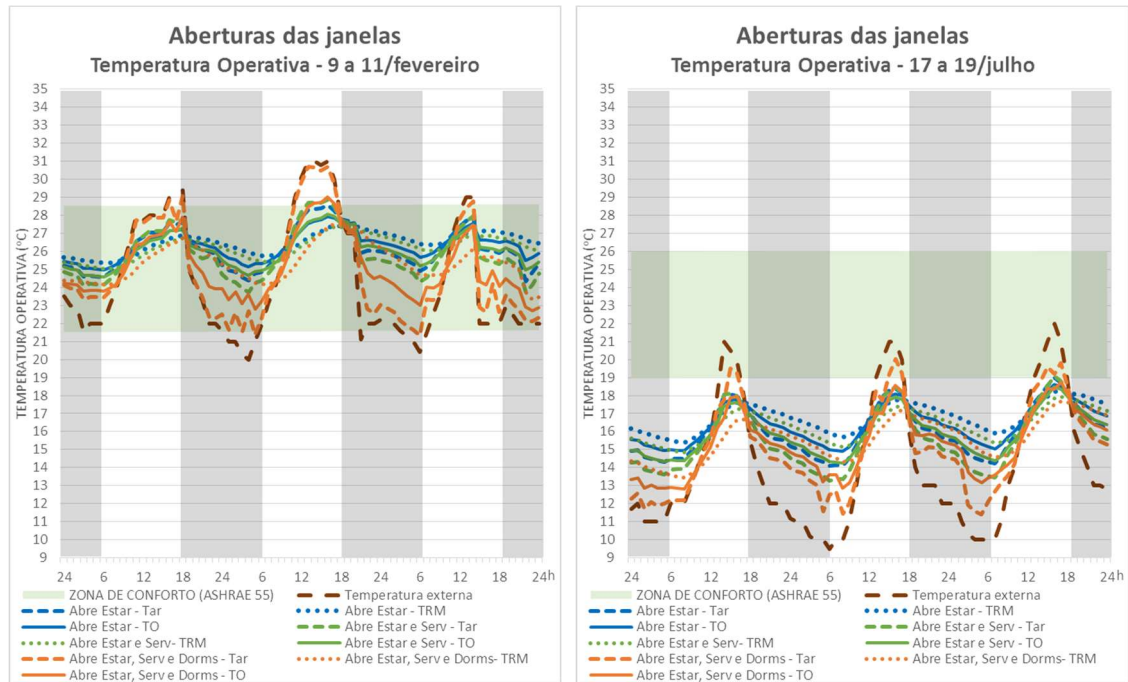


Figura C-210. Gráficos de temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de ventilação cruzada no Tas a partir de resultados para o ambiente do estar, com abertura de mais de uma janela do modelo do Ap Base.

