

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE ARTES – PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ARQUITETURA E URBANISMO

VICTOR MOURA BUSSOLOTTI

**ALGORITMOS EVOLUTIVOS NA DEFINIÇÃO DE JANELAS
TERMICAMENTE EFICIENTES**

VITÓRIA

2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE ARTES – PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ARQUITETURA E URBANISMO

VICTOR MOURA BUSSOLOTTI

**ALGORITMOS EVOLUTIVOS NA DEFINIÇÃO DE JANELAS
TERMICAMENTE EFICIENTES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Prof.^a. Dr.^a. Edna Aparecida Nico Rodrigues.

Coorientador: Prof. Dr. Jarryer Andrade de Martino.

VITÓRIA

2020

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

B981a Bussolotti, Victor Moura, 1991-
Algoritmos evolutivos na definição de janelas termicamente eficientes / Victor Moura Bussolotti. - 2020.
224 f. : il.

Orientadora: Edna Aparecida Nico-Rodrigues.
Coorientador: Jarryer Andrade de Martino.
Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) -
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Artes.

1. Janelas. 2. Algoritmos genéticos. 3. Conforto. 4. Desempenho. I. Nico-Rodrigues, Edna Aparecida. II. Martino, Jarryer Andrade de. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Artes. IV. Título.

CDU: 72

VICTOR MOURA BUSSOLOTTI

“ALGORITMOS EVOLUTIVOS NA DEFINIÇÃO DE JANELAS
TERMICAMENTE EFICIENTES”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Espírito
Santo, como requisito final para a obtenção do grau de Mestre em
Arquitetura e Urbanismo.

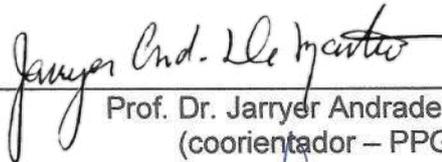
Aprovada em 11 de março de 2020.

Comissão Examinadora

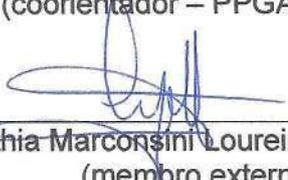
Edna Aparecida
Nico Rodrigues

Assinado de forma digital por Edna Aparecida Nico
Rodrigues
DN: cn=Edna Aparecida Nico Rodrigues, o=Ufes,
ou=PPGAU, email=edna.rodrigues@ufes.br, c=BR
Dados: 2020.05.15 21:40:23 -03'00'

Profa. Dra. Edna Aparecida Nico Rodrigues
(orientadora – PPGAU/UFES)



Prof. Dr. Jarryer Andrade de Martino
(coorientador – PPGAU/UFES)



Profa. Dra. Cynthia Marconcini Loureiro Santos
(membro externo – UVV)

Edna Aparecida
Nico Rodrigues

Assinado de forma digital por Edna Aparecida Nico
Rodrigues
DN: cn=Edna Aparecida Nico Rodrigues, o=Ufes,
ou=PPGAU, email=edna.rodrigues@ufes.br, c=BR
Dados: 2020.05.15 21:42:18 -03'00'

Profa. Dra. Maria Clara Betancourt Velasco
(membro externo – ICESI)

Dedico àqueles que acreditam em mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a todos aqueles que me fizeram rir, sorrir e gargalhar, me proporcionando diversão em meio à seriedade dos estudos.

Agradeço ao poder da fé que, independentemente da religião seguida, nos permite um contato mais próximo com o melhor que temos a oferecer ao mundo. É ela, também, que me dá o equilíbrio para contornar as dificuldades surgidas durante a vida acadêmica.

À professora e orientadora Dra. Edna Aparecida Nico Rodrigues e ao professor e coorientador Dr. Jarryer Andrade de Martino, agradeço pelo tempo dedicado a esse trabalho, com contribuições fundamentais ao bom andamento da pesquisa. Agradeço, principalmente, pela confiança, pela paciência e pela gentileza com que sempre me trataram. Agradeço aos membros das bancas de qualificação e de defesa pela disponibilidade de participar da avaliação, com valiosas contribuições, que permitem o progresso da pesquisa.

À professora Dra. Cristina Engel de Alvarez agradeço pelo acolhimento no Laboratório de Planejamento e Pesquisa (LPP) e pela convivência durante o estágio em docência.

Aos meus colegas de LPP e de mestrado, fica a minha gratidão pelos bons momentos que passamos juntos, tornando a convivência rotineira mais agradável. Deixo especial agradecimento a Bruna e Ingrid, colegas de estágio; Lucas, companheiro no aprendizado do *software*, sem o qual este trabalho dificilmente teria chegado até onde chegou; Nayara, Filipe e Anderson, que também sempre se demonstraram solícitos quando precisei.

A Izabela, minha revisora não oficial, que contribuiu com boas sugestões, registro meu amor.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), agradeço pela bolsa de estudos concedida.

Agradeço aos meus familiares, amigos e agregados pela tolerância e apoio.

Por fim, agradeço a você que faz meus olhos sorrirem.

SONETO DAS JANELAS

Abre e fecha, tomba e pivota, corre e desliza
Pelo vazio de janela, o líder de uma nação
Que é também sacerdote de uma religião
Com palavras, a dor do mundo ameniza

A ligação do público com o privado, ela viabiliza
Até no computador, virou da tela a proteção
E a tal janela, mais uma vez, gerou conexão
Assim, na sua frente, esperança ela sinaliza

É da janela que curiosos espiam feito sentinelas
Que as apaixonadas suspiram intensamente
E que as fofoqueiras espalham suas balelas

E de janela em janela a vida passa, cordialmente
Até que nossos olhos, que da alma são janelas
Se fechem uma última vez, eternamente.

Victor Moura Bussolotti.

RESUMO

As mudanças climáticas têm sido investigadas pela comunidade científica nas últimas décadas e o consumo energético para climatização e iluminação é um dos responsáveis pelos danos causados ao planeta. Soluções que busquem formas de minimizar os impactos ambientais causados pela ação humana são relevantes e necessárias. Propor edificações capazes de minimizar este consumo, por meio de estratégias eficientes para reduzir a demanda energética na busca por conforto térmico são ações necessárias. As janelas, como um dos componentes da edificação responsável pelo consumo de energia, ao regularem a entrada de luz e vento, constituem-se num elemento importante para a obtenção da eficiência energética. No entanto, os modelos de janela têm negligenciado componentes importantes para a manutenção do conforto e, conseqüentemente, menor consumo energético. Os sistemas generativos surgem como aliados, propondo uma relação do projetista diretamente com o sistema, usando recursos de computador para auxiliá-los e automatizando partes do processo projetual. O principal objetivo foi analisar processos de projeto com a utilização de algoritmos evolutivos para a definição de janelas termicamente eficientes. A metodologia dividiu-se em cinco partes. Inicialmente fez-se a definição e caracterização do objeto de estudo, depois a apresentação dos fatores físicos, a definição e uso do *software* para parametrização das esquadrias, a configuração do modelo do sistema generativo que foi simulado e, por fim, a representação dos resultados. A análise de resultados foi feita comparando-se o percentual de tempo de conforto térmico no interior de ambientes atendidos por janelas dimensionadas segundo o Código de Obras do município de Vitória, a NBR 15.575 e o RTQ-R, com a janela otimizada pelos algoritmos evolutivos, segundo modelos de conforto adaptativo e PMV propostos pela ASHRAE 55. Os resultados demonstraram que: as janelas geram diferentes níveis de conforto aos usuários; os parâmetros simulados influenciam no desempenho térmico da edificação e; os algoritmos melhoraram as situações simuladas. Por isso, fica evidenciada a necessidade de proposição de janelas adequadas, gerando edificações eficientes e proporcionando mais conforto aos usuários.

Palavras-chave: Janela. Conforto térmico. Algoritmos. Sistemas generativos.

ABSTRACT

Climate change has been investigated by the scientific community in recent decades and energy consumption for air conditioning and lighting is one of the factors responsible for the damage caused to the planet. Solutions that seek ways to minimize the environmental impacts caused by human action are relevant and necessary. Proposing buildings capable of minimizing this consumption, through efficient strategies to reduce the energy demand in the search for thermal comfort are necessary actions. Windows, as one of the building components responsible for energy consumption, by regulating the entry of light and wind, are an important element for achieving energy efficiency. However, window models have neglected important components for maintaining comfort and, consequently, lower energy consumption. Generative systems appear as allies, proposing a relation of the designer directly to the system, using computer resources to assist them and automating parts of the design process. The main objective was analyze design processes using evolutionary algorithms to define thermally efficient windows. The methodology was divided into five parts. Initially, the definition and characterization of the object of study was made, then the presentation of the physical factors, the definition and use of the software for parameterization of the windows, the configuration of the model of the generative system that was simulated and, finally, the representation of the results. The analysis of results was made by comparing the percentage of time of thermal comfort inside environments served by windows dimensioned according to the Construction Code of the municipality of Vitória, NBR 15.575 and RTQ-R, with the window optimized by the evolutionary algorithms according to models of adaptive comfort and PMV proposed by ASHRAE 55. The results showed that: the windows generate different levels of comfort to the users; the simulated parameters influence the thermal performance of the building and; the algorithms improved the simulated situations. Therefore, it is evident the need to propose adequate windows, generating efficient buildings and providing more comfort to users.

Keywords: Window. Thermal comfort. Algorithms. Generative systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Construção do Antigo Egito.....	20
Figura 2: Simulação de uma casa grega antiga	21
Figura 3: Reconstituição de uma casa popular romana	21
Figura 4: Igreja medieval de San Martín de Tours	22
Figura 5: Fragmento da Pintura “Moça lendo uma carta à janela” de Vermeer.....	22
Figura 6: Palazzo Farnese, exemplo de arquitetura renascentista.....	23
Figura 7: Igreja São Francisco de Assis, arquitetura barroca.....	23
Figura 8: Janela com caixilharia dividida em quadrículas	24
Figura 9: Palácio de Cristal de Madrid	25
Figura 10: Villa Savoye de Le Corbusier	25
Figura 11: Projeto de Frank Lloyd Wright relacionando interior e exterior pela janela.....	26
Figura 12: Instituto do Mundo Árabe	26
Figura 13: Vários arcos segundo Banister Fletcher.....	27
Figura 14: Escritório da Junta de Andaluzia, onde janelas são concebidas como olhos que tanto podem abrir como fechar	28
Figura 15: Relações de dimensões de janelas estudadas por Ochoa et al. (2012). Quantidades expressas em porcentagem de WWR	32
Figura 16: Modelo de Acosta, Campano e Molina (2016)	33
Figura 17: Exemplos de esquadrias com vidros simples, duplos e triplos.....	36
Figura 18: Classificação dos sistemas de sombreamento	39
Figura 19: Exemplos de Sombreadores	40
Figura 20: (a) - Diferentes níveis de insulamento das roupas e (b) - Taxas metabólicas das diferentes atividades.....	46
Figura 21: Formas de troca de calor pelo corpo humano	47
Figura 22: Comparação entre o método tradicional e o método do sistema generativo.....	55
Figura 23: Exemplo de espaço de soluções com diferentes possibilidades de solução de um projeto	55
Figura 24: Processo sob o aspecto criativo com abordagem generativa	57
Figura 25: Representação esquemática de um algoritmo	58
Figura 26: Fluxograma de funcionamento de um algoritmo genético.....	62

Figura 27: (a) - Geração de novos indivíduos por <i>crossover</i> e (b) - Geração por mutação	63
Figura 28: Modelo de edifício utilizado	68
Figura 29: Laje	69
Figura 30: Paredes.....	69
Figura 31: Cobertura	70
Figura 32: Janelas com vidro simples, duplo e triplo.....	71
Figura 33: Localização de Vitória	73
Figura 34: (a) - Velocidade dos ventos e (b) -Frequência dos ventos	75
Figura 35: Carta solar de Vitória.....	75
Figura 36: Exemplos de análises do <i>Ladybug</i>	76
Figura 37: Exemplos de análises do <i>Honeybee</i>	77
Figura 38: (a) – Modelagem do cômodo e (b) – Modelagem do edifício	77
Figura 39: Sistema para o ambiente isolado	78
Figura 40: Inputs de arquitetura	78
Figura 41: Inputs da Janela.....	78
Figura 42: Intersecção das massas.....	79
Figura 43: Separação do tipo de superfície.....	79
Figura 44: Criação de superfícies no <i>Honeybee</i>	79
Figura 45: Programa de ocupação do ambiente	80
Figura 46: Criação de zona no <i>Honeybee</i>	80
Figura 47: Separação das superfícies.....	80
Figura 48: Separação da superfície que contém a janela	81
Figura 49: Variação no número de janelas.....	81
Figura 50: Criação da janela no <i>Honeybee</i>	81
Figura 51: Sombreador e recriação da zona	82
Figura 52: Características de uso da janela	82
Figura 53: Pilha de simulação	83
Figura 54: Sistema para análises de PMV	84
Figura 55: Sistema para análises de conforto adaptativo.....	84
Figura 56: Quadro de conforto adaptativo	85
Figura 57: Sistema do edifício	85
Figura 58: Ambientes no edifício	86
Figura 59: Pilares, telhado e platibanda	86

Figura 60: Geometria das portas.....	87
Figura 61: Ambientes separados.....	87
Figura 62: Dormitório 2 selecionado.....	88
Figura 63: Janelas configuradas a partir das normativas para o ambiente isolado.....	90
Figura 64: Janelas configuradas a partir das normativas para o edifício.....	90
Figura 65: Área operável da janela.....	90
Figura 66: Criação do dispositivo sombreador.....	91
Figura 67: Configuração do material de cobertura.....	91
Figura 68: Configuração do material de laje.....	91
Figura 69: Configuração do material de vidro simples.....	92
Figura 70: Configuração do material de vidro duplo.....	92
Figura 71: Configuração do material de vidro triplo.....	92
Figura 72: Configuração do material de parede.....	92
Figura 73: Materiais de superfície.....	93
Figura 74: Cronograma de abertura da janela.....	93
Figura 75: Cronograma de ocupação.....	94
Figura 76: Definição de cargas da zona.....	94
Figura 77: Métricas da simulação.....	94
Figura 78: Pilares e platibanda como contexto.....	95
Figura 79: Período de análise do sistema.....	95
Figura 80: Cores de representação do modelo.....	95
Figura 81: Pilhas conectadas ao Galapagos destacadas nos retângulos vermelhos.....	96
Figura 82: Valor de <i>fitness</i> do Galapagos.....	97
Figura 83: Galapagos em funcionamento para a simulação do dispositivo sombreador.....	97
Figura 84: (a) - Janelas baseadas nas normas e (b) - Janelas obtidas pelo Galapagos.....	101
Figura 85: Sistemas de abertura de janela recomendadas.....	102

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Quadro de principais sistemas de abertura existentes	42
Quadro 2: Propriedades térmicas da laje	69
Quadro 3: Propriedades térmicas da parede.....	70
Quadro 4: Propriedades térmicas do vidro	71
Quadro 5:Transmitância térmica dos revestimentos	71
Quadro 6: Parâmetros de ocupação, parâmetros humanos, ganhos térmicos de equipamentos e abertura das janelas	72
Quadro 7: Dimensões mínimas de abertura do ambiente, segundo as legislações estudadas	89
Quadro 8: Características das janelas das legislações	89
Quadro 9: Comparativo das janelas das legislações com as janelas do Galapagos em relação aos 13 genomas.....	100

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Temperatura e zona de conforto.....	74
Gráfico 2: Umidade relativa	74
Gráfico 3: Conforto adaptativo anual segundo a ASHRAE 55	103
Gráfico 4: Conforto adaptativo no inverno segundo a ASHRAE 55.....	104
Gráfico 5: Conforto adaptativo no outono segundo a ASHRAE 55	104
Gráfico 6: Comparação entre gráficos de sensação de conforto ou não segundo a ASHRAE 55.....	105
Gráfico 7: Comparação entre gráficos de condição da pessoa segundo a ASHRAE 55.....	106
Gráfico 8: Comparativo dos quadros de conforto adaptativo anual da fachada Norte segundo a ASHRAE 55 (a) - Código de Obras e (b) - Galapagos.....	107
Gráfico 9: Conforto adaptativo anual no edifício segundo a ASHRAE 55	108
Gráfico 10: Conforto adaptativo no verão no edifício segundo a ASHRAE 55	109
Gráfico 11: Conforto adaptativo no inverno no edifício segundo a ASHRAE 55	110
Gráfico 12: Percentual de tempo confortável anual pelo PMV para o ambiente isolado segundo a ASHRAE 55.....	111
Gráfico 13: Percentual de tempo confortável de verão pelo PMV para o ambiente isolado segundo a ASHRAE 55.....	112
Gráfico 14: Percentual de tempo confortável de inverno pelo PMV para o ambiente isolado segundo a ASHRAE 55.....	112
Gráfico 15: Comparação do percentual de pessoas insatisfeitas segundo a ASHRAE 55.....	113
Gráfico 16: Comparação do voto médio previsto segundo a ASHRAE 55.....	114
Gráfico 17: Voto médio previsto anual para o edifício segundo a ASHRAE 55	115
Gráfico 18: Voto médio previsto no verão para o edifício segundo a ASHRAE 55	116
Gráfico 19: Voto médio previsto no inverno para o edifício segundo a ASHRAE 55	117

GLOSSÁRIO

Abóbada: Construção arqueada destinada a cobrir um espaço, podendo estar apoiada em paredes ou colunas.

Arco: Elemento construtivo em curva, que emoldura a parte superior de um vão.

Arquitrave: Viga cujas extremidades se apoiam em colunas.

Caixilho: Armação onde são encaixadas e presas as placas de vidro, ou outro material translúcido, das janelas.

Cantaria: Pedra aparelhada em forma geométrica localizada ao redor da janela.

Código de Obras: Instrumento que permite à administração municipal controlar e fiscalizar o espaço edificado e seu entorno, afim de assegurar salubridade e segurança das edificações.

Frontão: Elemento arquitetônico de formato triangular que decora o topo de uma fachada ou esquadria.

Iteração: Ação de repetir. Procedimento de resolução de equações mediante operações em que sucessivamente o objeto de cada uma é o resultado que a precede.

Ombreira: Guarnição que se situa na vertical de portas e janelas para apoiar as vergas.

Peitoril: Base fixa na parte interior das janelas.

Pingadeira: Acabamento externo, cuja função é desviar a água das chuvas da janela.

PMV: Voto médio previsto.

PPD: Percentual previsto de insatisfação.

Verga: Elemento estrutural de acabamento da parte superior de portas e janelas, assentada sobre as ombreiras.

WWR: Window-to-wall ratio. Medida de área, expressa em porcentagem, determinada pela divisão da área envidraçada total do edifício pela área de parede exterior do seu envelope.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Objetivos	17
1.2	Metodologia	17
1.3	Estrutura da Dissertação	18
2	ABORDAGEM TEÓRICA.....	19
2.1	Conceito e Breve Histórico das Janelas.....	19
2.1.1	Formato e Dimensão	31
2.1.2	Posicionamento.....	33
2.1.3	Material.....	35
2.1.4	Sombreamento.....	37
2.1.5	Sistema de Abertura.....	41
2.1.6	Comportamento do Usuário	42
2.2	Conforto e Desempenho Térmico	45
2.3	Normativas.....	49
2.4	Processos de Projeto.....	52
2.4.1	Sistemas Generativos Evolutivos.....	54
2.4.2	Algoritmos	58
2.4.3	Parametrização.....	64
2.5	Considerações	65
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	67
3.1	Caracterização do Objeto.....	67
3.2	Fatores Físicos	72
3.3	Software para Parametrização e Montagem do Sistema	76
3.4	Construção dos Algoritmos	88
3.5	Representação dos Resultados	98
4	DISCUSSÃO E RESULTADOS	99
4.1	Modelos de Janela Propostos	99
4.2	Resultados de Conforto Adaptativo	103
4.3	Resultados de Voto Médio Previsto.....	111
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	119
	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	121
	APÊNDICES.....	127

1 INTRODUÇÃO

O crescimento das cidades e da população levou ao surgimento de materiais e de processos tecnológicos responsáveis por elevar o consumo energético no setor da construção civil. A arquitetura, como parte deste setor, deve empregar correta e eficientemente materiais e tecnologias a fim de minimizar o excesso de energia consumido pelas edificações (NICO-RODRIGUES, 2015).

Neste contexto, cabe aos profissionais da área da construção civil, a tomada de decisões projetuais que atendam aos princípios da eficiência energética e que se adequem ao clima do local onde se insere a construção, deixando-a preparada para fornecer conforto no cenário das mudanças pelas quais o planeta passa.

Estudo realizado por Man e Jones (2003) mostra que há uma natureza anômala no clima desde o final do século XX, apresentando um nível elevado de calor sem precedentes desde, pelo menos, dois mil anos atrás, evidenciando a existência de um aquecimento global. Segundo Roaf, Crichton e Nicol (2009), desde a década de 1960 já se levantava a possibilidade de que o clima estivesse mudando, dando início à batalha contra as mudanças climáticas e contra os gases responsáveis por elas, cujos níveis de emissão na atmosfera precisam ser reduzidos.

Segundo a Organização das Nações Unidas (UN, 2019), o ano de 2019 foi apontado como um dos anos mais quentes registrados e cenários climáticos extremos estão atingindo populações ao redor de todo o mundo. Um dos desencadeadores do aquecimento global é o consumo de energia proveniente de fontes não renováveis e, por isso, políticas que visem a economia no seu consumo são importantes e permitem um desenvolvimento da sociedade menos agressivo ao meio ambiente (CUNHA, 2006).