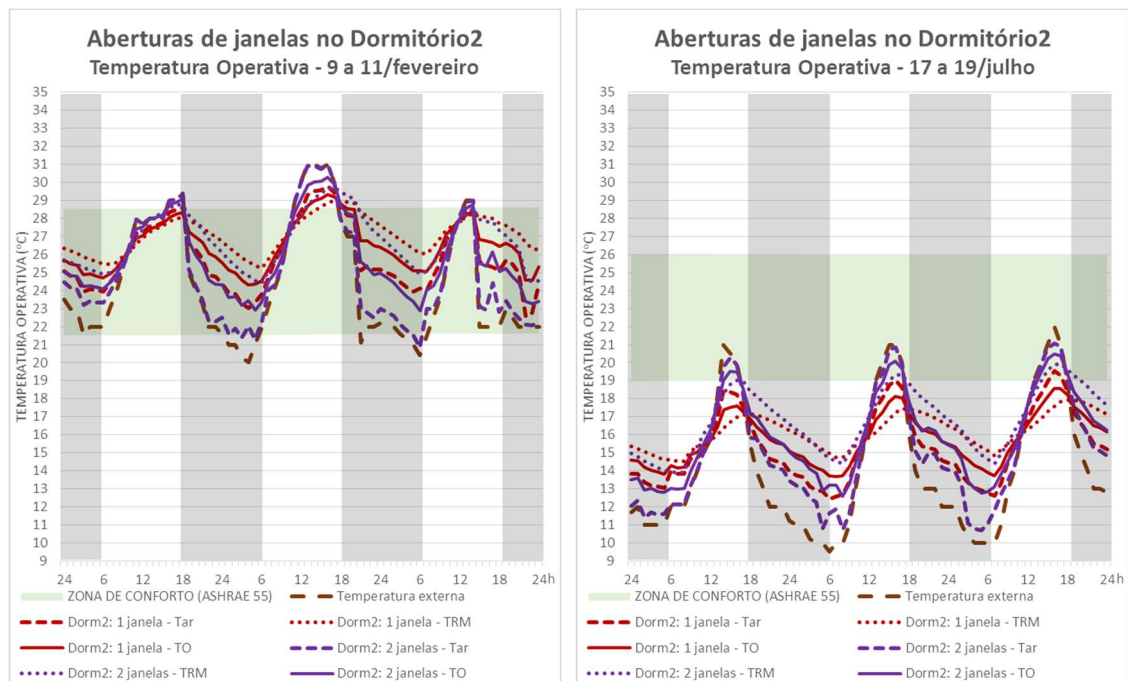


Figura C-211. Gráficos de temperatura do ar externo e temperatura operativa de período de calor (9 a 11/fev) e frio (17 a 19/jul) para estudos de ventilação cruzada no Tas a partir de resultados para o ambiente do dormitório 2, com abertura de mais de uma janela no mesmo ambiente proposto no modelo do Ap Base.

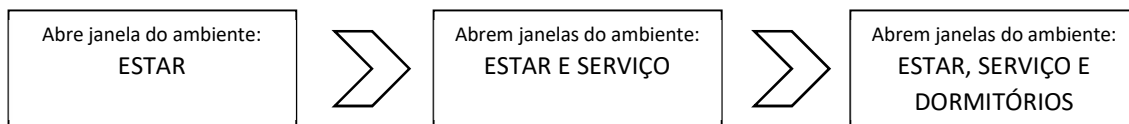
Tabela C-41. Taxas de renovações de ar por hora resultantes das aberturas de janelas propostas nos ambientes do estar e do dormitório 2 dados de ventos do arquivo climático nos dias 9 a 11/fev.

dia	h	R/h Estar			R/h Dorm2		arquivo climático - ventos -	
		Estar	Estar e Serv	Estar, Serv e Dorms	Dorm2 - 1 janela	Dorm2 - 2 janelas	Velocid. (m/s)	Direção (°)
09/fev	1	3,8	3,3	17,2	6,9	11,1	0	0
	2	3,7	3,2	17,1	6,7	10,9	0	0
	3	4,6	4,1	20,7	8,0	13,3	0	0
	4	4,2	3,7	19,3	7,4	12,2	0	0
	5	4,2	3,7	19,1	7,3	12,0	0	0
	6	4,2	3,7	18,9	7,2	11,8	0	0
	7	3,5	3,0	16,3	6,1	9,8	0	0
	8	2,8	2,2	12,5	4,9	7,9	0	0
	9	0,3	1,2	57,7	3,8	64,6	1,5	10
	10	1,4	1,7	119,3	6,9	133,8	2,8	91
	11	5,2	5,2	154,0	5,5	172,7	4,1	330
	12	6,9	6,9	237,3	2,9	266,0	5,7	350
	13	7,7	7,6	267,8	3,4	300,2	6,7	340
	14	6,3	6,2	212,2	2,6	237,8	5,1	350
	15	4,8	4,8	156,4	4,0	175,3	4,6	320
	16	7,0	7,0	232,2	6,3	260,2	6,2	330
	17	3,3	3,2	13,3	4,3	4,1	0	0
	18	4,5	4,4	119,7	5,4	134,3	4,1	310
	19	5,7	5,8	239,4	7,9	268,4	5,7	350
	20	3,6	3,9	194,2	6,5	217,6	5,1	330
	21	3,1	3,4	194,6	7,0	218,1	5,1	330
	22	2,2	1,4	174,0	9,3	195,0	4,1	350
	23	2,4	1,7	167,2	8,5	187,4	4,1	340
	24	5,1	4,6	44,6	9,1	48,6	3,1	170
10/fev	1	5,4	4,9	84,5	9,7	94,4	3,6	180
	2	5,1	4,6	52,1	8,8	45,3	3,1	160
	3	5,5	4,9	39,7	9,3	40,9	2,6	170
	4	5,5	4,9	22,0	9,0	14,8	0	0
	5	3,6	2,9	120,9	8,5	135,5	3,1	10
	6	4,0	3,5	63,8	7,0	71,3	1,5	350
	7	3,7	3,2	17,2	6,5	9,9	0	0
	8	3,2	2,7	63,1	5,2	70,7	1,5	101
	9	2,2	2,5	117,6	4,7	131,8	3,1	330
	10	1,3	1,5	183,1	9,7	205,3	4,4	101
	11	7,2	7,1	236,3	2,6	264,9	5,7	350
	12	8,1	8,0	261,9	2,9	293,5	6,2	360
	13	7,8	7,7	245,5	6,5	275,1	6,2	340
	14	6,6	6,4	189,8	7,1	212,7	5,1	330
	15	6,1	5,9	171,8	6,5	192,6	5,1	320
	16	6,1	5,9	171,7	6,5	192,5	5,1	320
	17	4,5	4,3	119,5	4,9	134,0	4,1	310
	18	2,3	2,2	91,1	3,9	102,0	3,1	310
	19	0,9	0,2	71,7	5,3	80,3	2,1	320
	20	0,8	0,1	76,6	5,0	85,8	2,6	310
	21	5,8	5,3	50,7	10,4	39,1	1,5	270
	22	4,8	4,3	78,1	9,2	87,2	2,6	310
	23	4,2	3,7	112,9	9,6	126,4	2,6	360
	24	4,5	4,0	54,9	8,6	61,1	2,1	30
11/fev	1	4,4	3,9	60,1	8,5	66,9	2,3	30
	2	4,3	3,7	67,9	8,3	75,7	2,6	30
	3	4,3	3,8	86,9	8,8	97,1	2,6	20
	4	4,3	3,7	93,6	8,8	104,7	2,8	20
	5	4,3	3,7	81,0	8,4	90,6	3,1	30
	6	5,2	4,7	108,5	5,2	120,1	4,1	60
	7	5,0	4,4	17,9	8,2	12,6	0	0
	8	4,5	4,0	56,8	7,2	59,0	1,3	111
	9	3,0	2,3	99,2	6,8	111,1	2,6	330
	10	2,9	2,3	92,2	3,7	103,4	2,3	111
	11	0,9	1,3	42,9	2,8	36,2	2,1	240
	12	3,7	3,7	98,9	0,9	111,0	2,6	10
	13	3,4	3,3	63,5	3,6	71,3	1,5	360
	14	5,7	5,6	183,2	3,5	205,4	4,6	340
	15	4,7	4,2	57,4	8,6	62,8	6,2	220
	16	4,8	4,3	64,6	8,9	71,9	4,1	210
	17	5,2	4,7	25,7	9,3	16,0	0	0
	18	5,2	4,7	68,7	9,4	76,5	3,1	190
	19	4,4	3,9	92,5	7,0	103,7	3,1	140
	20	4,8	4,2	112,7	6,4	126,3	2,8	112
	21	4,9	4,4	91,3	7,5	101,1	2,6	130
	22	19,3	19,4	1916,0	103,0	2148,3	50	120
	23	9,7	9,9	1034,7	55,5	1160,1	27	120
	24	4,7	4,1	90,2	6,4	101,1	2,6	130

Tabela C-42. Taxas de renovações de ar por hora resultantes das aberturas de janelas propostas nos ambientes do estar e do dormitório 2 dados de ventos do arquivo climático nos dias 17 a 19/jul.