A cidade, seus edifícios e a indústria da construção civil consomem grande quantidade de energia. À medida que o setor da construção cresce, nos próximos anos o mundo deverá edificar 230 bilhões de metros quadrados em novas edificações. Dessa forma, as edificações precisam ser 30% mais eficientes até 2030, para se alcançar as metas de contenção das mudanças

climáticas (GLOBAL ALLIANCE FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION, 2017).

Como consequência do aumento de consumo de energia, a arquitetura e a engenharia têm a necessidade de recolocar-se em uma posição de maior harmonia com o meio ambiente para a obtenção da eficiência energética (GRIFFIN; SIEM, 2004).

No entanto, isso não tem ocorrido. As emissões de CO₂ provenientes de edifícios e construções aumentaram quase 1% ao ano em medição realizada entre 2010 a 2016. Isto significa 76 gigatoneladas de emissões de CO₂ (GLOBAL ALLIANCE FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION, 2017).

No contexto do Brasil, indústrias, residências e serviços correspondem a 46,5% do consumo total de energia, apresentando uma taxa de crescimento anual nas emissões de CO₂ de 2,1% (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2019). Desse consumo, a iluminação artificial é responsável por 14% do consumo energético residencial, enquanto os sistemas de condicionamento de ar representam 20%. Soma-se a isso a inadequação das edificações ao clima, ocasionando o uso elevado de condicionamento artificial (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013).

Dados da Agência Internacional de Energia (IEA, 2019a) mostram que o número de aparelhos de ar condicionado a nível mundial aumentou 50% nos últimos dez anos, evidenciando a ineficiência das edificações e a perspectiva de contínuo crescimento no consumo energético residencial em busca de conforto térmico.

Isso é paradoxal, dado que uma das funções da arquitetura é garantir condições térmicas de conforto no interior dos edifícios, mesmo com condições climáticas rigorosas no seu exterior (FROTA; SCHIFFER, 2001). Soluções que forneçam conforto a partir de gastos mínimos de energia são consideradas eficientes. Nesse sentido, edificações naturalmente ventiladas apresentam um custo energético de operação 40% menor do que o custo de um edifício com ar condicionado (G.M. STAVRAKAKIS; et al., 2012), caracterizando a ventilação natural como uma estratégia eficaz.

Um dos elementos que permitem a ventilação natural e, conseqüentemente, uma troca de ar com o exterior são as janelas, que regulam não somente a

temperatura e ventilação, mas aspectos como a umidade, a iluminação, a visual externa, controle de ruídos, aspectos plásticos e estéticos, custos, privacidade e segurança, (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2006).

Desde 1991 Perez aponta que as características intrínsecas do componente janela, tais como seus sistemas de juntas e acessórios, a altura em que está instalada em relação à edificação, a posição na fachada e outras situações definidas pelo próprio edifício e pelo seu entorno, vão definir o desempenho e a eficiência de uma esquadria.

Destaca-se que cada orientação geográfica e condição climática requer um tipo de janela específica que ajudará a definir as condições internas do ambiente.

No entanto, observa-se que os projetistas demonstram pouca preocupação com relação às esquadrias, apesar de ser um elemento que auxilia no conforto térmico dos usuários (NICO-RODRIGUES, 2015). Uma das possíveis justificativas para a ineficiência das janelas atuais é a falta de conhecimentos dos projetistas sobre o assunto e uma carência de ferramentas que, integradas ao processo de produção do projeto, gerem soluções adequadas de modelos de esquadrias.

As janelas são elementos construtivos que exercem influência significativa na qualidade e quantidade de ventilação no interior do ambiente, além de serem um dos principais meios pelos quais os usuários de uma edificação podem controlar o ambiente interior (FROTA; SCHIFFER, 2001, NICOL; HUMPHREYS, 2002 e RIJAL et al., 2007).

Para Betancourt (2013), o projeto de abertura deve incluir estimativas sustentáveis, dentro das normativas de cada país, com base no fato de que todos os ambientes devem ter aberturas que permitam iluminação, ventilação e contato com o exterior.

O dimensionamento correto da janela evita condições desfavoráveis de conforto térmico e ofuscamentos. Janelas com dimensões ótimas dependem das necessidades dos ocupantes e das características do local e de seu entorno, variando de caso para caso (PEREZ, 1991).

Dessa forma, pode-se afirmar que o elemento janela atua como condicionante para obter melhores condições de desempenho, porém, o uso inadequado de tipologias de janelas, em decorrência de imposições mercadológicas; a ausência de modelos disponíveis no mercado que estão de acordo com as normas de desempenho; e a ausência de instrumentos que auxiliem o profissional na escolha de componentes de acordo com as características climáticas locais, são problemas que evidenciam, a necessidade de rever a forma como estão sendo projetadas as janelas no contexto local (NICO-RODRIGUES, 2008).

As edificações contemporâneas replicam estilos arquitetônicos inadequados para as características climáticas locais, conseqüentemente as mesmas não desempenham suas funções adequadamente, resultando no uso recorrente de sistemas ativos consumidores de energia, para climatização (BETANCOURT, 2013).

Diante do exposto, nota-se a importância de propor alternativas que minimizem o problema de modelos de janelas ineficientes, seja por meio de propostas individuais ou por ferramentas que avaliem as inúmeras variáveis interferentes para o uso e para o desempenho das janelas.

Considerando as ferramentas, destaca-se que as mesmas podem estar alicerçadas nos conceitos de sistema generativo, que, valendo-se de algoritmos, possui a capacidade de gerar soluções, a partir da combinação de diversos elementos ou variáveis, contribuindo para o processo criativo, ao gerar um grande número de alternativas para solucionar um problema, maximizando a possibilidade de obtenção de projetos de qualidade (MARTINO, 2015).

Os algoritmos evolutivos são usados na resolução de problemas complexos com múltiplos agentes interagindo entre si, que precisam ser simultaneamente e satisfatoriamente negociados, para obter as soluções mais bem adaptadas (MARTINO, 2015). No caso do elemento janela, há diferentes aspectos a serem definidos, além de limitações referentes às normas e às legislações.

Portanto, considera-se pertinente a definição de uma metodologia que possa ser usada como uma ferramenta pautada nos princípios de sistemas generativos, integrada aos *softwares* utilizados pelos projetistas, gerando possibilidades de modelos de janelas que determinam condições adequadas de conforto térmico.

1.1 OBJETIVOS

Objetivo Geral:

Analisar processos de projeto com a utilização de algoritmos evolutivos para a definição de janelas termicamente eficientes.

Objetivos Específicos:

1. Determinar as características das janelas, do ambiente e do usuário que influenciam no desempenho térmico de edifícios naturalmente ventilados, segundo as normativas de conforto térmico;
2. Estabelecer uma metodologia de avaliação de desempenho térmico a partir da modelagem de um sistema generativo utilizando algoritmos; e
3. Avaliar comparativamente o desempenho térmico das janelas obtidas pelos algoritmos evolutivos e pelas normativas vigentes, com ênfase no modelo de conforto térmico adaptativo.

1.2 METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa será dividida em cinco etapas: definição e caracterização do objeto de estudo; fatores físicos; *software* para parametrização; configuração do modelo e; representação dos resultados.

Etapa 1: A caracterização do objeto de estudo analisou janelas utilizadas em edifícios residenciais. Foram pontuadas as características físicas e uma análise, identificando as limitações que influenciam na eficiência quanto ao funcionamento integrado ao edifício e os aspectos técnicos, normativos e legislativos que regem o contexto projetual das esquadrias.

Etapa 2: Os fatores físicos tratam das condições climáticas do local escolhido para realização da simulação e como influenciam no projeto de janelas.

Etapa 3: A escolha do *software* para parametrização, considerou os programas que possibilitassem o estudo em conjunto das inúmeras variáveis do elemento janela que interferem na obtenção do conforto térmico. Nesta etapa, definiu-se os parâmetros de entrada do *software Rhino 6 for Windows*, e dos *plug-ins Grasshopper* e *Galapagos*, destacando as características físicas da janela, do

edifício e do ambiente, de acordo com as diretrizes prescritas na norma ASHRAE 55 (AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, 2013).

Etapa 4: Construção dos algoritmos segundo as definições de caracterização do objeto de estudo.

Etapa 5: A representação dos resultados evidenciando a análise comparativa, objetivando destacar o modelo de janela mais eficiente.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente volume é composto por 4 capítulos após esta introdução, que contextualizou o problema, justificou sua relevância, com apresentação dos objetivos geral e específicos e estruturou a metodologia empregada.

Capítulo 2: abordagem teórica tratando do elemento janela e a influência no ambiente construído, normativas de conforto, sistemas generativos e processos de parametrização.

Capítulo 3: foram descritos os procedimentos metodológicos utilizados para a obtenção dos resultados esperados. Definição e caracterização do objeto, análise do local, montagem do sistema, simulações e representação dos resultados.

Capítulo 4: os resultados analisados e comparados.

Capítulo 5: considerações finais, apresentando as limitações da pesquisa e possibilidades de estudos futuros e analisando o êxito em alcançar os objetivos propostos.

Também há Referências Bibliográficas citadas no documento e Apêndice com as informações complementares ao trabalho.

2 ABORDAGEM TEÓRICA

Este capítulo descreve o embasamento conceitual da pesquisa em quatro temas principais. O primeiro destaca o elemento janela, conceitos e história até a caracterização de seus aspectos e a forma como cada modelo contribui para a eficiência da edificação. O segundo segue a temática referente ao conforto e ao desempenho térmico, explicando os conceitos, demonstrando a sua importância e a relação com o elemento janela. O terceiro tema corresponde ao entendimento das normativas internacionais que buscam orientar os projetistas na busca pela obtenção do conforto do usuário e no desempenho das edificações.

No último tema, foram tratados os conceitos importantes para a utilização dos *softwares* quanto ao desenvolvimento da metodologia: sistemas generativos evolutivos, algoritmos e parametrização. Nessa abordagem foram destacados a importância do uso destas ferramentas para a obtenção dos resultados desta proposta.

2.1 CONCEITO E BREVE HISTÓRICO DAS JANELAS

Segundo Mendonça (2005), inevitavelmente, a história das fachadas passa pela história das aberturas, ou seja, das portas e das janelas. Como a porta era óbvia, a janela é a primeira invenção da arquitetura (TÁVORA, 1991 apud SILVA, 2008).

Sabe-se que, no início das civilizações, as moradias construídas tinham apenas portas para acesso interno, sem possuir nenhum outro tipo de abertura voltada para o exterior. Com o uso do fogo em seu interior, seja para aquecimento, alimentação ou proteção, a qualidade do seu ar era reduzida. Possivelmente um buraco feito na parede ou no teto, para permitir a saída da fumaça, seja um precursor das janelas (MARINOSKI, 2005).

Segundo Jorge (1995), uma possível origem da janela deriva de uma variação ocorrida com a porta, realizando o preenchimento de sua parte inferior, atualmente denominada de peitoril. Tal atitude reflete uma mudança física e

qualitativa, já que altera a função da abertura, que não permite mais a passagem de indivíduos, mas sim da luz e do ar.

Se buscarmos a etimologia da palavra, *janela* deriva do latim vulgar *januella*, diminutivo de *janua* (ou *ianua*) que designava a porta, passagem, entrada, acesso. Já *jānus* (*iānus*), substantivo masculino, designa passagem, arcada, pórtico ou galeria abobadada no fórum, onde os banqueiros e cambistas tinham suas lojas (...) Porém, *Jānus* (*ian*), substantivo próprio masculino (Jano), era a divindade das portas de passagem (JORGE, 1995, p. 21).

A relação entre portas e janelas é ambígua, causando confusão em algumas situações. A distinção entre elas faz-se pela função: enquanto a porta claramente permite a passagem, a janela deixa em aberto esta possibilidade. Estes elementos partilham muitas características tanto nos aspectos construtivos, quanto nos formais. A forma da janela é um dos aspectos que marcam a sua evolução na história da arquitetura, podendo remeter a épocas específicas (SILVA, 2008).

Tratando do contexto histórico, o Antigo Egito apresentava raras janelas em sua arquitetura, sendo que as poucas existentes eram pequenas (Figura 1). Tal fato se justifica por manter os ambientes frescos, sem entrada de luz solar, de modo que a luz do dia entrava nas grandes salas pelas brechas na cobertura e entre colunas (IVANÓSKI, 2004).

Figura 1: Construção do Antigo Egito



Fonte: Ferreira (2010).

Na Grécia Clássica, observa-se que as janelas também eram pequenas, como no Egito (Figura 2). Na Ásia Ocidental, havia também uma raridade de janelas na Assíria e na Babilônia. Já na região africana dominada pelo Império Romano, em geral havia apenas uma abertura por ambiente, que era a entrada do

cômodo. Elas eram partidas em duas ou três partes, e a porta continha a janela (IVANÓSKI, 2004).

Figura 2: Simulação de uma casa grega antiga



Fonte: Francisco (2013).

Na Europa, com destaque para Roma, os edifícios passaram a ter mais janelas voltadas para a rua. Com o desenvolvimento do arco e da abóbada, bem como das demais formas estruturais do período, as janelas puderam ser abertas livremente por entre os seus apoios (Figura 3). O tamanho das janelas aumentou para obter mais luz do dia no interior das basílicas e das salas termas (IVANÓSKI, 2004).

Figura 3: Reconstituição de uma casa popular romana



Fonte: Imbroisi (2016).

As aberturas vão evoluindo de acordo com as necessidades que os seres humanos têm de se relacionar com o mundo externo e suas formas de conceber o espaço. As tipologias das janelas foram sendo modificadas ao longo dos séculos, seja por razões de iluminação, de convívio social ou de ventilação para a higienização interna (NICO-RODRIGUES, 2008).

Durante a Idade Média, os peitoris das janelas eram altos, dando acesso à luz e já havia a transparência dos vidros, uma tecnologia considerada avançada para o período em questão (IVANÓSKI, 2004), como pode-se ver na Figura 4.

Figura 4: Igreja medieval de San Martín de Tours



Fonte: Ferreira (2017).

A transição para o período histórico do Renascimento foi marcada pelo desenvolvimento da vida urbana, tendo a cidade passado a ser uma atração que despertava interesse em seus ocupantes, sejam estes moradores ou visitantes. Assim, as aberturas nas paredes eram apenas nos andares superiores, para proteger a casa da visão interna, mas ainda permitindo que seus ocupantes pudessem contemplar a vida na cidade (IVANÓSKI, 2004). Ainda nessa época, as janelas foram equipadas com elementos como as persianas. Neste contexto, a janela torna-se uma moldura que envolve uma paisagem mutável entre as horas dos dias e as estações do ano, enquadrando os acontecimentos exteriores (Figura 5). Foi a primeira televisão e assume uma função na vida social (SILVA, 2008).

Figura 5: Fragmento da Pintura “Moça lendo uma carta à janela” de Vermeer.



Fonte: Jan Vermeer Org (2017).

A Renascença encontrou a liberdade do sistema arquitecónico, com vigas apoiadas em colunas nas suas extremidades, o que abriu o caminho para um leque

variado de janelas (Figura 6), que eram simétricas, emolduradas e ordenavam a fachada (IVANÓSKI, 2004).

Figura 6: Palazzo Farnese, exemplo de arquitetura renascentista



Fonte: Britannica (2019).

A combinação de cantarias e pingadeiras forma a imagem típica que se tem das janelas clássicas, compreendendo desde o Renascimento até o período do Neoclassicismo (SILVA, 2008).

Dentro do período Barroco, a janela foi consagrada como um elemento que era considerado fundamental para a linguagem arquitetônica. Suas molduras saíram dos padrões clássicos, tendo desenhos mais livres e composições diferentes, como pode ser visto no exemplo ilustrado pela Figura 7. Elas foram integradas a todo o movimento do conjunto arquitetônico. Entre o século XV e XVII, a janela se libertou da obrigação de se posicionar proporcionalmente nos vãos das colunas, renovando o repertório clássico (IVANÓSKI, 2004).

Figura 7: Igreja São Francisco de Assis, arquitetura barroca



Fonte: Decora (2019).

No Barroco, a janela passou a apresentar elementos que perderam a sua identidade construtiva, tornando-se meramente objetos ornamentais. É o caso

dos frontões, que estão tão estilizados, que não se destinam mais a afastar a água da chuva, mas meramente coroar e ornamentar a janela, para conferir movimento às fachadas (SILVA, 2008).

Nota-se que a história das janelas mostra que diferenças culturais determinaram diversas maneiras de tratar a iluminação e a ventilação dentro das construções, além de refletir as técnicas construtivas que estão sendo exploradas em determinado período da história humana (NICO-RODRIGUES, 2008).

Janelas mais arcaicas, por exemplo, apresentavam várias divisões em seus caixilhos, e eram preenchidas por pequenas peças de vidro, conforme se vê na Figura 8. Com as evoluções tecnológicas, foi possível conferir mais transparência a elas, compondo caixilhos que amarram folhas inteiriças de vidro (SILVA, 2008).

Figura 8: Janela com caixilharia dividida em quadrículas



Fonte: Silva (2008).

A utilização em larga escala do ferro e do vidro e suas inovações no século XIX integraram as janelas ao contexto iluminista da época. Fazia-se presente um experimentalismo formal na arquitetura, com novas possibilidades de dimensionamento dos vãos e das aberturas, associadas a um ideal de leveza (Figura 9). Esse sistema aumentou os vãos e quebrou os ritmos das fachadas existentes nas construções de alvenaria estrutural (IVANÓSKI, 2004).

Figura 9: Palácio de Cristal de Madrid



Fonte: Turismo (2019).

A história demonstra que os vãos tiveram diversas funções a partir do desenrolar da arquitetura. As janelas foram usadas para proteger a edificação da ação dos agentes climáticos como chuva e frio, para fornecer luz natural, bem como para comunicar o interior com o exterior com suas aberturas (BETANCOURT, 2013).

Com o movimento moderno, o século XX teve o concreto armado como mecanismo de revolução da história da janela. Le Corbusier, arquiteto modernista europeu do período, foi o principal inovador de janelas, alicerçado em seus cinco princípios modernistas: planta livre, pilotis, janela em toda a largura, telhado jardim e fachada livre (IVANÓSKI, 2004), exemplificados pela Figura 10.

Figura 10: Villa Savoye de Le Corbusier



Fonte: Archdaily (2010).

Segundo Silva (2008), Frank Lloyd Wright, outro notável arquiteto do período, realizava a simbiose entre o interior e o exterior por meio das janelas. Ele associava o mobiliário aos parapeitos, transportando atividades internas para o exterior, pelas janelas (Figura 11).

Figura 11: Projeto de Frank Lloyd Wright relacionando interior e exterior pela janela



Fonte: Silva (2008).

Entre os anos de 1960 e 1990, houve um grande avanço tecnológico na produção de janelas, tendo uma melhoria na qualidade das superfícies, novos materiais introduzidos e melhor isolamento térmico e acústico. Surgiram as janelas com vidro duplo ou triplo e suas tecnologias associadas (MARINOSKI, 2005).

Um exemplo desses avanços tecnológicos é o Instituto do Mundo Árabe em Paris (Figura 12) de Jean Nouvel, construído nos anos 1980. Esta obra apresenta uma parede constituída por janelas inteligentes, que são fotossensíveis e reagem à luz (SILVA, 2008).

Figura 12: Instituto do Mundo Árabe



Fonte: Silva (2008).

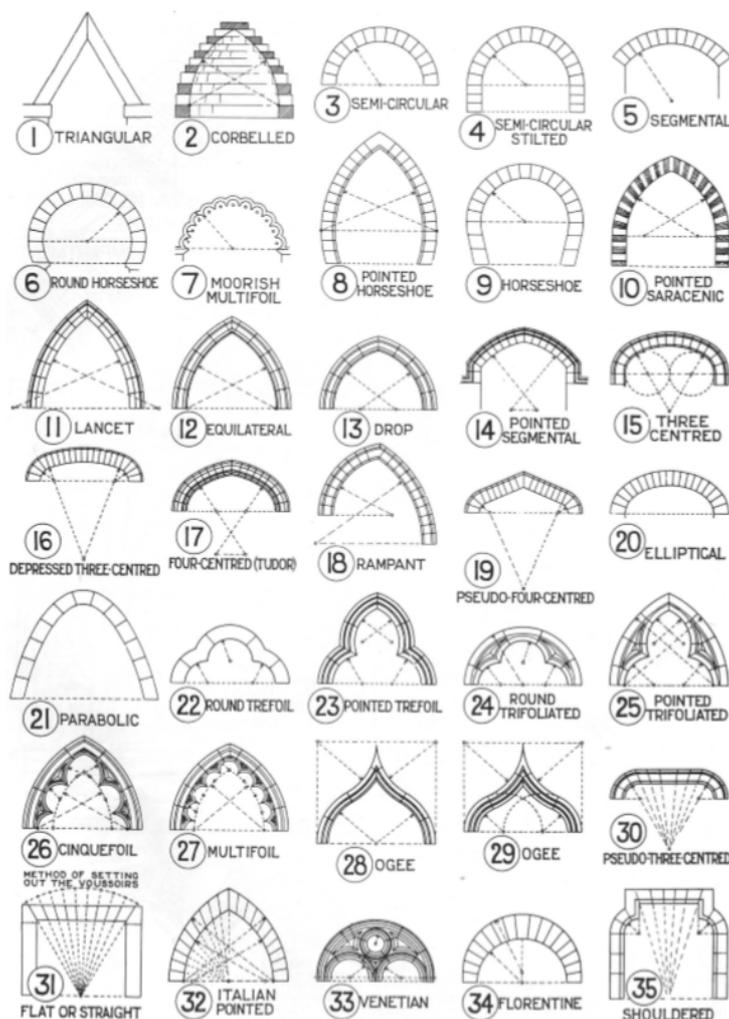
O final do século XX foi marcado pela diversidade de produções arquitetônicas que tinham a janela como um significado dentro do edifício, que era tido como uma obra de arte ou de alta tecnologia. As normas e inovações utilizadas no

mercado comercial passaram a determinar a eficiência das esquadrias, com condicionantes como estanqueidade (NICO-RODRIGUES, 2008).