dia	h	R/h Estar			R/h Dorm2		arquivo climático - ventos -	
		Estar	Estar e Serv	Estar, Serv e Dorms	Dorm2 - 1 janela	Dorm2 - 2 janelas	Velocid. (m/s)	Direção (°)
17/jul	1	4,5	3,8	67,6	7,0	70,6	2,6	150
	2	5,1	4,4	85,1	7,3	90,6	2,6	140
	3	5,1	4,4	48,5	7,9	40,9	1,5	150
	4	5,0	4,4	56,7	7,6	52,3	1,5	140
	5	5,0	4,3	48,0	7,6	40,9	1,5	150
	6	4,5	3,9	136,2	2,2	152,6	3,1	100
	7	4,1	3,5	123,0	3,2	137,9	3,1	120
	8	4,1	3,4	123,0	3,2	137,9	3,1	120
	9	3,6	2,9	122,5	2,3	137,4	3,1	120
	10	3,6	2,9	178,8	8,4	200,5	4,1	100
	11	2,9	2,3	178,2	9,1	199,8	4,1	100
	12	2,2	1,2	134,4	7,3	150,6	3,1	100
	13	2,9	3,1	86,0	7,2	91,5	2,1	120
	14	4,6	4,6	19,6	8,4	11,5	0	0
	15	4,4	4,4	56,1	7,5	63,6	1,3	0
	16	3,7	3,6	60,7	6,2	68,5	2,6	180
	17	1,5	1,8	61,4	2,3	68,9	2,6	180
	18	2,8	2,2	86,3	4,6	96,6	3,6	150
	19	4,3	3,7	17,5	7,2	14,3	0	0
	20	4,8	4,2	18,3	8,0	15,4	0	0
	21	5,3	4,7	18,2	8,8	16,4	0	0
	22	5,2	4,6	18,0	8,6	15,9	0	0
	23	5,1	4,5	17,6	8,5	15,5	0	0
	24	5,5	4,9	19,5	9,0	16,3	0	0
18/jul	1	5,5	4,9	19,6	9,0	16,1	0	0
	2	5,5	4,8	19,1	8,8	15,8	0	0
	3	5,8	5,1	20,5	9,3	16,5	0	0
	4	5,8	5,2	20,3	9,3	16,4	0	0
	5	5,8	5,1	72,9	8,5	68,1	1,5	80
	6	5,9	5,2	18,1	9,4	16,1	0	0
	7	5,6	4,9	18,2	8,8	15,1	0	0
	8	5,5	4,8	68,5	7,8	63,7	2,1	60
	9	5,1	4,4	65,5	7,1	63,5	2,1	60
	10	4,0	3,3	58,9	5,0	63,1	2,1	60
	11	2,6	1,7	55,9	2,5	62,7	2,1	60
	12	1,6	2,1	60,1	6,0	62,3	2,1	60
	13	3,3	3,4	112,1	8,8	125,0	2,6	100
	14	3,8	3,9	15,7	7,4	8,2	0	0
	15	4,4	4,4	65,3	8,3	58,5	1,5	130
	16	4,4	4,4	104,0	9,1	112,1	2,6	120
	17	3,9	3,9	79,3	6,7	82,0	3,1	150
	18	3,0	2,5	24,5	5,3	22,0	1,5	160
	19	4,4	3,9	39,8	7,6	38,0	1,5	190
	20	4,9	4,3	40,6	8,3	31,3	2,1	160
	21	4,8	4,2	19,6	8,1	15,2	0	0
	22	4,7	4,2	20,2	7,9	14,9	0	0
	23	5,2	4,6	21,9	8,7	15,9	0	0
	24	5,2	4,6	21,4	8,5	15,4	0	0
19/jul	1	5,1	4,5	20,9	8,3	15,0	0	0
	2	5,6	4,9	22,3	9,0	16,1	0	0
	3	5,9	5,2	79,2	8,8	75,9	1,5	90
	4	5,9	5,2	78,2	8,9	74,3	1,5	100
	5	5,9	5,2	78,9	8,6	76,0	1,5	90
	6	5,7	5,1	48,3	8,9	35,4	0,7	90
	7	5,7	5,0	18,2	8,9	14,8	0	0
	8	5,2	4,5	19,1	8,3	14,3	0	0
	9	4,1	3,4	46,2	5,9	45,1	1,5	60
	10	3,8	3,1	83,9	3,8	94,0	2,1	80
	11	2,3	1,4	123,0	7,1	137,9	3,1	80
	12	1,9	2,2	90,8	6,7	101,4	2,1	100
	13	3,0	3,2	92,7	7,7	100,9	2,1	100
	14	3,7	3,8	67,7	7,5	64,9	1,5	120
	15	4,2	4,2	69,2	8,1	64,7	1,5	120
	16	4,6	4,5	20,3	8,1	10,0	0	0
	17	4,0	4,0	67,9	7,5	64,7	1,5	120
	18	2,6	2,7	56,0	4,3	55,7	2,1	150
	19	3,4	2,9	17,0	5,9	13,0	0	0
	20	4,0	3,5	17,1	6,9	14,1	0	0
	21	4,5	4,0	20,0	7,8	15,2	0	0
	22	5,0	4,5	21,8	8,5	16,1	0	0
	23	5,0	4,4	21,3	8,3	15,6	0	0
	24	5,0	4,4	21,2	8,3	15,4	0	0

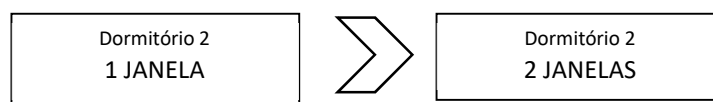
Os resultados mostram o impacto do aumento das janelas abertas na temperatura operativa do ambiente do estar. Há uma progressão na redução das temperaturas médias e principalmente aumento das amplitudes (aproximando-se principalmente a temperatura do ar interna da externa) conforme são incorporadas janelas abertas ao modelo (Figura C-210, Tabela C-40 e Tabela C-41):



A maior área de abertura, mesmo em apenas uma orientação, como no caso das aberturas do estar e do serviço, como pode ser visto nos gráficos de temperatura, favorecem as trocas de ar, porém, o número de renovações do ambiente do estar não sofre alteração significativa se comparadas as duas possibilidades.

Alteração no desempenho mais significativa é observada ao se abrir, além das anteriormente já abertas, as janelas dos dois dormitórios do modelo de apartamento. Como já abordado, essas novas aberturas localizam-se em orientação diferente das anteriores e, ainda que o caminho percorrido pela corrente de ar não seja direto, mas deva ocorrer passando pelo ambiente da circulação e pelas portas dos dormitórios, a existência de ventilação cruzada promove o incremento da ventilação.

É importante notar, porém, que os valores de saída do software de taxas de renovação de ar são altíssimos, frequentemente acima de 100 renovações por hora, como pode ser observado na Tabela C-40. A ordem de grandeza é tão alta que as taxas de renovação de ar obtidas nas simulações foram consideradas inverossímeis.



Os resultados obtidos a partir da simulação com 1 e com 2 janelas no dormitório 2 mostraram que a inclusão de uma janela a mais no dormitório 2 tem o efeito semelhante ao da abertura simultânea das janelas do estar, do serviço e dos dormitórios: taxas de renovação de ar muito altas e amplitude das temperaturas do ambiente aumente, há grande aproximação da temperatura do ar interna e externa (Figura C-211, Tabela C-40 e Tabela C-41).

Cálculo manual da taxa de ventilação

Afim de aprofundar a análise dos resultados relacionados a taxa de ventilação, foram realizados cálculos manuais considerando o conforto térmico do ocupante do ponto de vista fisiológico utilizando o método proposto por Frota e Schiffer (2001). A memória de cálculo está exposta a seguir de maneira sucinta.

Caracterização do ambiente (Figura C-213 e Figura C-214):

Área de piso: 14,74 m²

Pé direito: 2,60 m

Volume: 38,30 m³

Área opaca da parede externa do estar: 5,32m²

Coefficiente de absorção (α): 0,4

Coefficiente global de transmissão térmica da parede (U): 2,3 W/m²°C

Janela de correr c/ vidro simples transparente:

Área: 1,44m²

Fator solar do vidro (Str): 0,85

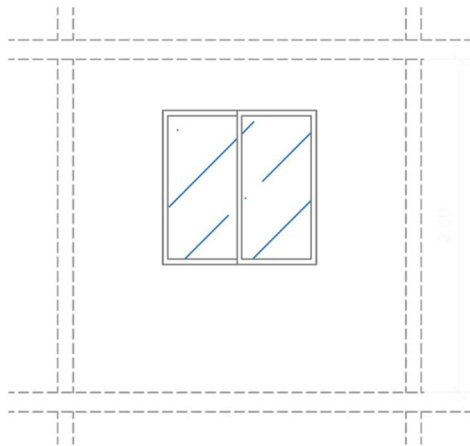


Figura C-212. Fachada externa do estar

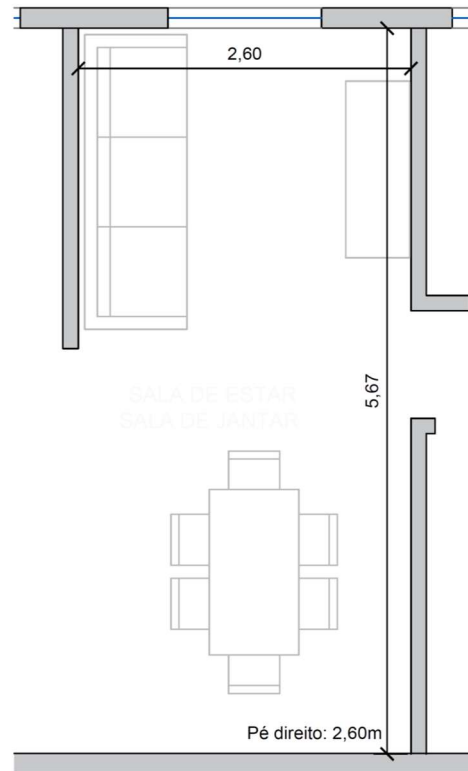


Figura C-213. Planta do Estar

Ganhos de calor solar (Q) - em função da radiação solar incidente (I_g)

Pela parede externa: parte opaca

$Q_{op} = 0,25 I_g$

Pela janela do estar:

$Q_{tr} = 1,2 I_g$

$$Q_{op} = \text{Área} \times 1/h_e \times \alpha \times K \times I_g$$

$$Q_{tr} = \text{Área} \times \text{Str} \times I_g$$

Tabela C-43. Dados de radiação solar horária incidente (W) na latitude 23,5oSul no solstício de verão (22/dezembro), orientação Norte e ganhos de calor correspondente às superfícies externas do estar

	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h
Fachada N	20	40	50	58	63	68	66	68	63	58	50	40	20
Parede externa ($Q_{op} = 0,25lg$)	5	10	12	14	16	17	16	17	16	14	12	10	5
Janela do estar ($Q_{tr} = 1,2lg$)	24	49	61	71	77	83	81	83	77	71	61	49	24
Totais/hora (W)	29	59	74	85	93	100	97	100	93	85	74	59	29

O maior valor horário de radiação é 100 W e ocorre às 11 e às 13h (Tabela C-42).

Portanto, $Q_{total} = 100 W$.

Cálculo das perdas de calor

Perda de calor pela envoltória (Q') - em função de Δt

$$Q'_{parede} = 12,4 \Delta t \quad W$$

$$Q'_{janela} = 8,1 \Delta t \quad W$$

$$Q'_{total} = 18,3 \Delta t \quad W$$

$$Q' = \text{Área} \times K \times \Delta t$$

Perda de calor pela ventilação

N adotado: 2

$$Q'_{vent} = 26,8 \Delta t \quad W$$

$$Q'_{vent} = 0,35 \times N \times V \times \Delta t$$

Balanço térmico

$\Delta t = 5,5$

$$Q_{total} = Q'_{total} \Delta t$$

Fator de Inércia

Foram feitos cálculos simplificados para a determinação deste critério conforme metodologia exposta em FROTA E SCHIFER (2001). Considerando os resultados dos cálculos realizados e tendo em vista que a unidade habitacional proposta se insere andar intermediário (8º) de um edifício

vertical (15 pavimentos) com 4 apartamentos por andar, foi considerada inércia média, portanto $m=0,8$.

Condições ambientais externas e internas

Foram considerados os dados de temperatura obtidos do arquivo climático utilizado nas simulações de ventilação expostas (Tabela C-43).