Desde a época das cavernas, até os dias atuais, as aberturas contribuem para a expressão estética do edifício e para a qualidade de seu espaço interior. Le Corbusier confirmou tal fato ao afirmar que a história da arquitetura nada mais é do que a história de como os arquitetos abriram as janelas nas paredes (LEATHERBARROW; MOSTAFAVI, 2002).

E a janela é o elemento que melhor exemplifica as características arquitetônicas de um período. Segundo Silva (2008), seus elementos básicos: verga, ombreiras e peitoril, que dão a forma às janelas, são reflexos das capacidades alcançadas pelos sistemas construtivos e estruturais de cada época. As diferentes formas dos arcos podem remeter aos períodos históricos diversos (Figura 13).

Figura 13: Vários arcos segundo Banister Fletcher



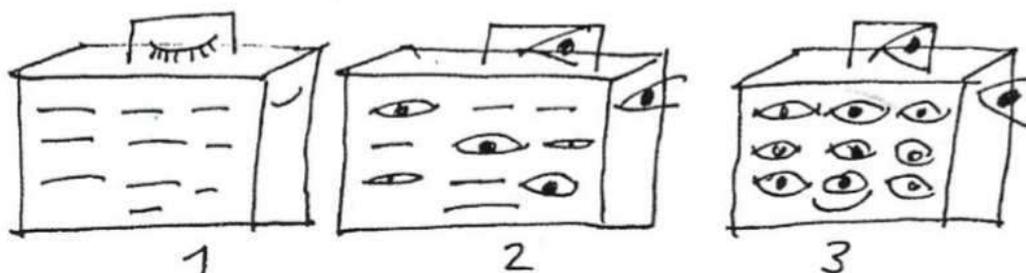
Fonte: Silva (2008).

Esta evolução levou ao que se tem hoje, onde o elemento de inserção do ambiente habitado pelo homem na paisagem, no espaço urbano ou na cidade, é a janela, que faz a mediação entre o interno e o externo, qualificando e quantificando essa relação. Quando a vista da janela é um valor para o ambiente em que se insere, ela o qualifica; quando molda o espaço através da luz, estendendo-o ou comprimindo-o, como se fosse uma matéria submetida à sua ação, quantifica (JORGE, 1995).

Os espaços arquitetônicos definem-se pelos fechamentos de sua envoltória, que são as paredes, as aberturas e a cobertura. As aberturas são as portas, janelas e os vãos, mas o elemento que realmente confere cumplicidade das ações entre o interno e o externo, conservando a integridade dos espaços, são as janelas (NICO-RODRIGUES, 2008).

Segundo Silva (2008) as janelas são os olhos, ouvidos e os pulmões da edificação, ao permitir a passagem de luz, de sons e de ar, do interior para o exterior e do exterior para o interior (Figura 14). Num contexto contemporâneo, com fachadas completamente revestidas de vidro, ela também é a pele do edifício, recebendo ainda a função de ser o seu revestimento exterior.

Figura 14: Escritório da Junta de Andaluzia, onde janelas são concebidas como olhos que tanto podem abrir como fechar



Fonte: Silva (2008).

As janelas não são apenas instrumentos de vista ou que definem a aparência de uma edificação. Elas também são instrumentos de ajuste, pois, as modificações nela ou em seus componentes de sombreamento geram alterações aparentes na iluminação, nos ruídos, na temperatura e em outras qualidades que caracterizam a sua configuração. As janelas emolduram o exterior, ao passo que marcam o interior dos edifícios (LEATHERBARROW; MOSTAFAVI, 2002).

Quando se trata da qualidade do ambiente interno, o fato das janelas poderem fornecer ventilação e circulação de ar, além de poderem servir como rotas de fuga nos casos de incêndio, merece atenção. Como um produto integrante da envoltória do edifício, é esperado que sejam resistentes ao vento, aos vazamentos de ar e à penetração da chuva. Como componentes de vedação, espera-se que as janelas controlem o calor, especialmente nos meses de verão e de inverno. Ainda, espera-se que parte dos ruídos seja barrada, permitindo a entrada apenas de níveis aceitáveis pelos usuários. Como elementos de ligação, as janelas possibilitam o contato visual com o ambiente exterior, tornando possível o acesso de energia solar sob a forma de luz e de calor ao ambiente construído (TIBIRIÇA, 1999).

Segundo Mangkuto et al. (2018), no contexto do projeto do edifício, as janelas são consideradas um de seus componentes mais importantes. Elas exercem influência positiva na saúde e no bem-estar dos ocupantes das edificações.

As janelas oferecem vista da paisagem e permitem a passagem de luz e ventilação natural. No entanto, a luz solar pode representar um alto ganho de calor no interior dos ambientes, significando mais da metade das cargas de energia para resfriamento em uma edificação com ar condicionado (GRIFFIN; SIEM, 2004).

Desde a década de 1960 (MARKUS, 1967), sabe-se que existem diferentes critérios para um projeto de janela. Na maior parte das decisões do projetista, o projeto da janela eficiente reduz os problemas de desempenho do edifício, bem como a otimização das especificações de cada função, a qual deve ser apontada para tornar os possíveis problemas solucionáveis. Cada aspecto deve ser quantificado.

Segundo Foroughi, Mostavi e Asadi (2018), ao se determinar ótimos parâmetros de projeto para as janelas, uma quantidade significativa de energia pode ser economizada, tanto em regiões quentes como em regiões frias, se esses parâmetros forem considerados nos estágios iniciais de projeto.

O uso da janela como barreira térmica e fonte de luz, realmente levou a avanços no desempenho, mas também trouxe consequências estéticas. Arquitetos e fabricantes de janela escolhem, muitas vezes, modelos que apresentem forma e

aparência de janelas tradicionais (LEATHERBARROW; MOSTAFAVI, 2002), o que pode ser inadequado.

Há uma variedade de sistemas de esquadrias existentes. Elas podem ser fixas ou móveis; girar, abrir ou deslizar, mas os projetistas acabam optando por escolher sempre os mesmos sistemas, mais fáceis de serem encontrados no mercado. Um estudo realizado em Vitória, mostra que a maioria das janelas utiliza o sistema de correr, sem dispositivo sombreador, embora não seja este o sistema mais indicado para a região (NICO-RODRIGUES et al., 2015).

Diversos fatores influenciam no desempenho térmico da janela. Dependendo dos aspectos de demanda energética do edifício para aquecimento, resfriamento e iluminação, o consumo de energia em virtude do modelo de janela escolhido vai variar. Um estudo realizado por Trzaski e Rucińska (2015) mostra que, em alguns casos, essas variações não são significativas, mas em parâmetros como orientação, ventilação, área de janela, condições climáticas, dentre outros, existem mudanças significativas dos indicadores de desempenho energético. Soma-se a isso que, para melhorar o conforto térmico e a eficiência energética, os elementos de sombreamento influenciam neste balanço.

Destaca-se, portanto, que as janelas são uma fonte valiosa de luminosidade e ventilação, mas também influenciam largamente as demandas de aquecimento e resfriamento dos edifícios (TRZAŃSKI; RUCIŃSKA, 2015).

Por serem um dos elementos que influenciam significativamente o desempenho do edifício, tanto em termos de conforto quanto de consumo energético para aquecimento e resfriamento, é importante encontrar um projeto otimizado de janelas que equilibre as suas propriedades (AMARAL et al., 2016). Esse potencial faz com que as janelas sejam o elemento mais complexo no projeto residencial (ÇETINER et al., 2012).

Para um projeto de qualidade, Tibiriça desde 1999, destaca que o desempenho ambiental proporcionado pela janela correta é um caminho promissor para se unir o uso racional da energia com o conforto ambiental. Segundo Nico-Rodrigues (2015), para se entender adequadamente as janelas como esse elemento, fundamental para a economia de energia e desempenho térmico, formado por elementos que se inter-relacionam para proporcionar melhores

condições de habitabilidade, deve-se entender as características e funções dos seus elementos principais.

Existem vários componentes de janela que influenciam no consumo de energia, tais como o modelo e tipo de vidro; a relação entre a área da parede e da janela (WWR); o material do caixilho; os elementos sombreadores; o formato; a quantidade de fluxo de ar que é possibilitado pelos elementos vazantes; o posicionamento; o sistema de abertura e; o controle operativo (FOROUGH; MOSTAVI; ASADI, 2018). Cada aspecto interfere e, portanto, será abordado individualmente a seguir.

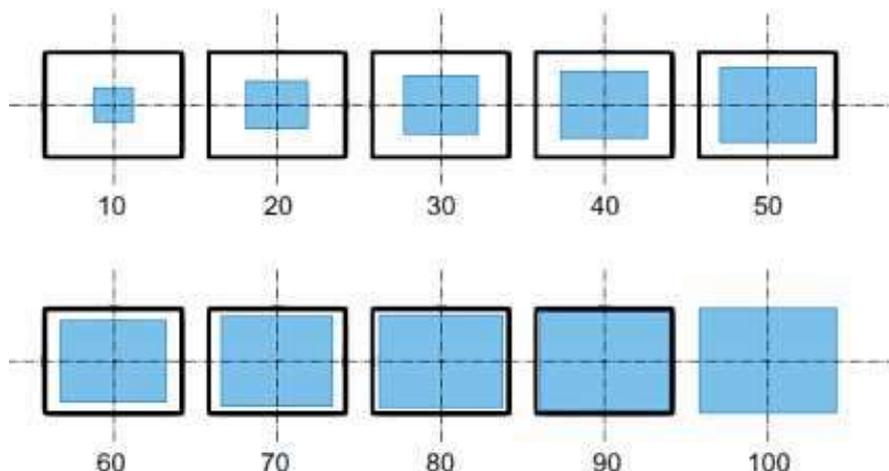
2.1.1 Formato e Dimensão

O tamanho das aberturas exerce papel de protagonista na experiência lumínica existente dentro de cada espaço construído. O desenho dos vãos responde a questões formais e estéticas, onde o projetista deve considerar, além da entrada de luz natural, os efeitos luminosos, seus contrastes entre luz e sombra, os jogos de luz, a quantidade de iluminação, bem como aonde, em que horários e em que quantidade a luz deve adentrar (BETANCOURT, 2013). Especificar a área ideal de janela para um ambiente onde haja um balanço entre a quantidade de luz natural fornecida e as cargas térmicas provenientes da radiação solar leva à otimização no consumo de energia do espaço (GHISI; TINKER, 2005).

Soma-se à iluminação, a questão da ventilação, onde a dimensão da janela influencia diretamente na quantidade de ar no ambiente, promovendo a sua renovação e proporcionando conforto térmico. Maximizar as áreas de janela vai normalmente permitir uma maior entrada da luz natural, assim como uma melhor visualização do exterior. Entretanto, isso também vai aumentar as demandas por condicionamento artificial (OCHOA et al., 2012) quando a quantidade de ventilação que passa pela esquadria não é suficiente para dar conforto aos usuários.

As janelas determinam, dessa forma, o uso de energia e os padrões de conforto visual dos edifícios. A escolha de suas áreas e proporções (Figura 15) é parte fundamental das decisões tomadas nos momentos iniciais do projeto, sendo elementos difíceis de serem modificados nos estágios mais avançadas (OCHOA et al., 2012).

Figura 15: Relações de dimensões de janelas estudadas por Ochoa et al. (2012). Quantidades expressas em porcentagem de WWR



Fonte: Ochoa et al. (2012).

Ochoa et al. (2012) ainda destacam que o mecanismo de escolha do WWR deve passar por processo cauteloso, nos quais múltiplos aspectos devem ser considerados, dentre eles, os aspectos de desempenho exigidos pelas certificações e pelas legislações, que tendem a buscar os melhores resultados de desempenho do edifício.

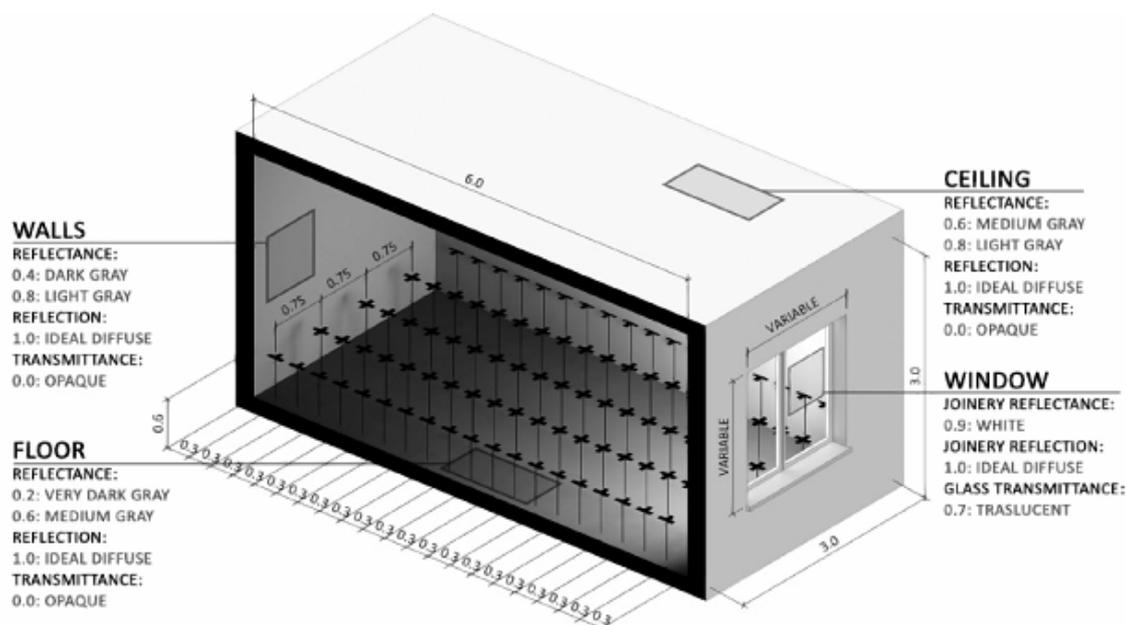
Um desses aspectos a ser considerado em projetos de esquadrias, segundo Amaral et al. (2016), é o tipo, espessura e quantidade de folhas de vidro. Cada janela tem sua própria geometria ideal e, segundo os autores, em reformas, quando as esquadrias são substituídas e há mudanças nos vidros, as suas áreas também devem mudar para a manutenção do desempenho térmico.

Estudos demonstraram que a área ideal de janela tende a ser maior nas fachadas que são menos atingidas pela radiação solar direta, visto que a área envidraçada gera um potencial de economia de energia na diminuição do uso de iluminação artificial. Também foi constatada outra relação existente entre a dimensão adequada da janela e o local em que ela se insere: quanto maior o ambiente e, quanto mais estreita a sua largura, maior a área da janela ideal para permitir sua adequada iluminação (GHISI; TINKER, 2005).

Assim, a quantidade de luz natural em um ambiente vai ser diretamente proporcional ao tamanho da área de superfície de vidro que a janela apresenta. Segundo Acosta; Campano e Molina (2016), o fundo dos ambientes é o local mais beneficiado pelas janelas com maiores dimensões, pois são as áreas que

tendem a ter maior dependência de sistemas de iluminação artificial, em modelo simulado conforme Figura 16.

Figura 16: Modelo de Acosta, Campano e Molina (2016)



Fonte: Acosta; Campano e Molina (2016).

No que diz respeito ao formato da janela, Acosta; Campano e Molina (2016) demonstraram que, quando centralizadas no ambiente, as janelas vão produzir valores semelhantes de autonomia de luz natural ao ambiente, independentemente da sua proporção. Entretanto, em janelas localizadas nas extremidades, a autonomia de luz é maior para janelas horizontais, formato que produz mais uniformidade de iluminação e é mais efetivo na economia de energia do que os outros formatos.

Pode-se concluir, como Foughi; Mostavi e Asadi (2018) demonstraram, que há formatos e proporções de janelas ideais diferentes para cada localização geográfica e orientação de fachada, por conta das questões climáticas específicas de cada sítio.

2.1.2 Posicionamento

Na definição do local adequado para o posicionamento das janelas, também se deve considerar uma série de fatores importantes. Segundo El Daly (2014), o adequado posicionamento do sistema de fenestração é um elemento importante no projeto de arquitetura, já que além de se relacionar com o aspecto estético do

desenho da fachada, é crucial para o melhoramento da qualidade do ar no interior dos ambientes.

Ainda segundo o autor, o desafio de se posicionar adequadamente as janelas está conectado com os aspectos estéticos do edifício e se torna mais importante à medida que se tenta atingir eficiência, ou mesmo a validação por meio de sistemas de certificação da sua qualidade.

Melhorar o nível de iluminação natural no ambiente também é uma característica inerente à correta alocação das janelas. Isso, entretanto, traz também o aumento de cargas térmicas, que podem demandar cargas adicionais de energia ao edifício. O equilíbrio entre a carga térmica e a iluminação adequada é uma demanda de projeto para os projetistas contemporâneos (EL DALY, 2014).

Estudo realizado por Misiwopecki et al. (2018) demonstra que posicionar uma janela de acordo com a prática comum, resulta numa perda de até 30% de cargas térmicas adicionais. Enquanto uma janela posicionada nos locais mais eficientes, em termos de energia, pode reduzir as perdas em função da transmitância de calor em mais de 50%. Os resultados das simulações mostram que o posicionamento da janela tem papel crucial na quantidade de energia que será perdida devido às pontes térmicas.

Acosta, Campano e Molina (2016), por sua vez, demonstram que janelas localizadas em posições mais altas têm altos desempenhos quanto à autonomia de luz natural no meio e no final do ambiente. O que pode reduzir os gastos com energia elétrica para iluminação artificial de 10 a 30%.

Sabe-se, também, que a altura ideal para se posicionar as aberturas adequadamente no interior de uma edificação dependerá das atividades que são realizadas. Segundo Griffin e Siem (2004), janelas baixas, por exemplo, se adequam bem em ambientes como os dormitórios.

Betancourt (2013) demonstra ainda que, ao se posicionar as janelas nas fachadas, cada orientação solar apresenta uma distribuição ideal de quantidade de aberturas, levando-se em conta as características climáticas de casa região.

2.1.3 Material

Os materiais de uma janela podem ser divididos em dois grupos: os que permitem uma visão clara e aqueles que a obscurecem (BOYD, 1957). Os vidros se enquadram no primeiro grupo, enquanto que os caixilhos compõem o segundo.

Segundo Remourinho (2007), o caixilho corresponde a cerca de 25% da área de uma janela convencional e recomenda-se que não seja um condutor térmico. A madeira e o PVC funcionam bem, já o alumínio tem um desempenho energeticamente inferior, mas é durável e requer pouca manutenção. As janelas de madeira, por sua vez, são mais caras e têm custos significativos de manutenção, além disso, a madeira apodrece, encolhe e incha e sua pintura precisa de constantes reaplicações. Porém, quando bem tratadas, as esquadrias de madeira têm bom aspecto, são estáveis e podem ser facilmente repintadas. Já as de PVC, têm custos mais elevados de instalação, apesar do bom desempenho, o que faz com que sejam menos utilizadas nas construções.

Na análise de desempenho térmico dos elementos que compõem o envelope do edifício, dentre eles as janelas, consideram-se as propriedades óticas e as termofísicas. As primeiras são a absorvidade, a transmissividade e a refletividade. Já nos aspectos termofísicos, há o coeficiente de transferência de calor global, conhecido como valor U, a taxa de transparência e a relação entre área de janela e área de fachada (ORAL, 2000).

Dentre todos os aspectos do edifício e, em decorrência de suas características intrínsecas, a janela é o elemento que apresenta o pior desempenho térmico, na medida que as áreas envidraçadas apresentam valores altos de índice de transferência de calor - valor U -, quando comparados aos elementos opacos do envelope (AMARAL et al., 2016).

Descobriu-se que o valor U tem uma importância fundamental no desempenho de janelas (SKARNING; HVIID; SVENDSEN, 2016). Selecionar um vidro com baixo valor U é mais eficiente, por exemplo, do que modificar a área de janela durante o processo de projeto de uma edificação (SU; ZHANG, 2010).

Por isso, os vidros são os elementos mais estudados atualmente no âmbito das janelas. Segundo Jelle e Hagen (1999) materiais novos e soluções diferentes para as janelas podem modificar a indústria e revolucionar a forma como são produzidas.

Além disso, se for considerado o sistema de envidraçamento mais adequado nas fases iniciais de projeto, pode-se melhorar o desempenho térmico do edifício nas fases seguintes de sua operação (AMARAL et al., 2016).

Em climas frios, por exemplo, a escolha do envidraçamento deve ser feita por meio de uma relação entre a transmissão de luz que ele permite passar e os ganhos de calor gerado (MOTUZIENE; JUODIS, 2010). No caso de climas quentes, janelas com vidros de menor valor U são mais apropriadas do que aquelas que usam vidros de alto valor (FIRLAG et al., 2015).

Janelas com mais de uma camada de vidro, como as duplas ou triplas, mostradas na Figura 17, ou com materiais translúcidos alternativos ao vidro, como acrílicos e triplos com isolamento na caixa-de-ar, e placas de policarbonato são soluções que buscam otimização energética na construção. Eles associam os ganhos térmicos diretos com uma boa capacidade de isolamento, mantendo o calor no interior (DE MENDONÇA, 2005).

Figura 17: Exemplos de esquadrias com vidros simples, duplos e triplos



Fonte: Havit Window Co (2016).

Materiais incluindo hidrogéis, líquidos iônicos, *perovskitas*, metamateriais e cristais líquidos têm sido estudados e incorporados aos estudos para aplicação em janelas inteligentes. Além disso, os estudos de técnicas integradas, incluindo eletrotérmica, autolimpeza, molhabilidade e integração com células solares tem sido discutidos (KE et al., 2018).

Janelas que regulam de forma inteligente a radiação solar, por meio de suas propriedades de transmitância ótica, ao responderem a estímulos térmicos, são uma solução promissora na redução do consumo de energia de edifícios (KE et al., 2018).

As janelas inteligentes possuem tecnologias que permitem uma flexibilidade em termos de ganho de calor solar, luz diurna e claridade no interior das construções. Essa flexibilidade é, justamente, obtida em razão de sua capacidade de adaptação ótica, indo de um aspecto claro ao escuro, graças aos estímulos que recebe de concentração de gás, temperatura, radiação solar ou tensão (DUSSAULT; GOSSSELIN, 2017). No entanto, ainda há a necessidade de se estudar mais o assunto para tornar esse sistema uma solução viável (KE et al., 2018).

Um estudo realizado por Dussault e Gosselin (2017) mostrou que a presença de janelas inteligentes gera uma influência considerável nos resultados de consumo de energia, principalmente relacionada a refrigeração e iluminação. Isso evidencia a relevância desse tópico.

2.1.4 Sombreamento

A área total de vidro existente nas aberturas afeta de forma determinante a quantidade de luz e calor transmitidos para o interior das edificações. A melhor técnica para gerar qualidade térmica e lumínica no interior dos ambientes, reduzindo o consumo dos sistemas de condicionamento de ar, é proteger as janelas e as fachadas de vidro da radiação solar (GRIFFIN; SIEM, 2004).

Bons elementos de sombreamento devem ser dimensionados de acordo com o uso previsto para o edifício e com as condições climáticas locais. Definir uma estratégia que se encaixe bem pode reduzir os custos do edifício, aumentar sua eficiência energética e reduzir efeitos negativos no meio ambiente (KIRIMTAT et al., 2016). Ainda segundo o mesmo autor, a distribuição de luz de forma homogênea é desejada tanto nos períodos quentes quanto nos frios, de forma que vários aspectos devem ser considerados ao se projetar um elemento de sombreamento, sendo a forma do edifício e a sua orientação os mais importantes.

Para Nico-Rodrigues (2015), a escolha do dispositivo de sombreamento deve considerar aspectos como a eficiência, a plasticidade, a privacidade, a durabilidade e os custos. Além disso, deve-se definir os horários e o período de maior incidência solar como fatores determinantes para a proteção solar, já que estão relacionados com as perdas de calor por transmissão e com o controle de radiação solar.

Em regiões quentes, principalmente, o sombreamento é essencial para se reduzir os gastos com resfriamento dos edifícios, (KIRIMTAT et al., 2016). À medida que o tamanho da janela aumenta, a necessidade de refrigeração durante os meses de calor fica mais notória. As proteções solares entram como ponto de equilíbrio entre consumo energético, iluminação e conforto térmico (PERSSON; ROOS; WALL, 2006). Uma solução otimizada de sombreadores permite uma proteção solar efetiva e uma entrada adequada de luz natural (DAUM; MOREL, 2010).

Esses elementos, no entanto, ao passo que reduzem o consumo de energia com climatização artificial, podem também reduzir o nível de conforto visual e aumentar o consumo de iluminação artificial. Deve-se otimizar o dimensionamento dos sombreadores com o desempenho térmico e o desempenho visual (DAUM; MOREL, 2010 e AMARAL et al., 2016).

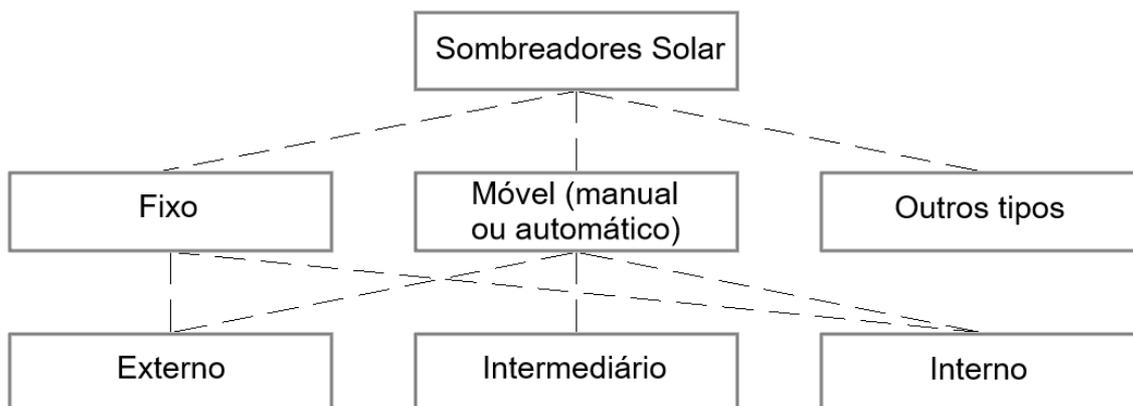
Nesse sentido, assim como uma área de janela, ou tipo de vidro inadequados podem impactar em ganhos ou perdas de calor, um sombreador incorreto pode contribuir negativamente, gerando o desconforto térmico e visual dos ocupantes e o aumento do consumo de energia dos sistemas de condicionamento.

Os programas que avaliam a eficácia dos dispositivos de sombreamento consideram aspectos como a latitude, orientação e dimensões das janelas (GRIFFIN; SIEM, 2004 e RADHA, 2018), e podem auxiliar na definição do modelo de sombreador com o melhor desempenho.

O dimensionamento dos dispositivos deve considerar o fator de ganho solar ou coeficiente de sombreamento, podendo ser móveis ou fixos e verticais ou horizontais. Também é importante considerar as visuais, a ventilação e a manutenção ao se escolher o tipo mais adequado à função e ao lugar (NICO-RODRIGUES, 2015).

Bellia et al. (2014) propuseram um sistema de classificação dos dispositivos de sombreamento de acordo com o seu tipo e a sua localização em relação à janela, ilustrado pela Figura 18.

Figura 18: Classificação dos sistemas de sombreamento

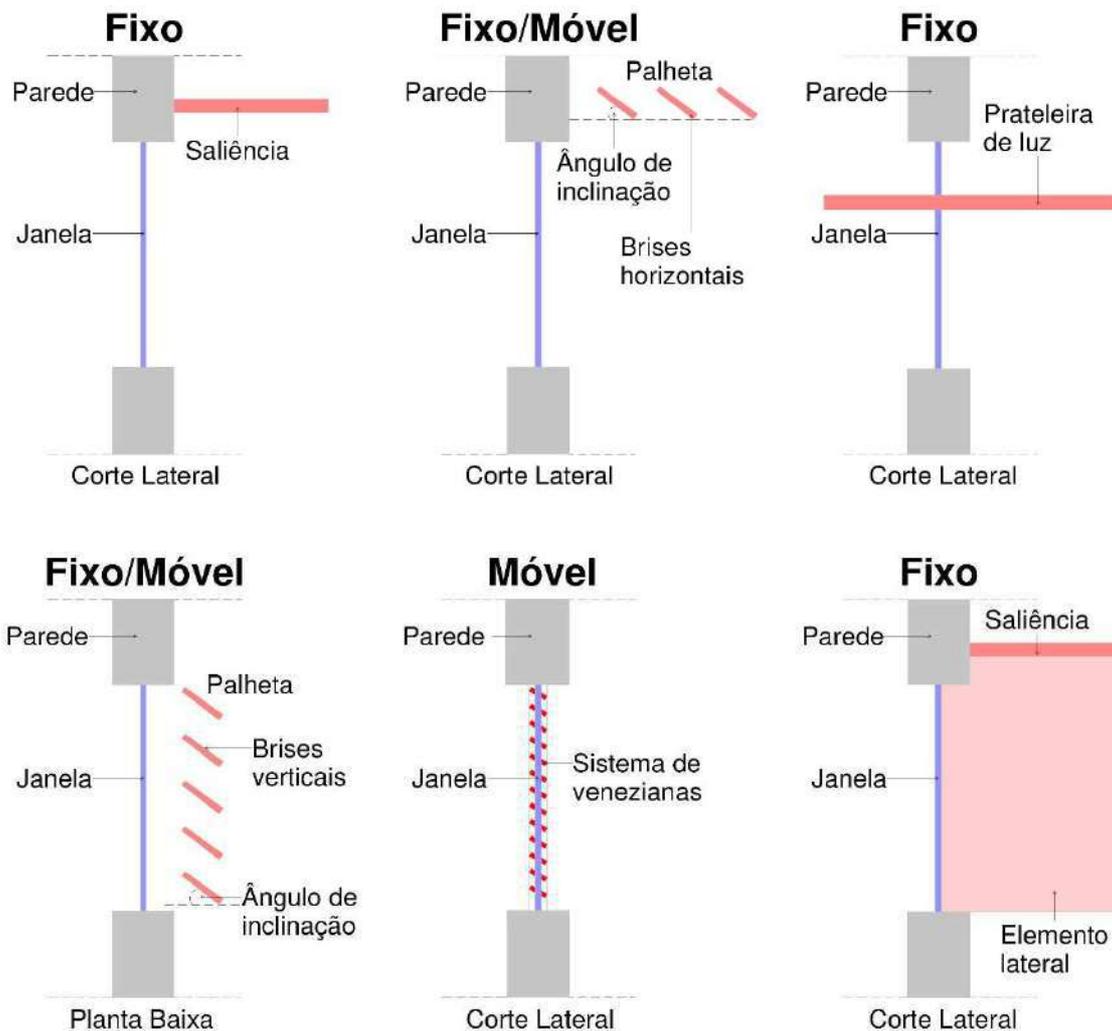


Fonte: Adaptado de Bellia et al. (2014).

Os elementos de sombreamento fixos podem tanto ser montados no interior quanto no exterior das janelas. Quando estes são externos, eles tanto controlam a radiação solar quanto reduzem a quantidade de calor que entra no ambiente, economizando energia com climatização. Algumas soluções de sombreadores mais utilizadas nas edificações: saliências no edifício, elementos de sombreamento externo, venezianas e elementos de sombreamento interno (KIRIMTAT et al., 2016).

A saliência consiste em uma superfície horizontal que se projeta sobre a janela, permitindo sombreamento no verão e a penetração da radiação solar no inverno; os brises verticais, que fornecem sombreamento efetivo principalmente nas fachadas Leste e Oeste e podem ser móveis para se adaptar à posição do Sol; os mecanismo móveis de sombreamento que oferecem mais recursos, podem ser controlados; as venezianas, que além do controle solar, conferem privacidade visual; as persianas verticais, podem ser manuais ou automáticas; os rolos sombreadores, possuem apenas duas posições, totalmente aberto ou fechado e; os brises horizontais, que previnem o sol de fim de manhã e início de tarde no verão e permitem o sol no inverno e devem ser dimensionados de acordo com a sua latitude e longitude. Outro elemento sombreador é a vegetação. A Figura 19 ilustra alguns exemplos desses sistemas.

Figura 19: Exemplos de Sombreadores



Fonte: Adaptado de Bellia et al. (2014).

Os sombreadores podem ser feitos de diversos materiais entre eles tem-se as telas perfuradas. Uma das formas de se dimensionar adequadamente essas telas, em relação ao tamanho e distanciamento dos furos para a obtenção da proteção solar e passagem do vento é por meio de algoritmo genético, que gera as melhores distribuições e tamanhos ideais das perfurações (LAVIN; FIORITO, 2017). A realização de simulações computacionais pode definir o tipo de sombreamento que melhor se adequa ao edifício e suas necessidades de proteção (KIRIMTAT et al., 2016).

2.1.5 Sistema de Abertura

Segundo Nico-Rodrigues (2015), escolher o sistema de abertura da janela é uma decisão que leva em conta o fluxo e a troca de ar no interior do ambiente. A adoção de sistemas que permitem separar a ventilação destinada ao conforto, à higiene e à noturna, é um dos fatores que pode levar o usuário a ter um ambiente mais confortável.

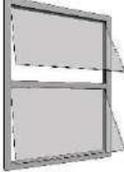
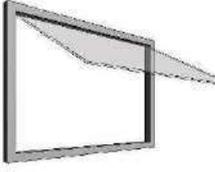
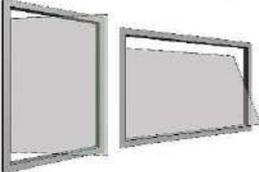
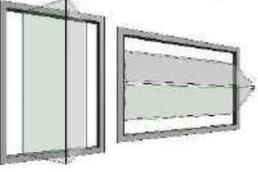
Em 1957, Reed apontava que a produção de janelas perpassava pela combinação de um até três sistemas de abertura em relação aos seus padrões no fluxo de ar. Esses sistemas eram: abertura simples, que correspondiam ao sistema de abertura de correr (deslizante), sentido horizontal e vertical; painel vertical, que consistia no sistema de abrir com eixo vertical ou outro sistema que se abra sobre o eixo vertical e; painel horizontal, que consiste nas mesmas características do painel vertical, porém para aberturas que considerem o eixo horizontal.

Destacam-se, entre os diferentes tipos de abertura existentes, particularidade em relação à proteção contra as intempéries, a segurança, e os percentuais de abertura, permeabilidade à ventilação e a operacionalização e a interferência do mecanismo de abertura com os espaços interno e externo.

Nico-Rodrigues (2015) elaborou um quadro com os principais sistemas de abertura das esquadrias e suas características relacionadas ao percentual de abertura, ou área útil para ventilação. O Quadro 1 contém as tipologias de janela elencadas pela autora e categorizadas de acordo com a classificação proposta por Reed (1957).

No quadro, está evidenciada a área útil de ventilação de cada sistema de abertura. Tal dado é importante, posto que uma janela adequada deve tanto proporcionar a entrada da luz necessária para as atividades visuais durante os períodos da manhã e da tarde, quanto a entrada de ventilação, com meios para regulá-la durante o período em que os ambientes atendidos pelas esquadrias estejam ocupados. O potencial que cada janela possui para controlar a ventilação é fundamental quando se busca reduzir as perdas de calor nos momentos de frio e retirar o calor do ambiente por meio da ventilação natural nos meses de calor (SILVA, 2005).

Quadro 1: Quadro de principais sistemas de abertura existentes

Sistema de abertura simples		Sistema de painel vertical		
<p>Janelas de correr</p>  <ul style="list-style-type: none"> - Possui uma ou mais folhas que deslizam horizontalmente, no plano da janela - 50% de área útil de ventilação 	<p>Janelas de guilhotina</p>  <ul style="list-style-type: none"> - Possui uma ou mais folhas que deslizam verticalmente, no plano da janela - 50% de área útil de ventilação 	<p>Janelas de abrir, de eixo vertical</p>  <ul style="list-style-type: none"> - Formada por uma ou mais folhas que podem ser movidas por rotação em torno de eixos verticais fixos nas laterais das folhas - 100% de área útil de ventilação 		
Sistema de painel horizontal				
<p>Janelas projetantes</p>  <ul style="list-style-type: none"> - Eixo fixo de rotação na extremidade superior - Até 100% de área útil de ventilação, dependendo do ângulo de abertura 	<p>Janelas de tombar</p>  <ul style="list-style-type: none"> - Eixo fixo de rotação na extremidade superior ou inferior - 30% de área útil de ventilação 	<p>Janelas basculantes</p>  <ul style="list-style-type: none"> - Eixo de rotação central, não coincidente com as extremidades inferior ou superior da janela - Até 100% de área útil de ventilação, dependendo do ângulo de abertura 	<p>Janelas projet. desliz. (Maxim-air)</p>  <ul style="list-style-type: none"> - Possui uma ou mais folhas movidas em torno de um eixo horizontal, com translação simultânea deste eixo - Até 100% de área útil de ventilação, dependendo do ângulo de abertura 	<p>Janelas reversíveis</p>  <ul style="list-style-type: none"> - Do tipo basculante ou pivotante, com rotação das folhas em torno de seus eixos no intervalo entre 160° e 180° - % de área útil de ventilação variável
Sistema de painel vert. ou horiz.		Sistemas especiais		
<p>Janelas pivotantes horizont. e vertical</p>  <ul style="list-style-type: none"> - Possui uma ou mais folhas movidas por rotação em torno de um eixo localizado fora das extremidades laterais das folhas - Até 100% de área útil de ventilação, dependendo do ângulo de abertura 	<p>Janelas camarão vertic. e horiz.</p>  <ul style="list-style-type: none"> - Possui duas ou mais folhas, articuladas entre si, que se abrem dobrando uma sobre a outra por deslizamento horizontal ou vertical de seus eixos de rotação - Até 100% de área útil de ventilação, dependendo do ângulo de abertura 	<p>Janelas de folhas fixas</p>  <ul style="list-style-type: none"> - Não possui movimento - 0% de área útil de ventilação 	<p>Janelas especiais</p>  <ul style="list-style-type: none"> - Formadas pela combinação de dois ou mais tipos de janelas - % de área útil de ventilação variável 	

Fonte: Adaptado de Nico-Rodrigues (2015).

2.1.6 Comportamento do Usuário

O que motiva os diferentes comportamentos dos usuários, relacionados aos mecanismos de controle do edifício e de seus componentes, ainda é parcialmente desconhecido. O usuário é influenciado por uma variedade de causas externas, tais como a temperatura do ar, a velocidade do vento e causas

internas, como suas preferências, suas atitudes e seus antecedentes, as propriedades da construção, com seus sistemas de controle disponíveis é o que vai possibilitar esta interação (FABI et al., 2012).

Segundo Bonte; Thellier e Lartigue (2014), o comportamento das pessoas baseia-se em dois grupos de ações. O primeiro são as reações naturais enraizadas na natureza humana. O segundo são as ações condicionadas pelos antecedentes pessoais e pelas experiências anteriores, que podem ser muito diferentes de indivíduo para indivíduo. O segundo grupo é o que influencia a quantidade de energia consumida nas construções. Sujeitos às mesmas condições ambientais, os ocupantes de um mesmo cômodo vão reagir de forma diferente, de acordo com as suas próprias características pessoais. Essas diferenças levam a discrepâncias no consumo energético dos edifícios, dependendo de como as pessoas interagem com ele.

Segundo Fabi et al. (2012), diferentes estudos têm sido realizados sobre os hábitos de abertura de janelas nos edifícios e sua relação com a qualidade do ar. Estes estudos demonstraram que o comportamento do usuário em relação às janelas é a variável mais importante para a mudança das características do ar no interior do ambiente. Os estudos nessa área buscam informações sobre as influências na saúde dos ocupantes, bem como no seu conforto e no desempenho energético da edificação.

Usuários de prédios naturalmente ventilados aceitam e preferem uma variação mais ampla de temperatura, do que os ocupantes de edifícios mecanicamente ventilados, o que influencia positivamente a sua satisfação com o ambiente e até os torna mais produtivos, no caso de edifícios comerciais. Entretanto, ao dar ao usuário o controle sobre a qualidade do ar interno e a possibilidade de abertura e fechamento da janela, gera-se uma influência significativa no desempenho energético do edifício (D'OCA; HONG, 2014).

Nos climas temperados, por exemplo, a janela é o elemento mais comum para o controle térmico em edifícios. O abrir e fechar das janelas passa a ser uma ação controladora do nível de conforto (RIJAL et al., 2007; FABI et al., 2012).

Estudo conduzido por D'oca et al. (2014) mostra que a temperatura interna e externa do ar, a hora do dia (quando da chegada, ou pela manhã) e a presença

de ocupantes são os principais fatores que levam à abertura de janelas. Por outro lado, a temperatura do ar interior, a hora do dia (quando de saída ou à noite), a presença de ocupantes e a temperatura do ar exterior, são os principais motivos para se fechar uma janela.

Para Fabi et al. (2012), os fatores externos e internos que levam a uma reação no usuário podem ser agrupados em cinco diferentes grupos: fatores físico-ambientais, fatores contextuais, fatores psicológicos, fatores fisiológicos e fatores sociais.

- fatores físico-ambientais que levam o ocupante a agir e influenciam no consumo de energia são a temperatura, a umidade, a velocidade do ar, o nível de ruído, a luz e o odor.
- fatores contextuais têm uma influência indireta no comportamento humano. São eles o isolamento dos prédios, a orientação das fachadas, o tipo de sistema de aquecimento e de termostato, dentre outros.
- fatores psicológicos, os ocupantes tendem a satisfazer as suas necessidades baseadas em conforto visual, térmico, acústico, saúde e segurança, de modo que eles esperem uma qualidade do ar ambiente.
- fatores fisiológicos são idade, gênero, saúde, situação, vestimenta, nível da atividade executada, consumo de alimentos e bebidas. O conjunto destes fatores determina a condição fisiológica do ocupante.
- fatores sociais referem-se à interação entre os indivíduos e pode estar ligada a uma hierarquia que define o responsável por determinar o ponto de ajuste do termostato ou o ato de abrir e fechar as janelas.