Tabela C-44. Dados de temperatura do ar obtidos do arquivo climático.

	média das máximas (Ts)	máxima absoluta (Td)	média das mínimas (ts)	mínima absoluta (td)	Temp. ext. média (Temed)
JAN	27,7	34,0	19,3	14,0	23,7
FEV	28,0	35,0	19,7	16,0	24,7
MAR	27,9	32,0	19,1	16,0	23,8
ABR	25,3	31,8	17,2	13,6	22,0
MAI	22,6	29,5	14,9	11,5	19,6
JUN	21,3	27,0	14,2	11,5	18,5
JUL	21,4	27,0	11,7	8,0	17,0
AGO	23,7	31,0	13,0	5,0	18,2
SET	22,9	32,0	13,8	10,0	19,7
OUT	24,0	33,0	15,8	12,0	21,2
NOV	25,0	32,0	16,7	14,0	21,9
DEZ	26,4	31,0	18,6	14,0	22,5

A partir desses dados foram calculados a amplitude (A), a alongação (E) e a Temperatura interna máxima (Timax), para o mês de dezembro por ser este um mês quente e do qual foram utilizados os dados de radiação incidente

Amplitude (A) = 12,4

Elongação (E) = 6,2

Temperatura interna máxima (Timax) = 24,8 °C

$$T_{max} = (T_d + T_s) / 2$$

$$T_{min} = (t_d + t_s) / 2$$

$$T_{med} = (T_{max} + T_{min}) / 2$$

$$A = T_{max} - T_{min}$$

$$E = A / 2$$

$$T_{max} = T_{med} + (1-m).E + (1-m).\Delta t \text{ (}^\circ\text{C)}$$

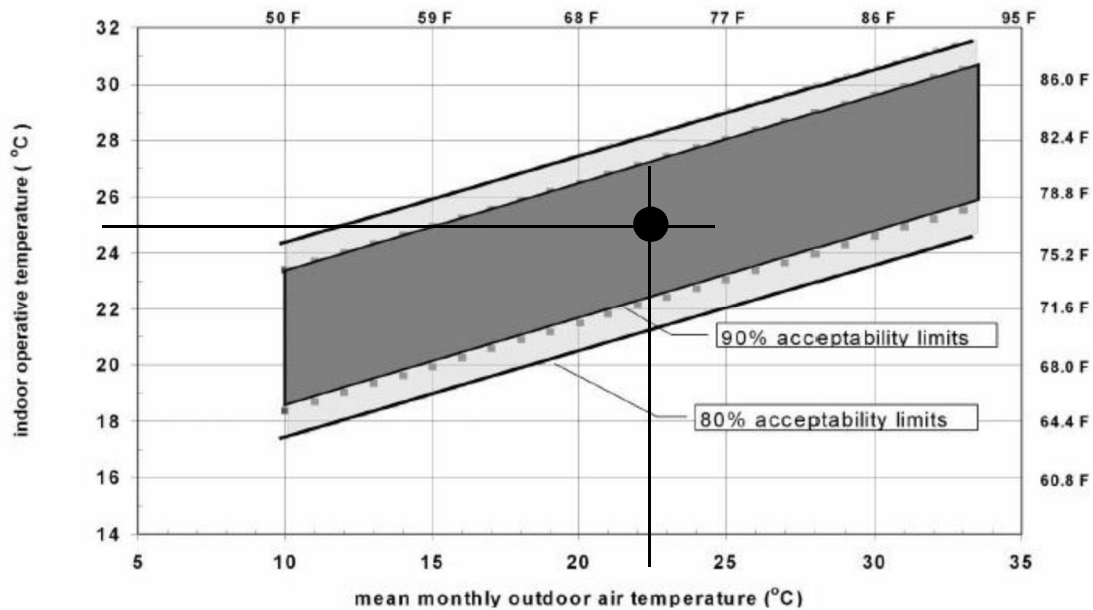


Figura C-214. Avaliação do conforto utilizando o índice de conforto adaptativo da norma ASHRAE 55 (2017).

As condições favoráveis criadas pelas temperaturas amenas do arquivo climático, ausência de carga térmica interna e inércia térmica média (Figura C-214) fazem com que, conforme pode ser observado, ainda que tenha sido adotada uma taxa de ventilação bastante baixa (2 renovações por hora), foi obtida condição de conforto, de modo que altas taxas de ventilação não são necessárias nas simulações realizadas.

Referências Bibliográficas

1. CRAWLEY, Drury B., HAND, Jon W., KUMMERT, Michael, GRIFFITH, Brent T. Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. **Building and Environment**, v 43, p. 661-673, 2008.
2. FROTA, A.; SCHIFFER, S. 1995. **Manual de conforto térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 5. ed.