Delzende et al. (2017) afirmam que estudos têm investigado o impacto dos ocupantes no consumo de energia em edifícios com a necessidade de reduzir a diferença de desempenho entre a energia prevista e a atual dos edifícios. O principal desafio é a complexidade e a natureza dinâmica do comportamento energético dos ocupantes, que é influenciado por vários fatores. Portanto, as motivações e razões dos ocupantes, e os vários fatores que influenciam suas decisões para interagir com as janelas devem ser estudados em uma abordagem multidisciplinar.

Sabe-se também que, em climas quentes o comportamento do usuário gera resultados de alteração no consumo de energia mais notórios do que em climas frios, de modo que um erro significativo pode ser esperado em simulações que não levem esse comportamento em conta (YOUSEFI; GHOLIPOUR; YAN, 2017). Além disso, a proporção de janelas abertas no inverno é baixa, intermediária no outono e na primavera e mais alta nos meses de verão (RIJAL et al., 2007).

Entender a relação entre os hábitos do ocupante e o consumo de energia é uma das formas mais eficientes de se diminuir essas diferenças entre o consumo de energia previsto e a energia efetivamente consumida pelos edifícios (D'OCA et al., 2014).

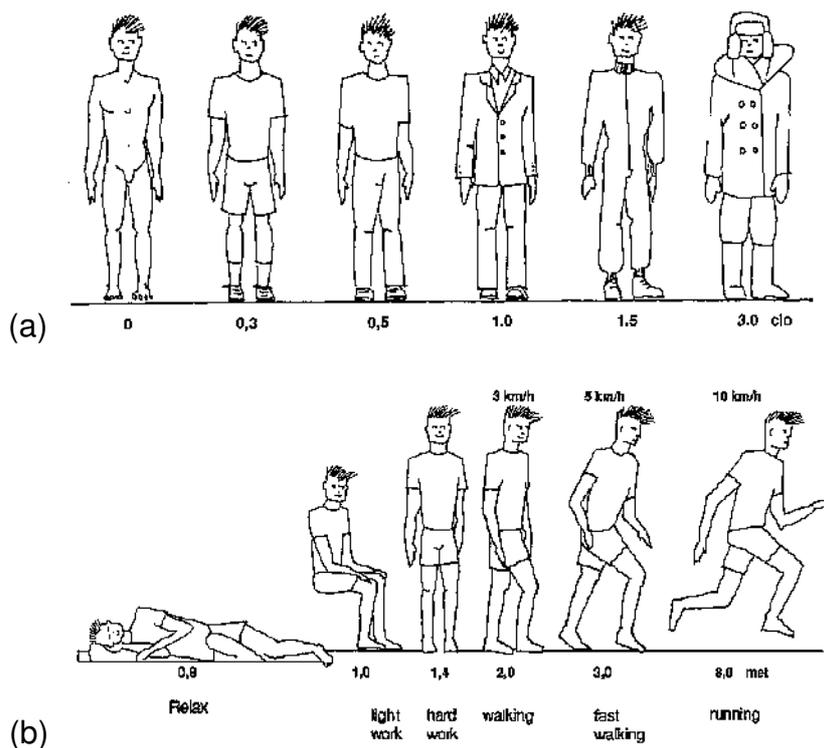
Uma das formas de se prever a influência que o comportamento do usuário tem no consumo de energia é por meio do uso de *softwares* que permitem a parametrização das variáveis adicionadas ao comportamento do usuário. Isso permite dimensionar o efeito que o projeto do edifício tem no comportamento de abertura de janela, conforto do ocupante e consumo de energia (RIJAL et al., 2007).

2.2 CONFORTO E DESEMPENHO TÉRMICO

Para que se tenha uma existência saudável e produtiva, o ser humano necessita viver em um ambiente em que se sinta confortável. A condição de conforto térmico é determinada por uma série de fatores que podem ser quantificados ou não. Dentre as condições que podem ser medidas, há um conjunto de condições ambientais. Como exemplos delas, a temperatura, a umidade e o movimento do ar.

Como condição não quantificável, tem-se o bem-estar psicológico do indivíduo. Essas condições dependem ainda de variáveis pessoais como roupas e atividade desenvolvida (Figura 20). A combinação adequada dessas condições gera uma faixa na qual a maior parte das pessoas se sente confortável (MALLICK, 1996).

Figura 20: (a) - Diferentes níveis de insulamento das roupas e (b) - Taxas metabólicas das diferentes atividades



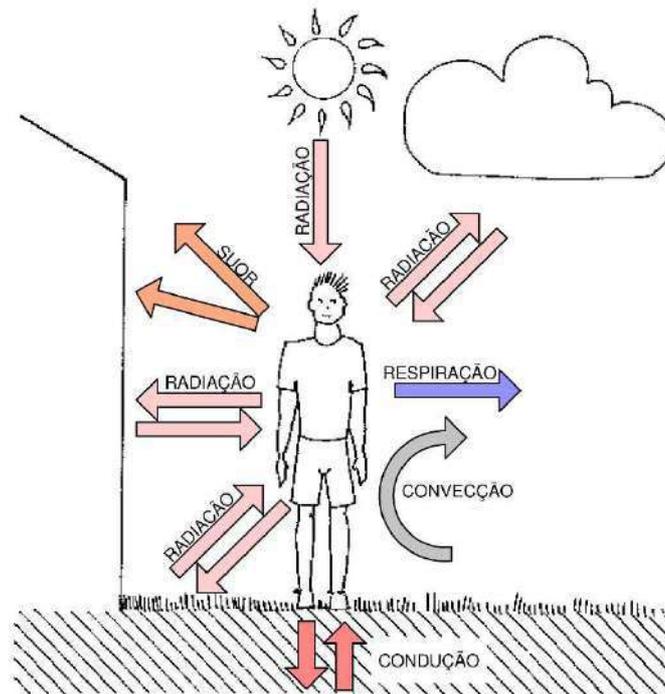
Fonte: Gut; Ackerknecht (1993).

O conforto térmico é considerado o mais importante quando comparado com o visual, o acústico e a qualidade do ar. Ele também influencia, em maior grau, a satisfação geral com a qualidade do ambiente interno em comparação com as outras condições ambientais do interior do edifício (FRONTCZAK; WARGOCKI, 2011).

Segundo Olgay (1998), a condição de conforto térmico ideal é aquela em que a temperatura esteja quente ou fria o suficiente para não ser incômoda, de forma que, para se adaptar a ela, o indivíduo requeira o mínimo empenho de energia para troca de calor. As condições na qual isso ocorre são conhecidas como *Zona de Conforto*.

Segundo Griffin e Siem (2004), essa troca de calor com o entorno pode acontecer pelo resfriamento convectivo, quando o ar está mais frio do que o corpo; pelo resfriamento radiante, quando o calor é irradiado desde a pele até o ambiente; por evaporação e transpiração da pele e pela respiração ou; por condução ou contato direto com superfícies com temperatura menor do que a da pele humana (Figura 21).

Figura 21: Formas de troca de calor pelo corpo humano



Fonte: Adaptado de Gut; Ackerknecht (1993).

Segundo Frota e Schiffer (2001), as trocas de calor que acontecem nos corpos dependem de duas condições: presença de corpos em temperaturas diferentes ou; mudança de estado de agregação. Na primeira, os mais quentes perdem calor e os mais frios ganham, trocando o que se denomina de calor sensível. Na segunda, a água passa do estado líquido para o vapor e vice-versa, sem que haja mudança de temperatura e o calor envolvido nesse mecanismo se chama de calor latente.

Pode-se definir o conforto térmico como um conceito subjetivo que expressa o bem-estar físico e psicológico do indivíduo quando tem-se condições de temperatura, movimento do ar e umidade favoráveis à atividade que se desenvolve (GRIFFIN; SIEM, 2004). Sabe-se também que a sensação de conforto em habitantes de clima quente são geradas por condições ambientais diferentes daquelas desejadas por pessoas de clima frio (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Os parâmetros relacionados à qualidade do ambiente interno foram desenvolvidos para definir os seus limites de aceitação. No entanto, não garantem a satisfação de todos os usuários, já que as mesmas condições

internas podem levar a diferentes respostas dos ocupantes (FRONTCZAK; WARGOCKI, 2011).

Segundo Nico-Rodrigues (2015), o conforto térmico resulta da combinação de parâmetros ambientais e humanos, onde as sensações humanas são consequência dos estímulos ambientais. Além disso, estudar as situações favoráveis para o conforto térmico dos usuários é uma ação que objetiva atingir parâmetros que minimizem a quantidade de indivíduos insatisfeitos com a condição térmica do ambiente, principalmente em locais onde o controle das condições internas é feito por meio de equipamentos de condicionamento artificial.

Os arquitetos, ao buscarem fornecer condições de conforto térmico, com o mínimo auxílio de equipamentos de condicionamento artificiais, devem buscar elementos com propriedades térmicas ideais ao clima em que se inserem (ORAL, 2000). Em razão dessa grande quantidade de variáveis, Rupp, Vásquez e Lamberts (2015) afirmam que o conforto térmico é um tema complexo e ainda não se compreende todos os aspectos que se relacionam com ele.

Em condições de clima rígido, um desempenho térmico satisfatório das construções pode não ser possível apenas com o uso de recursos naturais. Mas, mesmo nessas situações, deve-se buscar propostas que otimizem o desempenho térmico natural, o que permite reduzir a potência necessária para o uso dos equipamentos de refrigeração e de aquecimento, já que a quantidade de calor que se retira ou fornece ao ambiente será menor (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Em edifícios naturalmente ventilados a temperatura de conforto é normalmente maior do que em edifícios com sistemas de condicionamento de ar, e essa temperatura aumenta com o aumento da temperatura exterior (FRONTCZAK; WARGOCKI, 2011). As pessoas têm a capacidade de se adaptar ao entorno e, em muitos casos, até em valores além dos parâmetros estabelecidos pelas normativas internacionais (GONZÁLEZ CRUZ; BRAVO MORALES, 2009).

Segundo Griffin e Siem (2004), a maior parte das pessoas se sente confortável com temperaturas entre 21°C e 26°C e umidade relativa do ar entre 30% e 70% quando vestidas com roupas leves, na sombra e relativamente inativas. Estes

valores, no entanto, não são uma regra. Em estudo realizado na Venezuela, Cruz e Morales (2009) demonstraram essas diferenças entre pessoas adaptadas ao ar condicionado e pessoas adaptadas à ventilação natural. Eles demonstraram que a temperatura de conforto ideal foi de 26,6°C e 28,6°C, respectivamente, sendo 2°C a diferença.

Tantasavasdi, Srebric e Chen (2001) encontraram valores ideais para ventilação na Tailândia. Segundo seus estudos, para se atingir um conforto ambiental, a ventilação natural deve ter uma velocidade interna do ar de 0,4m/s, com aberturas de 40% da área do piso ou velocidade de 0,3m/s com aberturas de 25% da área do piso. Já em Bangladesh, devido à pouca experiência com ar condicionado de seus habitantes, há uma tolerância a altas temperaturas e taxas de umidade para se atingir o conforto (MALLICK, 1996).

Dentre as formas de alcance do conforto, há o princípio de que o usuário pode tomar decisões, sendo um agente ativo nesse caso, o que gera o chamado modelo adaptativo. Tal modelo, além das trocas de calor, prioriza as adaptações comportamentais e as adaptações ambientais. Tais ações são imprescindíveis para definir as condições térmicas do ambiente (NICO-RODRIGUES, 2015).

Edificações que permitem ao usuário atingir o conforto térmico por meio do modelo de conforto adaptativo são consideradas eficientes. A avaliação do desempenho térmico de uma edificação é importante para se determinar a eficiência de suas janelas (TIBIRIÇA, 1999).

2.3 NORMATIVAS

Atualmente existem normas e regulamentos locais, nacionais e internacionais que buscam orientar os projetistas nas decisões necessárias para a obtenção de edificações com desempenho ambiental desejável.

No contexto mundial, Rupp, Vásquez e Lamberts (2015), Nico-Rodrigues (2015) e Betancourt (2013) afirmam que existem três padrões internacionais comumente utilizados no âmbito do conforto térmico, baseados na análise de trocas de calor entre as pessoas e o ambiente que as envolve. São eles o ISO 7730 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2005), de âmbito internacional, a ASHRAE 55 (AMERICAN SOCIETY OF HEATING

REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, 2013) que se refere ao padrão norte americano e, apesar disso, é comumente utilizada por pesquisadores brasileiros, e a EN 15251 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2007), própria para o continente europeu, não se adequando ao clima do Brasil.

A ISO 7730 se aplica em ambientes térmicos moderados e foi desenvolvida em conjunto com a ASHRAE 55. Ela usa índices PPD (*predicted percentage dissatisfied*) e PMV (*predicted mean vote*) para realizar as previsões de sensação térmica do usuário e descrever as condições do ambiente para alcançar o conforto térmico (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2005).

Segundo a ISO 7730, (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2005), a sensação térmica de um ser humano está relacionada principalmente ao equilíbrio térmico de seu corpo como um todo. Essa sensação é influenciada pela atividade física, vestuário e parâmetros ambientais. A estimativa adequada desses fatores pode ser calculada pelo PMV. Já o PPD fornece informações sobre desconforto térmico, prevendo a quantidade de pessoas que sentirão calor ou frio dentro de um ambiente.

O voto médio previsto – PMV - é uma escala composta por sete pontos de conforto, desde o +3 até o -3, segundo as pesquisas de conforto de P. O. Fanger (1972 apud ROUDSARI, 2019), que inicialmente desenvolveu o modelo. Na escala, seus valores indicam o seguinte: -3: muito frio; -2: frio; -1: um pouco frio; 0: neutro; +1: um pouco quente; +2: quente; +3 muito quente. Consideram-se valores aceitáveis para conforto os compreendidos entre -1 e +1. O PMV corresponde à média dos votos nessa escala das pessoas submetidas às condições do ambiente que se está estudando. Neste modelo, considera-se que os indivíduos não vão mudar a atividade que estão realizando, trocar de roupa ou interagir com a janela (ROUDSARI, 2019).

Já o conforto adaptativo é um modelo criado para responder às deficiências do modelo PMV quando aplicado a edifícios sem ar condicionado, que tende a superestimar as condições de desconforto no calor para edifícios naturalmente ventilados. Para a construção do modelo adaptativo, foram realizados estudos

de campo em que se questionava a sensação de conforto dos indivíduos em prédios com ventilação natural. Assim, observou-se que elas tendem a se adaptar à temperatura média mensal, sentindo-se confortáveis em edifícios cuja temperatura permanecesse próxima à média mensal em situações acima de 10°C e abaixo de 33,5°C (ROUDSARI, 2019).

A ISO 7730 ainda especifica como prever a porcentagem de pessoas insatisfeitas devido aos parâmetros locais de desconforto; trata dos ambientes térmicos aceitáveis, baseando-se principalmente em condições de estado estacionário; lista meios de avaliação do estado não estacionário como etapas de temperatura e seus ciclos; apresenta um método para avaliação do conforto térmico a longo prazo e; dá recomendações de como considerar a adaptação das pessoas ao avaliar e projetar edifícios (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2005).

A ASHRAE 55 (AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, 2013) tem a finalidade de especificar as combinações de fatores ambientais térmicos internos e de fatores pessoais que vão produzir condições térmicas aceitáveis para a maioria dos ocupantes do espaço.

Os fatores ambientais que a norma aborda são a temperatura, a radiação térmica, a umidade e a velocidade do ar, já os fatores pessoais são as atividades realizadas e o vestuário. Ela determina que todos os critérios sejam aplicados em conjunto, posto que as relações envolvidas no conforto do ambiente interno são complexas e respondem à interação de todos os fatores.

Além disso, especifica as condições ambientais térmicas aceitáveis para adultos saudáveis, em pressões atmosféricas equivalentes a altitudes inferiores a três mil metros, em espaços internos de permanência superior a 15 minutos. Por fim, ela não aborda fatores ambientais não-habituais, como a qualidade do ar, a acústica e a iluminação ou outros contaminantes físicos, químicos ou biológicos que podem afetar o conforto e a saúde. Ela demonstra a aplicação do modelo adaptativo, aplicado num cenário com janelas operáveis que se abrem para o exterior e podem facilmente ser ajustadas e abertas pelos ocupantes do espaço que está sendo estudado.

Dessa forma, as normativas internacionais que balizam as diretrizes para a definição de melhores condições térmicas no interior de ambientes naturalmente ventilados, possuem fatores intrínsecos ao comportamento do usuário no que diz respeito à definição de limites mínimos e máximos de aceitabilidade ao desconforto (NICO-RODRIGUES, 2015).

Somando a necessidade do menor consumo de energia com esses fatores, tem-se um direcionamento fundamental, ainda na fase de projeto, da utilização de materiais, componentes e técnicas construtivas que são capazes de proporcionar ambientes mais confortáveis (NICO-RODRIGUES, 2015). As normativas fornecem, dessa forma, uma base para as simulações de desempenho térmico das edificações.

No âmbito nacional, destacam-se as legislações municipais, onde cada cidade possui o próprio Código de Obras, que visa orientar os projetistas nas dimensões mínimas de aberturas para iluminação e ventilação dos ambientes; a NBR 15.575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013), desenvolvida para orientar os profissionais da construção civil na busca pelo desempenho das edificações; e o RTQ-R (INMETRO, 2012), que é o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, desenvolvido para criar condições de etiquetagem das edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares.

2.4 PROCESSOS DE PROJETO

O projeto, na arquitetura ou na engenharia, é um processo pelo qual se pode criar elementos técnicos caracterizados por aspectos parametrizáveis, que devem satisfazer aos requisitos pré-definidos pelo problema que se busca solucionar. Esse processo é composto por uma série de fases distintas, como a fase de desenvolvimento do projeto, os tipos de dados de entrada, a estratégia a ser adotada, os procedimentos e os resultados obtidos. Essas etapas podem ser interpretadas como problemas que precisam de uma solução otimizada (RENNER; ANIKÓ, 2003).

Tierney (2007) afirma que, desde a década de 1990, o contexto do projeto arquitetônico tem passado por uma mudança significativa, relacionada, principalmente por dois fatores: as pressões econômicas globais e o advento da

internet. O processo projetual evoluiu à medida que a arquitetura se tornou mais complexa. Ele, além de simplesmente resolver problemas, necessita de pesquisas que sejam contínuas, colaborativas e experimentais.

Ainda, é possível afirmar que métodos clássicos de projeto, embora tenham um bom desempenho em muitos casos na prática cotidiana projetual, podem falhar em situações que exijam soluções mais complexas. Problemas reais de projeto podem ter um número de parâmetros grande, complicando a sua otimização por meio de métodos tradicionais, já que apresentam um caráter não linear (RENNER; ANIKÓ, 2003).

Segundo Tierney (2007), diferentemente do ambiente de projetos de meados do século XX, o ato de inovar e de inventar atualmente é visto de forma desconectada da simples resolução de problemas propostos. O contexto atual faz com que alguns arquitetos de destaque cheguem a projetar seus próprios *softwares*, implementem métodos computacionais avançados em seus projetos e gerem visualizações de dados que tornem acessíveis até as informações mais complexas.

A computação entra como aliada na resolução de problemas presentes no processo projetual, onde Mitchell (1975) afirma que o projeto arquitetônico auxiliado por computadores: pode ser representado por meio de estruturas de dados armazenadas na memória do computador; pode gerar soluções potenciais, atribuindo valores às variáveis que podem ser lidas como dados, gerando soluções de projeto propostas; pode testar as soluções propostas quanto à conformidade com os critérios especificados e; pode dividir as tarefas entre homem e máquina, contribuindo para a automação do projeto.

Além disso, conforme afirma Martino (2015), a inteligência artificial permite o desenvolvimento de modelos que representam a mente humana em geral que, ao serem utilizados nos computadores, não sofrem distorções ou interpretações diferentes, o que não pode ser garantido quando esse modelo é interpretado pelo ser humano, que, por conta das influências de seu repertório particular, poderá sofrer variações.

Com esse contexto, observa-se uma valorização das tecnologias relacionadas à informação e sua ênfase em sistematização e gerenciamento. Surgiram então

áreas científicas específicas que são responsáveis por desenvolver mecanismos capazes de automatizar processos repetitivos e simular a inteligência humana, potencializando suas ações (MARTINO, 2015).

Nesse contexto de novas ferramentas desenvolvidas, entram os *softwares* de simulações computacionais, que, segundo Caldas e Norford (2002), provaram nas últimas décadas ser uma ferramenta poderosa no auxílio do desempenho ambiental dos edifícios e de seus elementos. Existe uma complexa relação entre as características do projeto, o clima, os seus ocupantes e os sistemas mecânicos e elétricos que, apenas com simulações é possível entender de forma conjunta todos os fatores que estão envolvidos no processo. Essas ferramentas dão aos projetistas um retorno sobre as avaliações dos impactos do projeto entre as tomadas de decisões, num processo contínuo de projeção.

Os problemas que não podem ser manipulados por métodos clássicos, em casos complexos, podem ser resolvidos por técnicas que incluem algoritmos evolutivos para oferecer as soluções para o problema. Eles podem encontrar um projeto ótimo global dentro de prazos e custos aceitáveis (RENNER; ANIKÓ, 2003). Sendo, portanto, possível afirmar que usar ferramentas generativas evolutivas no projeto permite uma avaliação dos resultados já nas suas etapas iniciais, oferecendo a possibilidade de escolher entre uma variedade de soluções eficientes (BETANCOURT; ALVARADO; VILLARREAL, 2012).

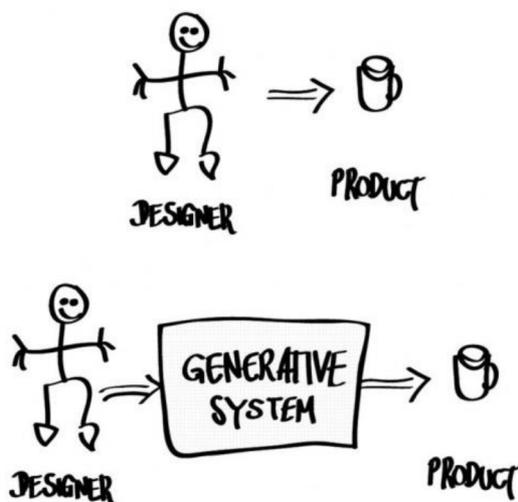
2.4.1 Sistemas Generativos Evolutivos

Com a chegada de ferramentas paramétricas e da tecnologia no campo de desenho, houve uma mudança no papel do projetista, que passou de criador de uma obra ou solução única, para criador de soluções que respondem às limitações de um problema (BETANCOURT, 2013).

Segundo Martino (2015), a solução ideal para uma variável pode não satisfazer a outra, como é o caso da iluminação e da ventilação, onde a criação de uma grande abertura que forneça ventilação adequada pode gerar excesso de luminosidade. O espaço de soluções para esse tipo de problema é amplo, de forma que cada variável pode apresentar um ótimo desempenho em soluções distintas, favorecendo somente um aspecto do problema em cada situação específica.

Para solucionar esses problemas, os sistemas generativos evolutivos, segundo Oxman (2008), são os modelos generativos de projeto digital caracterizados por fornecer mecanismos computacionais de processos generativos. O método de projeto generativo demonstra uma metodologia que difere das outras abordagens de projeto pelo fato de, durante o processo projetual, o projetista não interagir com os materiais e produtos de uma forma direta, mas por meio de um sistema generativo, como ilustrado na Figura 22.

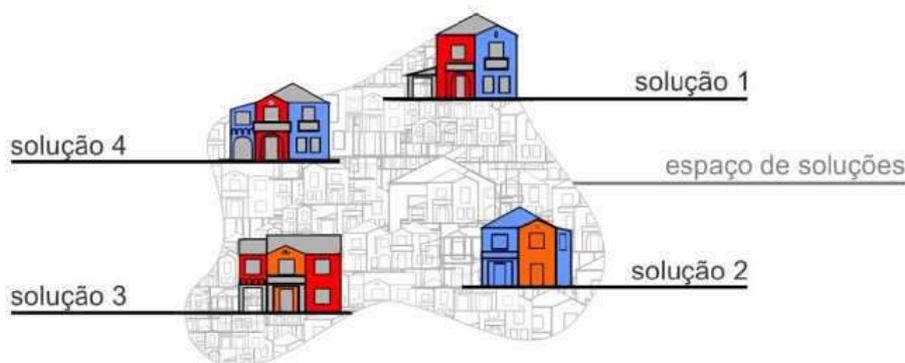
Figura 22: Comparação entre o método tradicional e o método do sistema generativo



Fonte: Martino (2015) adaptado de Fischer e Herr (2001).

Neles, as formas e formatos são considerados como um resultado de processos generativos previamente formulados. Pode-se construir um sistema generativo para produzir uma variedade de soluções potenciais (MITCHELL, 1975), como exemplificado na Figura 23.

Figura 23: Exemplo de espaço de soluções com diferentes possibilidades de solução de um projeto



Fonte: Martino (2015).

Ter um mecanismo capaz de fornecer a forma mais adequada que pode ser encontrada dentro do espaço de soluções possíveis é uma corrente que tomou força na arquitetura, tornando-se uma opção, juntamente com a modelagem paramétrica (BETANCOURT, 2013).

Embora o projeto generativo não esteja restrito a nenhum tipo de ferramenta, os computadores se mostraram particularmente apropriados pelos seguintes motivos: a geração de um projeto implica em uma abordagem que requer uma quantidade de soluções; supera e evita a monotonia dos produtos e; realiza mais facilmente a permutação dos elementos e atributos do projeto (FISCHER; HERR, 2001). Os sistemas generativos evolutivos não são apenas uma ferramenta de extensão da mente humana, são também parceiros no processo projetual de arquitetura (TERZIDIS, 2003).

Assim, a utilidade de se adotar sistemas generativos nos projetos de arquitetura, explorando os recursos computacionais, se dá por conta da criação de sistemas integrados, como um mecanismo articulado, capaz de gerar diferentes soluções, automatizando o processo e auxiliando na busca, exploração e experimentação. Na arquitetura evolucionária, o papel do arquiteto é elevado e permite um conceito de participação do cliente e do usuário. Assim, pode-se supervisionar mais elementos de design e atingir um nível de sofisticação e complexidade mais avançada do que nas práticas usuais (FRAZER, 1995).

A habilidade de explorar uma maior parte do projeto, suportando a sua geração, é um dos principais objetivos desse sistema, que ainda alcança eficiência, redução de custos, otimização, precisão e consistência (SINGH, 2012).

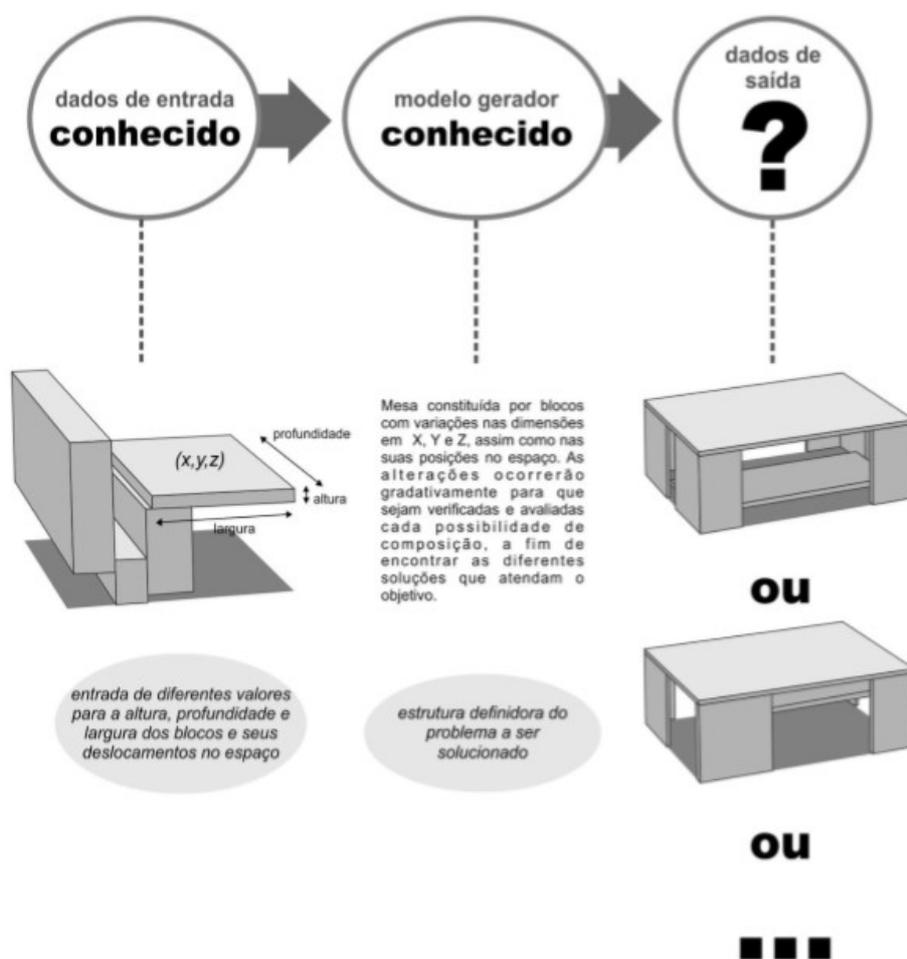
A vantagem do uso desses sistemas é que o objeto do projeto é visto diretamente como um todo, podendo ser mais estudado e avaliado por meio de simulações. Outra característica é a possibilidade de criação de subsistemas, decompondo o problema em partes e criando subsistemas para resolvê-los. Além disso, um evento generativo pode consistir em um ou mais formulários que, à medida que são gerados, as relações espaciais entre as formas podem ser manipuladas e delimitadas (TIERNEY, 2007).

Parte da dificuldade de se usar ferramentas generativas para a otimização de projetos arquitetônicos é definir os critérios de avaliação adequados para uma

determinada solução. A análise ambiental é um dos campos adequados para projetos desse tipo, já que é possível especificar critérios quantificáveis de desempenho que se almejam atingir com o projeto, tais como níveis de iluminação no espaço, temperaturas internas e gasto de energia para iluminação, aquecimento e resfriamento (CALDAS; NORFORD, 2002).

Na arquitetura, as ferramentas generativas podem ser utilizadas principalmente nas fases iniciais de projeto, explorando diferentes combinações em um processo que pode ser comparado ao das simulações (Figura 24).

Figura 24: Processo sob o aspecto criativo com abordagem generativa



Fonte: Martino (2015) adaptado de Bentley (1999) e Eiben e Smith (2010).

Marin, Bignon e Lequay (2008) esperam que o processo evolutivo seja mais adaptado a um processo de projeto criativo por três motivos. Primeiro, o processo evolutivo é baseado em uma pesquisa exploratória de soluções espaciais, o que é uma característica do processo de projeto. Segundo, parece importante que as ferramentas criem um diálogo do projetista com ele mesmo,

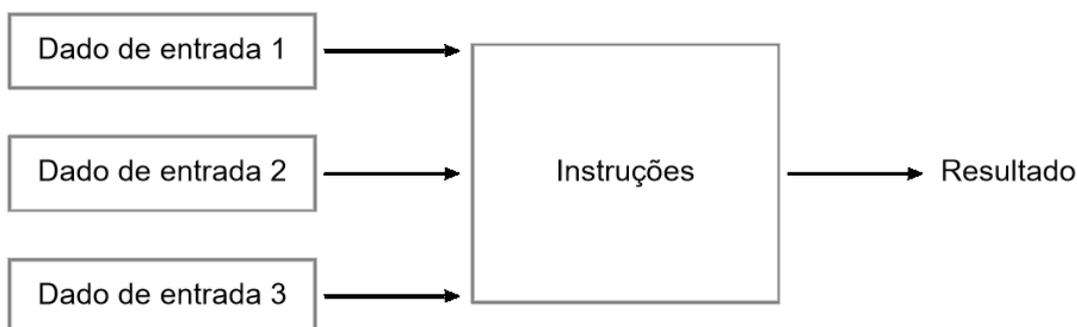
da mesma forma que o desenho é um suporte da representação mental, voltada ao próprio desenhista. Terceiro, as ferramentas evolutivas apoiam o pensamento analógico, fazendo proposições a partir das quais o projetista faz escolhas para construir um objeto a se pensar.

Com isso, ao embasar os sistemas generativos na teoria evolutiva biológica, há uma contribuição significativa para o processo de otimização, que busca identificar as melhores soluções para o problema por meio de uma busca exaustiva dentro do espaço de soluções possíveis. Dois aspectos contribuem para o processo de evolução da solução: as ações das forças seletivas exercidas na execução do algoritmo, que contribui para a escolha das soluções mais aptas e; a auto-organização, que ajusta os valores das variáveis que compõem o projeto, permitindo mudanças gradativas, o seu auto ajuste (MARTINO, 2015).

2.4.2 Algoritmos

Conceitua-se algoritmo como um conjunto inequívoco de instruções definidas corretamente. Eles dependem das determinações inseridas, de modo que o resultado será incorreto caso o algoritmo não esteja corretamente definido. Um algoritmo espera um conjunto definido de dados de entrada, que pode ter variações de tipos e de quantidade. Em seguida, são fornecidas as instruções, de forma que cada valor de entrada tem uma condição prévia e um requisito que deve ser cumprido (TEDESCHI, 2014), como mostra a Figura 25.

Figura 25: Representação esquemática de um algoritmo



Fonte: Adaptado de Tedeschi, (2014).

O algoritmo é um procedimento computacional cuja lógica busca padrões repetitivos, princípios que são universais, módulos intercambiáveis e conexões dedutíveis. O seu poder intelectual está na sua capacidade de inferir novos conhecimentos e estender limites do intelecto humano (TERZIDIS, 2003).

De acordo com Celani (2003 apud Martino, 2015), os dados de entrada de um algoritmo podem ser números inteiros ou reais, caracteres ou lógicos, além de serem definidos se são valores fixos ou variáveis de acordo com seu papel no algoritmo. Esses dados podem ser aumentados, reduzidos, comparados e avaliados durante a execução por meio de operadores aritméticos, racionais ou lógicos. Os procedimentos seguem um bloco de instruções que serão executadas e interpretadas para se obter a operação que se deseja. Isso pode utilizar instruções condicionais e estruturas de controle para tomar decisões e repetir as ações até que o objetivo seja alcançado.

Para os arquitetos, algoritmos permitem que o projetista passe da programação da arquitetura para a arquitetura de programação. É possível que o projeto arquitetônico possa estar alinhado com uma forma inteligente e uma criatividade rastreável, ao invés do formalismo e do racionalismo (TERZIDIS, 2003).

Existem diferentes categorias de algoritmos. O algoritmo genético, o exemplo mais conhecido dentre todos os algoritmos evolutivos existentes (MARIN; BIGNON; LEQUAY, 2008), teve como base a teoria formulada por Darwin no século XIX. Darwin, percebeu que animais de uma mesma espécie eram ligeiramente diferentes de seus parentes quando em ecossistemas diferentes, sendo melhor adaptados às necessidades e possibilidades oferecidas pelo ecossistema específico em que se encontravam, e publicou a sua teoria da evolução das espécies, que é amplamente aceita pela comunidade científica atual. Ela afirma que todos os indivíduos na natureza, dentro de um ecossistema, competem entre si por recursos limitados. Os indivíduos, sejam animais, vegetais, insetos, etc., de uma mesma espécie que não obtêm êxito tendem a ter sua descendência reduzida, com uma prole menor, reduzindo a probabilidade de propagação de seus genes às gerações que se seguem. A combinação entre os genes dos indivíduos que sobrevivem podem produzir um indivíduo novo, melhor adaptado às características do seu ambiente por meio da combinação de características positivas de cada um dos reprodutores (LINDEN, 2008).

Não existe uma definição rigorosa de algoritmo genético que seja aceita por toda a comunidade científica que trabalha com a computação evolucionária, para diferenciá-lo dos outros métodos de computação evolutiva. Pode-se, entretanto, afirmar que a maior parte dos métodos denominados algoritmos evolutivos, tem

ao menos os seguintes elementos em comum: populações de cromossomos, seleção de acordo com a aptidão, cruzamento para produzir novos descendentes e mutação aleatória dos novos descendentes (MITCHELL, 1999).

Porém, segundo Linden (2008), quando os cientistas começam a tentar se inspirar na natureza para criar o ramo da inteligência artificial, nasce o algoritmo genético, que tem como pai John Holland, que estudou formalmente a evolução das espécies, propondo um modelo computacional que poderia oferecer boas soluções para problemas difíceis e que não tinham solução até aquela época.

A incorporação da evolução biológica à ciência da computação pelos algoritmos evolutivos contribui para a formação de uma área denominada ciência evolutiva. Tal área trata do campo da inteligência artificial dentro de um movimento que busca inspiração nas ideias biológicas, propondo um método alternativo de processamento de dados (BITTENCOURT, 1996 apud MARTINO, 2015).

Os algoritmos evolutivos são aqueles que utilizam modelos computacionais dos processos naturais da evolução para resolver problemas. Existe uma série destes modelos computacionais propostos que têm em comum o conceito da simulação da evolução das espécies através da seleção, mutação e reprodução, processos que dependem do desempenho do indivíduo dentro do ambiente. Os algoritmos evolutivos basicamente funcionam pela manutenção de uma população de estruturas que vão evoluir de maneira similar à das espécies, proposta por Darwin. Nessas estruturas, aplicam-se os chamados operadores genéticos, que podem ser recombinação, mutação ou seleção. Cada indivíduo será avaliado pela quantificação de sua qualidade como solução do problema proposto e, com base no resultado da avaliação, os operadores genéticos serão aplicados para simular a sobrevivência do mais apto (LINDEN, 2008).

Segundo Martino (2015), combinar boas soluções e aplicar mutações não necessariamente resultará em indivíduos melhores, portanto, torna-se necessário que os operadores de seleção, que simulam a própria seleção natural, estejam adequadamente definidos, para sempre selecionarem os melhores indivíduos de uma geração, garantindo a eficiência do algoritmo.

Esses algoritmos exploram diferentes regiões e pontos dentro do espaço de soluções possíveis por meio de um mecanismo próprio de suas recombinações

genéticas e mutações. Isso contribui para que se faça uma busca mais diversificada de soluções, explorando picos distintos e localizando a melhor solução global (MARTINO, 2015).

Isso demonstra que os algoritmos evolutivos devem ser usados para resolver problemas complexos que envolvam diferentes variáveis conflitantes e que precisam ser atendidas simultaneamente e satisfatoriamente. Caso contrário, não há a necessidade de se utilizá-los (LINDEN, 2008).

Dessa forma, pode-se afirmar que o uso dos algoritmos evolutivos na solução de problemas multiobjectivos, permite tanto um processo de otimização, quanto a possibilidade de obtenção de resultados criativos que podem contribuir com o processo de projeto, ao unir otimização e criatividade (MARTINO, 2015).

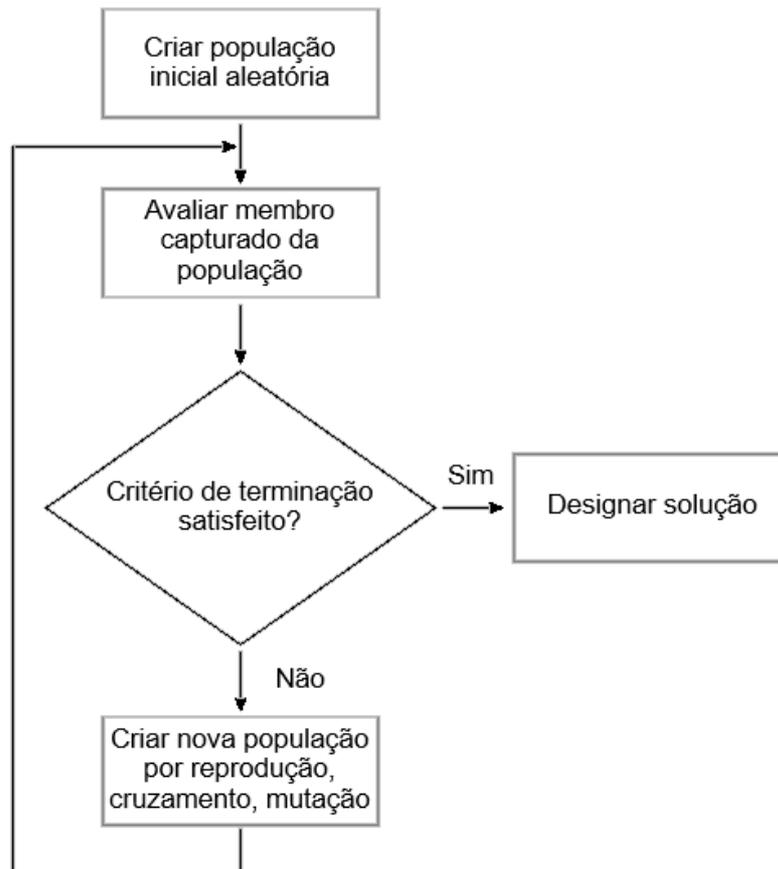
A terminologia utilizada no algoritmo genético define que uma solução para um problema é chamada de indivíduo, o grupo de soluções existentes em cada estágio é uma população. Cada nova população criada é uma geração. As cadeias que representam os indivíduos são os cromossomos, que codificam todos os parâmetros de interesse correspondentes a esse indivíduo. A adequação de qualquer indivíduo corresponde ao valor da função objetivo naquele ponto (CALDAS, 2001).

Durante a execução de algoritmo genético, as soluções aptas a resolver o problema de otimização são conservadas para que se reproduzam ou sofram mutação, formando uma nova geração de indivíduos ainda mais aptos. Cada possível solução, denominada na computação evolutiva como indivíduo, é avaliada pelo critério determinado pela função *fitness* de modo que cada um, obtém um valor que permita classifica-lo frente aos demais indivíduos de sua geração (BETANCOURT; ALVARADO; VILLARREAL, 2012).

Conhecendo as terminologias, Renner e Anikó (2003) explicam que os algoritmos genéticos mantêm uma coleção de soluções, as populações de indivíduos. Os cromossomos, que representam as propriedades hereditárias dos indivíduos, são compostos por genes. Os indivíduos que são soluções potenciais para o problema de otimização vivem para se reproduzir, enquanto os demais morrem. Por meio de mutação ou *crossover*, novos indivíduos são criados, substituindo os idosos da população e geralmente são semelhantes a seus pais.

Ou seja, a cada nova geração aparecerão indivíduos que se assemelham aos indivíduos aptos da geração anterior e sobrevivem aqueles adaptados ao ambiente dado (Figura 26).

Figura 26: Fluxograma de funcionamento de um algoritmo genético



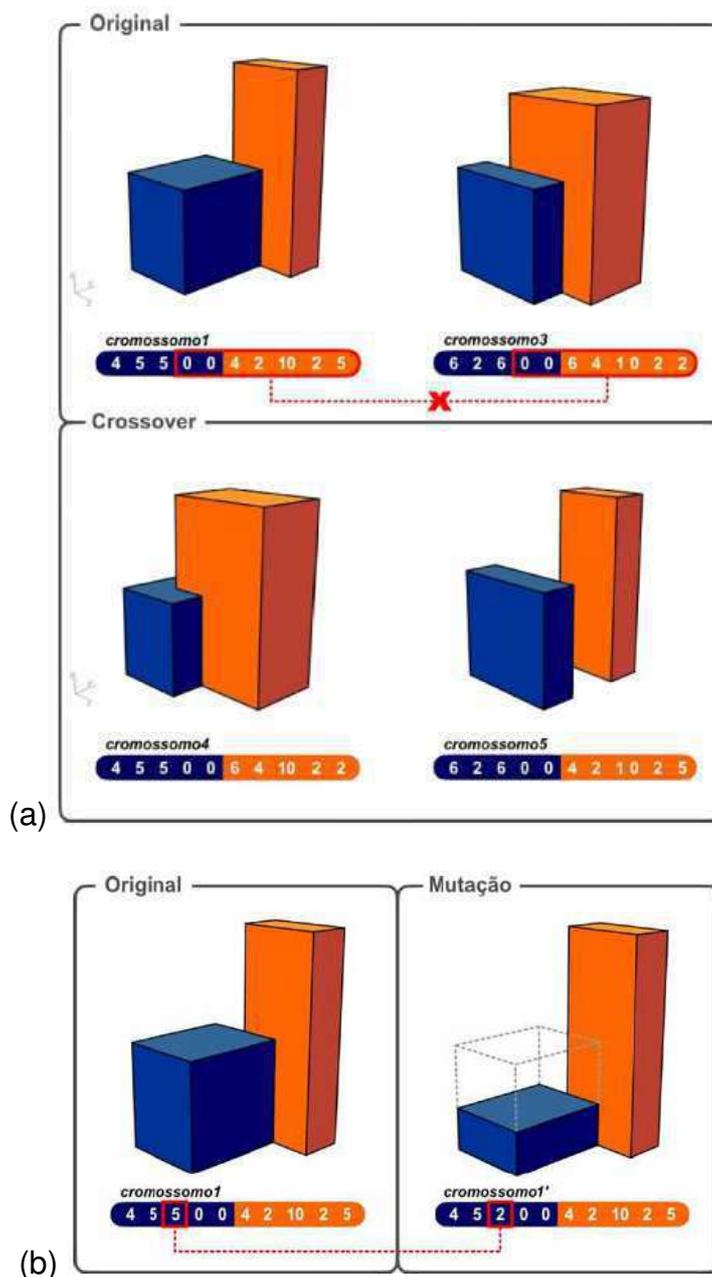
Fonte: Adaptado de Renner e Anikó, (2003).

Como um projeto de arquitetura ou engenharia pode ser visto como um problema de otimização que busca os melhores parâmetros, o algoritmo genético pode ser aplicado a eles. Ao transpor as noções da evolução na natureza para os computadores e imitar a evolução, eles encontram soluções para um problema, mantendo uma população de possíveis soluções de acordo com o princípio da sobrevivência do mais apto (RENNER; ANIKÓ, 2003).

A cada iteração podem ser realizados três operadores principais em um algoritmo genético básico: reprodução, onde os cromossomos são copiados para a geração seguinte, com base nos seus valores de *fitness*; *crossover* onde pares de cromossomos selecionados aleatoriamente são criados, gerando novos

indivíduos a ser inseridos na próxima geração e; mutação (Figura 27), que é uma alteração aleatória ocasional do alelo de um gene (CALDAS, 2001).

Figura 27: (a) - Geração de novos indivíduos por *crossover* e (b) - Geração por mutação



Fonte: Martino (2015).

A reprodução cria uma nova geração globalmente melhor do que a anterior, o cruzamento diversifica a população, manipulando genes dos cromossomos criados e a mutação introduz a chance necessária para uma exploração eficiente do espaço da pesquisa, permitindo ao algoritmo alcançar todos os pontos do espaço (ZNOUDA; GHRAB-MORCOS; HADJ-ALOUANE, 2007).

Antes que um algoritmo genético seja desenvolvido, deve-se escolher a codificação que será utilizada para representar a solução do problema por meio de um cromossomo, na qual o valor de cada variável é representado por um ou vários genes. A qualidade do algoritmo depende da estratégia de codificação adotada e de sua adequação aos operadores de mutação e *crossover* utilizados (ZNOUDA; GHRAB-MORCOS; HADJ-ALOUANE, 2007).

Ele é iniciado quando um número de possíveis soluções para um determinado problema é gerado, em seguida avaliado e os operadores genéticos básicos são aplicados na população inicial. Isso ocorre em um ciclo repetido de acordo com o número de gerações definidas pelo programador, que toma essa decisão baseado na complexidade do problema (CALDAS, 2001).

Segundo Renner e Anikó (2003), o algoritmo genético está sendo aplicado em diferentes áreas de engenharia, na elétrica, na mecânica, na aeroespacial, na civil e na arquitetura.

Uma das possibilidades de aplicação no campo da arquitetura é utiliza-los na escolha do sistema de janelas adequado a uma edificação, considerando os fatores externos e internos, para fornecer as melhores soluções dentro do campo de resultados possíveis.

2.4.3 Parametrização

Woodbury (2010) afirma que os projetistas estão acostumados a trabalhar com modelos que acrescentam e removem, desde o formato tradicional onde o lápis adiciona e a borracha subtrai até os modelos atuais, que são simples emulações desse sistema antigo. A modelagem paramétrica introduz uma mudança fundamental, onde as partes do projeto se relacionam e mudam juntas de maneira coordenada.

Na matemática, um parâmetro é uma variável para a qual a gama de valores possíveis identifica uma coleção de distintos casos em um problema. De forma similar, no projeto, o uso de parâmetros pode incrementar o número de possíveis variações de seu formato. Também são um conceito fundamental na definição de famílias de elementos arquitetônicos. Definir formas baseadas em relações e parâmetros espaciais pode ser considerado um sistema generativo. Alterando o

valor de cada parâmetro, é possível explorar as variações da forma (CELANI, 2003).

A modelagem paramétrica força o projetista a decompor os aspectos complexos do projeto e suas inter-relações em um estágio inicial, além de desafiá-lo, exigindo um pensamento abstrato inicial consistente, crucial para a sustentação computacional da capacidade de reutilização do conhecimento durante o processo (TURRIN; BUELOW; STOUFFS, 2011 e WOODBURY, 2010). As entidades paramétricas carregam suas propriedades e seus atributos dentro de suas representações simbólicas, permitindo que sejam transformadas e manipuladas (TIERNEY, 2007).

Na modelagem paramétrica, o designer estabelece as relações pelas quais as peças do projeto se conectam e constrói um projeto usando essas relações, que podem ser editadas observando e selecionando os resultados produzidos. O sistema cuida de manter o *design* consistente com os relacionamentos em questão, dessa forma, aumenta a capacidade que o projetista tem de explorar ideias e reduz o seu retrabalho (WOODBURY, 2010).

2.5 CONSIDERAÇÕES

É possível afirmar que o elemento janela é fundamental para promover a eficiência do edifício e reduzir o seu consumo energético ao passo que possibilita o conforto ambiental. Observa-se, entretanto, que os projetistas utilizam os modelos inadequados de esquadrias fornecidas pelo mercado, desprezando as características climáticas do local em que se insere a construção.

A abordagem teórica mostrou quais aspectos desse elemento influenciam no desempenho de uma janela e como cada um deles afeta os usuários e a edificação. O formato e a dimensão da janela definem a área de iluminação e radiação solar que entra no ambiente, tendo o sistema de abertura a função de regular a área útil de ventilação da esquadria, para promover a renovação do ar e a retirada do calor. O posicionamento da janela determina as relações de iluminação e ventilação nas diferentes partes do ambiente, sendo o material do vidro responsável por permitir maior ou menor troca de calor com o ambiente. A aplicação de dispositivos sombreadores reduz a radiação no ambiente, permitindo a entrada de luz.

As normas internacionais que regulam o desempenho das edificações podem ajudar na tomada de decisões sobre o assunto e, à medida que são atualizadas, têm o potencial de fornecer cada vez mais diretrizes para o desempenho adequado das construções. A relação dos usuários com as janelas, levando em conta as possibilidades de interação do mesmo com as esquadrias e a distinção de ambientes climatizados daqueles naturalmente ventilados permite a aplicação dos modelos de conforto térmico nas edificações que se deseja simular.

A utilização de algoritmos pautados em sistemas generativos evolutivos é uma poderosa ferramenta para lidar com as questões do projeto de janelas, pela sua capacidade de lidar com múltiplas variáveis simultaneamente, buscando as soluções ótimas para os problemas propostos.

Sua aplicação no processo de projeto de janelas pode fornecer soluções ideais para o atendimento das questões que envolvem as janelas, levando em conta aspectos climáticos como iluminação, ventilação e climatização; aspectos humanos, tais como interação com a janela, horários de abertura e fechamento da esquadria e padrões de ocupação do ambiente; e os próprios aspectos físicos da janela.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O método utilizado nesta pesquisa foi dividido em cinco etapas, a fim de se alcançarem resultados que atendam aos objetivos propostos.

Inicialmente, na primeira etapa, caracterizou-se o objeto de estudo, tratando dos aspectos físicos das janelas e das construções nas quais elas se inserem, bem como a caracterização dos usuários, atividades e padrões de ocupação. Na segunda etapa, foram definidos os fatores físicos utilizados como dados de entrada no sistema. A terceira etapa tratou da definição dos *softwares* computacionais e os procedimentos para a parametrização e montagem do sistema generativo. A quarta etapa demonstrou a configuração dos modelos, justificando cada decisão tomada com base nas definições da caracterização do objeto. A última etapa compreendeu a representação dos resultados, definindo a apresentação e o formato das análises.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO

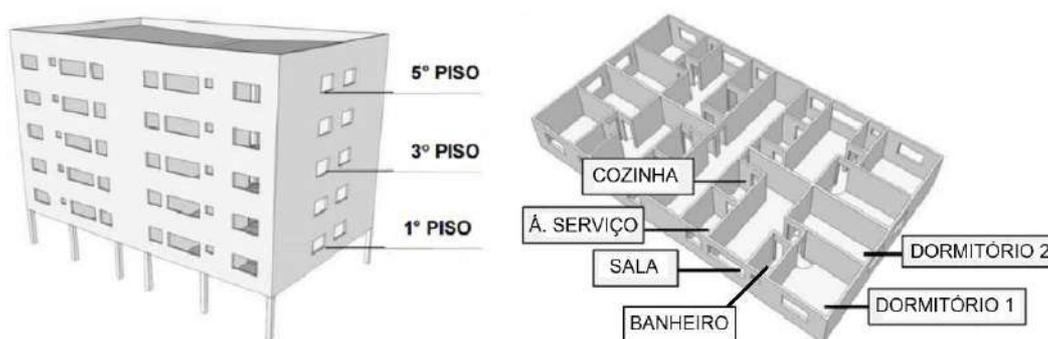
Para a caracterização da janela, foram atribuídos critérios considerando o conteúdo abordado no capítulo 2. O principal critério foi a seleção de variáveis que poderiam ser parametrizadas. As selecionadas foram:

- dimensão da abertura - largura, altura e peitoril das janelas;
- posicionamento na parede em relação ao cômodo e à fachada;
- quantidade de janelas que vão alimentar o ambiente de estudo;
- transmitância térmica do vidro (valor U);
- número de folhas que compõem a esquadria;
- sistema de abertura da janela - definido pela relação entre a área operável da esquadria e o percentual de abertura permitido;
- dispositivo de sombreamento; e
- usuário - rotina, horários de ocupação e horário de abertura e fechamento da janela.

A análise do desempenho das janelas será realizada em um edifício residencial multifamiliar, que busca representar características comuns dos edifícios existentes no Brasil. Dessa forma, o modelo de edifício selecionado para a realização das simulações baseou-se no padrão estabelecido pelo Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética - Edificações Residenciais - RTQ-R (INMETRO, 2012). Tal edificação já foi utilizada em outras pesquisas, como Sorgato, M. J.; Marinovski; Melo; Lamberts, (2012); Nico-Rodrigues, (2015) e Machado (2019). As simulações foram realizadas para o clima de Vitória, ES.

A edificação selecionada é composta por um pavimento térreo em pilotis e cinco pavimentos tipo sob uma cobertura com telhado embutido na platibanda. Cada andar possui quatro apartamentos com dois dormitórios, sala de estar, cozinha, área de serviço e banheiro, totalizando cerca de 70m² (Figura 28).

Figura 28: Modelo de edifício utilizado



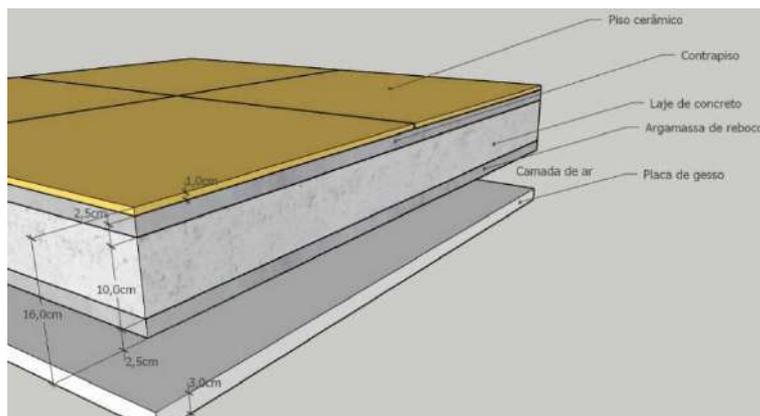
Fonte: Adaptado de Nico-Rodrigues, (2015).

Cada apartamento possui fachada voltada para duas orientações e, com exceção da cozinha, cuja ventilação se dá de forma indireta pela área de serviço, todos os ambientes possuem abertura para o exterior.

Para a construção do modelo digital, os revestimentos utilizados nas lajes, paredes e coberturas da edificação, bem como o tipo de vidro das janelas, foram os comumente utilizados na construção civil local. As transmitâncias térmicas dos materiais foram calculadas segundo método da Norma de Desempenho das Edificações (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003a) e o passo a passo das equações está detalhado no Apêndice A.

As lajes aplicadas na simulação entre pavimentos e cobertura, tem a sua composição ilustrada conforme Figura 29.

Figura 29: Laje



Fonte: Autor, 2019.

As propriedades térmicas dos materiais que compõem as lajes são indicadas no Quadro 2.

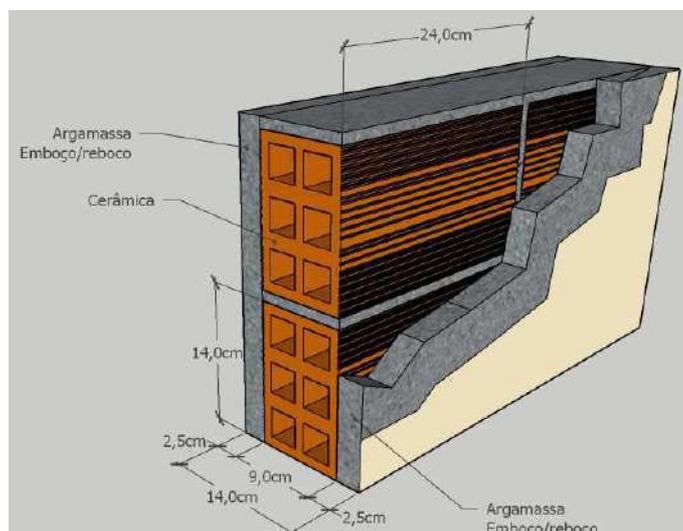
Quadro 2: Propriedades térmicas da laje

Material	Esp. (m)	Condutiv. W/m.k	Densid. kg/m ³	Calor especif KJ/kg.K	Resist. térmica m ² .K/W
Piso cerâmico	0,01	0,90	1600	0,92	-
Contrapiso	0,025	1,15	2000	1,00	-
Laje de concreto	0,10	1,75	2200	1,00	-
Argamassa de reboco	0,025	1,15	2000	1,00	-
Camada de ar	>0,05	-	-	-	0,21
Placa de gesso	0,03	0,35	750	0,84	-

Fonte: Autor, 2020.

Para as paredes, foram utilizados tijolos cerâmicos vazados de 9cm de espessura, com reboco e pintura dos dois lados (Figura 30).

Figura 30: Paredes



Fonte: Autor, 2019.

E as propriedades térmicas dos materiais que compõem as paredes estão descritas no Quadro 3.

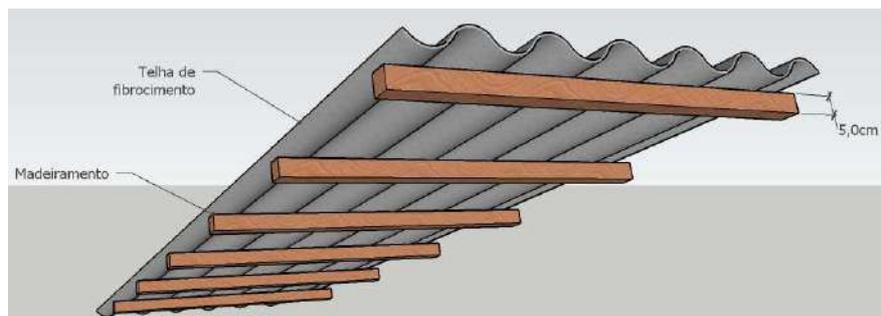
Quadro 3: Propriedades térmicas da parede

Material	Esp. (m)	Condutiv . W/m.k	Densid. kg/m ³	Calor específ KJ/kg.K	Resist. térmica m ² .K/W
Argamassa / emboço / reboco	0,025	1,15	2000	1,00	-
Cerâmica	0,01	0,90	1600	0,92	-
Camada de ar	0,03	-	-	-	0,16
Cerâmica	0,01	0,90	1600	0,92	-
Camada de ar	0,03	-	-	-	0,16
Cerâmica	0,01	0,90	1600	0,92	-
Argamassa / emboço / reboco	0,025	1,15	2000	1,00	-

Fonte: Autor, 2020.

A cobertura utilizada foi composta por telha de fibrocimento com estrutura de madeiramento de suporte, conforme Figura 31.

Figura 31: Cobertura



Fonte: Autor, 2019.

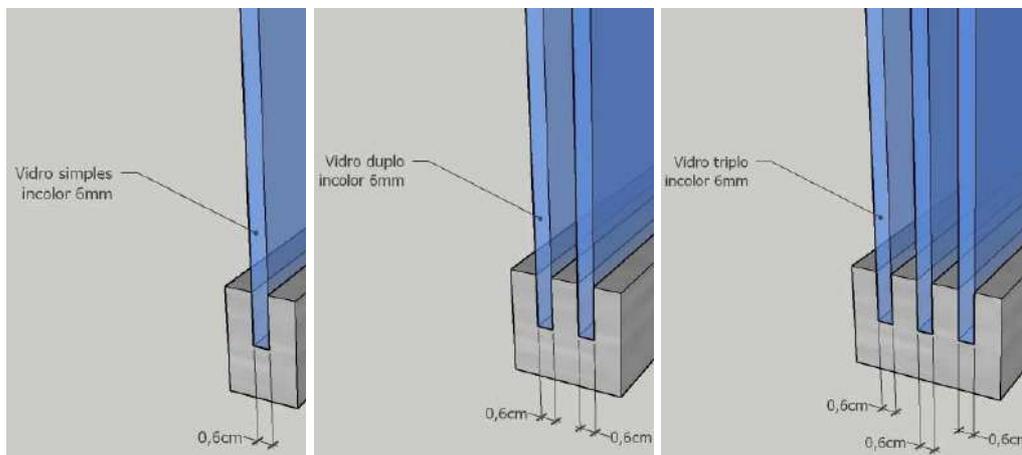
Os valores de transmitância térmica da cobertura foram baseados diretamente no Catálogo de materiais do INMETRO (2013), não havendo a necessidade de cálculo.

Optou-se pelo uso de vidro com 6mm de espessura, incolor, que constitui o modelo mais utilizado no mercado da construção civil capixaba, segundo levantamento das informações fornecidas pelos fabricantes após consulta direta com as principais empresas fabricantes de esquadrias da Grande Vitória. Para efeito de cálculos, o modelo adotado também utilizou como base o catálogo do INMETRO (2013).

Foram feitas composições com vidros simples, duplos e triplos (Figura 32). Os dois primeiros são mais utilizados no Brasil, segundo os fabricantes, enquanto a

simulação com o vidro triplo ocorre para verificar a sua eficácia, podendo ser uma possível justificativa para a sua implementação nos projetos.

Figura 32: Janelas com vidro simples, duplo e triplo.



Fonte: Autor, 2019.

As propriedades térmicas dos vidros e das camadas de ar localizadas entre cada folha são exemplificadas abaixo na composição da esquadria de vidro triplo (Quadro 4).

Quadro 4: Propriedades térmicas do vidro

Material	Esp. (m)	Condutiv. W/m.k	Densid. kg/m ³	Calor especif KJ/kg.K	Resist. térmica m ² .K/W
Vidro	0,06	1,00	2500	0,84	-
Camada de ar	0,0125	-	-	-	0,14
Vidro	0,06	1,00	2500	0,84	-
Camada de ar	0,0125	-	-	-	0,14
Vidro	0,06	1,00	2500	0,84	-

Fonte: Autor, 2020.

O Quadro 5 sistematiza os resultados obtidos após os cálculos das transmitâncias térmicas (valor U) dos materiais empregados.

Quadro 5: Transmitância térmica dos revestimentos

Material	Transmitância Térmica (W/m ² .K)
Laje	1,34
Parede	2,54
Cobertura	2,56
Vidro Simples	5,69
Vidro Duplo	3,11
Vidro Triplo	2,14

Fonte: Autor (2020).

Para os parâmetros humanos e ganhos térmicos foram utilizados valores adaptados do experimento realizado por Nico-Rodrigues (2015).

O dormitório possui uma ocupação de até 2 pessoas, sendo que em 20% do dia ele permanece desocupado. A iluminação é por meio de lâmpadas fluorescentes e há um computador como equipamento que gera ganhos térmicos. Foram adotadas vestimentas leves, por se tratar de um clima tropical, e o metabolismo é calculado com base em uma pessoa sentada, lendo. Os horários de abertura da janela também foram definidos no Quadro 6.

Quadro 6: Parâmetros de ocupação, parâmetros humanos, ganhos térmicos de equipamentos e abertura das janelas

Parâmetros de ocupação	Horários
Usuário	08hs – 13hs = 0% ocupado 13hs – 22hs = 50% ocupado 22hs – 08hs = 100% ocupado
Parâmetros humanos	Valores
Vestimenta	Roupas leves = 0,30 clo
Metabolismo para pessoa sentada, lendo	115 W/pessoa
Quantidade de ocupantes	2 pessoas
Ganhos térmicos de equipamentos	Cargas
Iluminação artificial	5 W/m ²
Computador	3,90 W/m ²
Abertura das janelas	Horário
Janela aberta	08hs – 21hs
Janela fechada	21hs – 08hs

Fonte: Elaborado a partir de Nico-Rodrigues (2015).

3.2 FATORES FÍSICOS

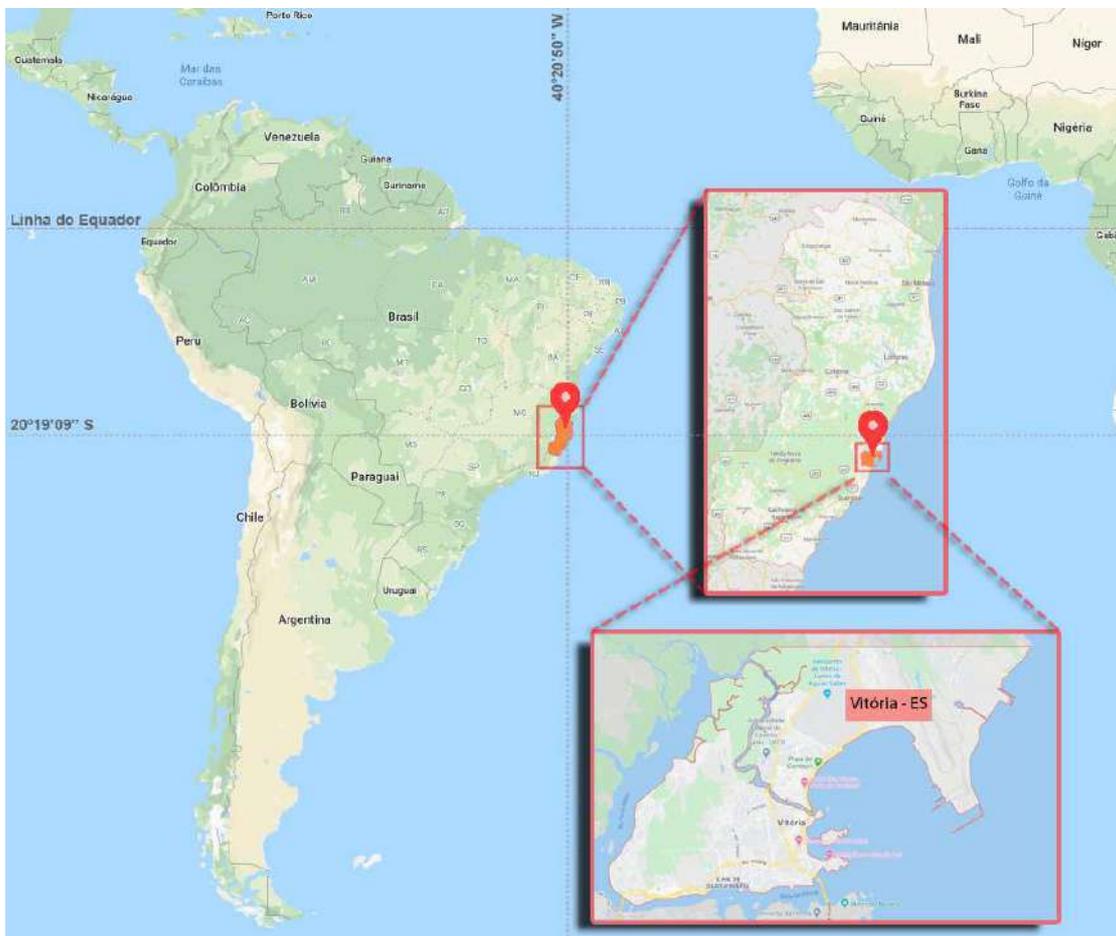
A cidade litorânea de Vitória é localizada na região sudeste do Brasil (coordenadas 20°19'09" S e 40°20'50" W), fazendo parte da região metropolitana do estado do Espírito Santo (Figura 33).

O clima é caracterizado como tropical de monções, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger (ALVARES et al., 2014) e localiza-se na Zona Bioclimática 8 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003b), que corresponde a mais de 50% do território nacional.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003) recomenda, para as construções que estão nesta zona, que seja utilizada uma estratégia de condicionamento térmico passivo, com ventilação obtida por meio da circulação

de ar pelos ambientes, através de janelas e portas, quando o cômodo possuir janelas em apenas uma de suas fachadas.

Figura 33: Localização de Vitória

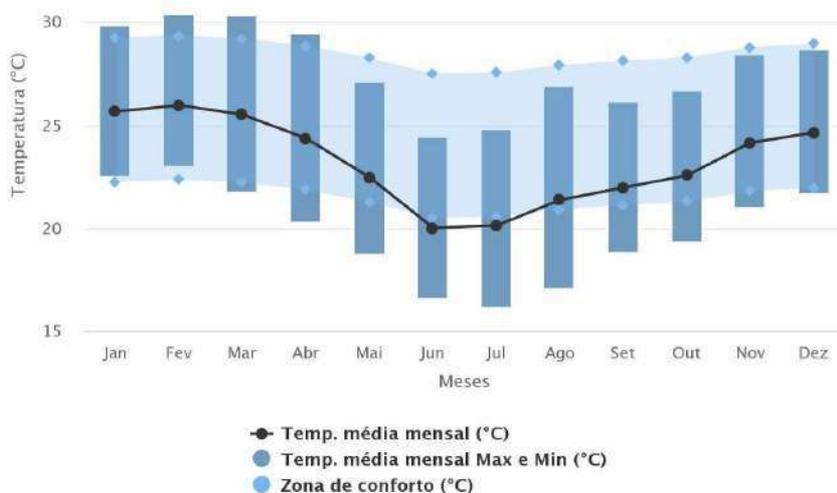


Fonte: Prefeitura de Vitória (2010).

A normativa salienta, ainda, que o condicionamento passivo será insuficiente durante as horas mais quentes. Deve-se, desta forma, buscar maximizar a eficiência da edificação, para proporcionar conforto ao usuário o maior número de horas possível, dentro dos limites possibilitados pelo clima.

A temperatura média de Vitória vai de 26,7°C em fevereiro a 21,6°C em julho, tendo máximas de 31,6°C e mínimas de 18,8°C nos mesmos meses (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET, 2018). O Gráfico 1 ilustra as temperaturas da cidade em relação à zona de conforto definida pela ASHRAE 55 (2013), onde observa-se que todos os meses apresentam temperaturas fora da zona, seja para o frio ou para o calor.

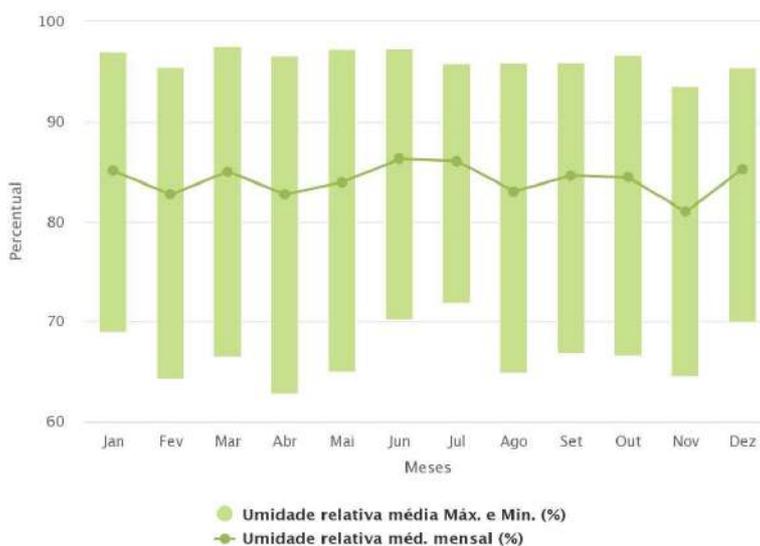
Gráfico 1: Temperatura e zona de conforto



Fonte: Projeteee (2018).

Quanto à umidade relativa, que é associada à temperatura para definir a sensação térmica, tem-se média de umidade superior a 80% em todos os meses do ano (Gráfico 2), o que gera desconforto térmico, sensação de abafamento e dificuldade de evaporação do suor, com redução de temperatura corporal. A alta umidade ainda gera baixa amplitude térmica, resultando em calor durante as noites (PROJETEEE, 2018).

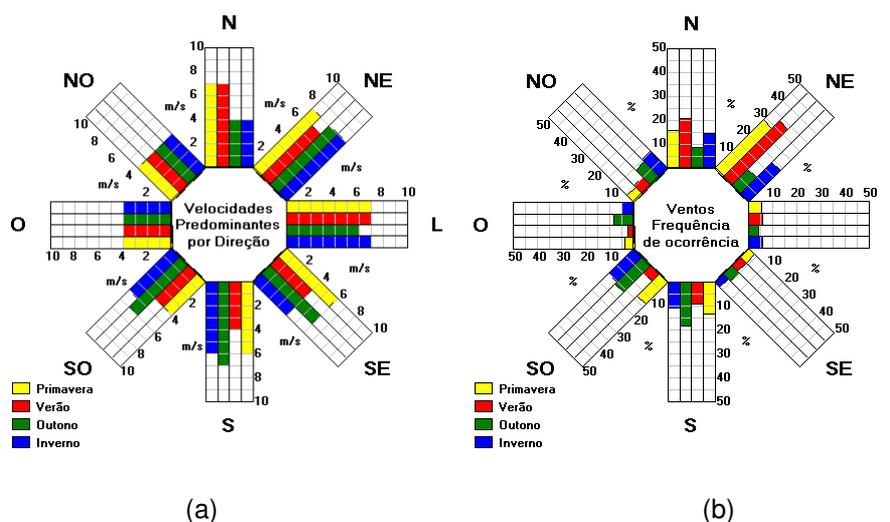
Gráfico 2: Umidade relativa



Fonte: Projeteee (2018).

Os ventos da cidade são predominantes na direção Nordeste (Figura 34), onde são mais frequentes na primavera e no verão. A ventilação natural entra como aliada no projeto reduzindo o desconforto térmico no interior dos ambientes. Tal estratégia é particularmente interessante em meses mais quentes.

Figura 34: (a) - Velocidade dos ventos e (b) -Frequência dos ventos

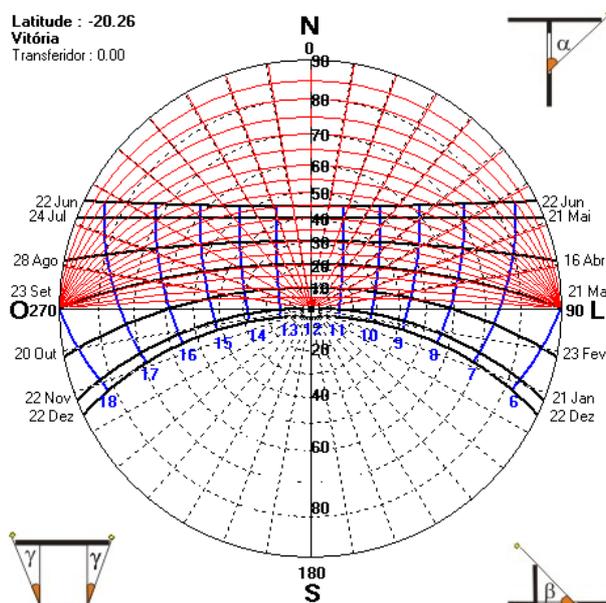


Fonte: LABEEE (2018).

Fonte: LABEEE (2018).

A carta solar da cidade (Figura 35) revela incidência solar durante a manhã para o Leste e à tarde para Oeste durante todos os meses. O Norte recebe radiação solar durante o dia todo de março a setembro, recebendo, nos demais meses, sol em parte da manhã e da tarde. O Sul, por sua vez, recebe insolação durante todo o dia apenas de novembro a janeiro, período mais quente do ano.

Figura 35: Carta solar de Vitória



Fonte: LABEEE (2018).

Ressalta-se que todas as orientações apresentam incidência solar que deve ser controlada, seja por conta de longas horas de exposição ao sol, seja por receber a insolação proveniente dos meses mais quentes do ano. Devido às diferentes

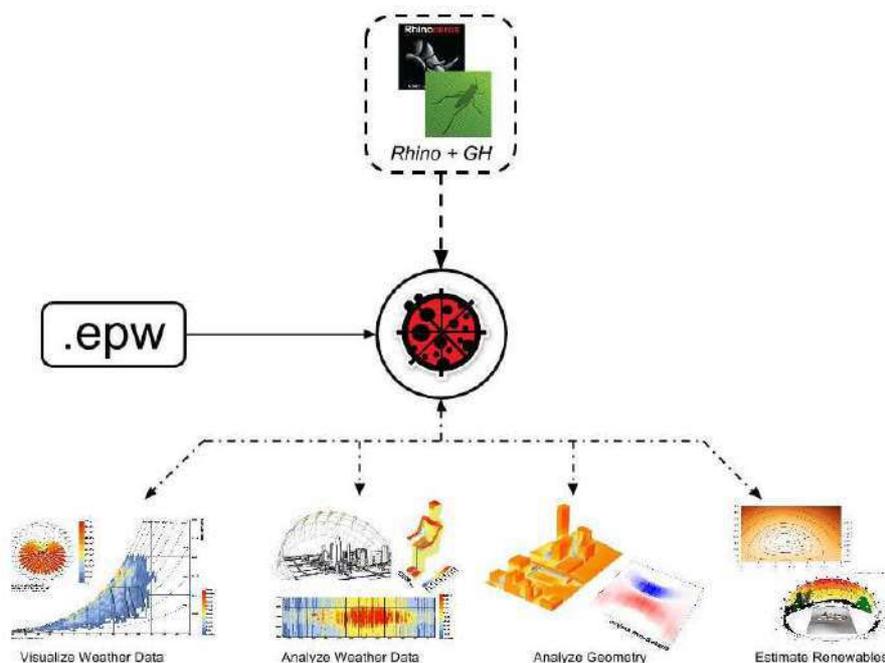
inclinações dos raios solares, dispositivos sombreadores e variações nos sistemas de abertura permitem um projeto de janela adequado aos cenários expostos na carta solar.

3.3 SOFTWARE PARA PARAMETRIZAÇÃO E MONTAGEM DO SISTEMA

O *software* utilizado para a parametrização das janelas e modelagem do sistema generativo foi o *Rhino 6 for Windows* (ROBERT MCNEEL & ASSOCIATES, 2019), que consiste em um programa de modelagem que conta com um *plug-in*, denominado *Grasshopper*, considerado uma linguagem de programação com o objetivo de gerar modelos paramétricos baseados em algoritmos para a arquitetura e áreas correlatas. Atrelado a ele, foram utilizados dois outros *plug-ins* de análise ambiental e energética, denominados, respectivamente, *Ladybug* e *Honeybee*.

O *plug-in Ladybug* permite importar e analisar dados climáticos padrão no *Grasshopper*. Ele desenha diagramas como caminho solar e rosa dos ventos, permitindo personaliza-los de várias maneiras. Executa análises de radiação, estudos de sombras, análises de conforto, de dados climáticos, dentre outros (MCNEEL EUROPE, 2020). A Figura 36 exemplifica as possibilidades de resultados obtidos com o *software*.

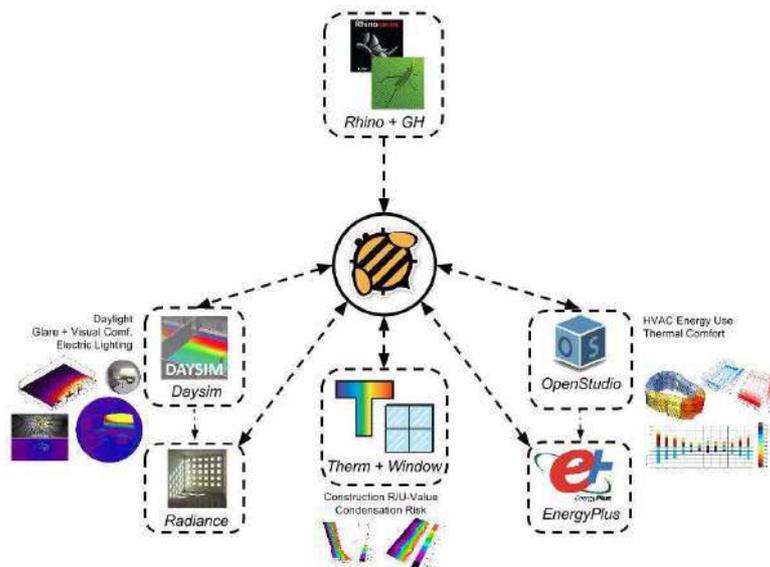
Figura 36: Exemplos de análises do *Ladybug*



Fonte: McNeel Europe (2020).

O *Honeybee* é um *plug-in* responsável por conectar o *Grasshopper* com mecanismos de simulação validados, como o *EnergyPlus*, *Radiance*, *Daysim* e *OpenStudio* (Figura 37), gerando resultados relacionados ao consumo de energia, ao conforto térmico e à iluminação natural (MCNEEL EUROPE, 2020).

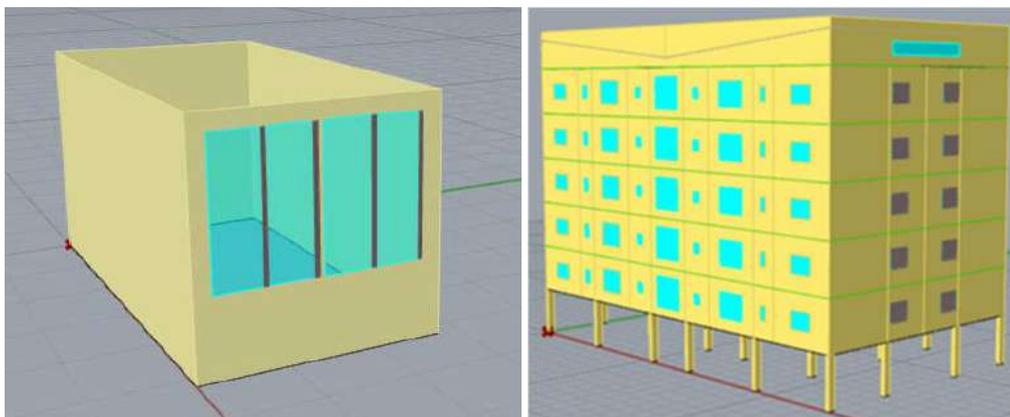
Figura 37: Exemplos de análises do *Honeybee*



Fonte: McNeel Europe (2020).

Para a realização das simulações, foram criados dois sistemas. O primeiro foi desenvolvido para a análise de um cômodo de longa permanência, enquanto que o segundo sistema foi desenvolvido para obter resultados do cômodo considerando as interferências do edifício inteiro (Figura 38).

Figura 38: (a) – Modelagem do cômodo e (b) – Modelagem do edifício



(a)

Fonte: Autor, 2020.

(b)

Fonte: Autor, 2020.

O sistema do ambiente isolado foi dividido em três partes: dados de entrada; desenvolvimento do sistema; e resultados, indicados na Figura 39 com as cores amarela, azul e branco, respectivamente.

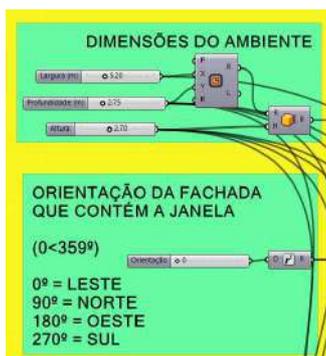
Figura 39: Sistema para o ambiente isolado



Fonte: Autor, 2020.

A parte inicial do sistema é composta pelos dados de entrada de dimensões e orientação da arquitetura (Figura 40) e pelos dados de entrada de dimensões e posicionamento na fachada da janela.

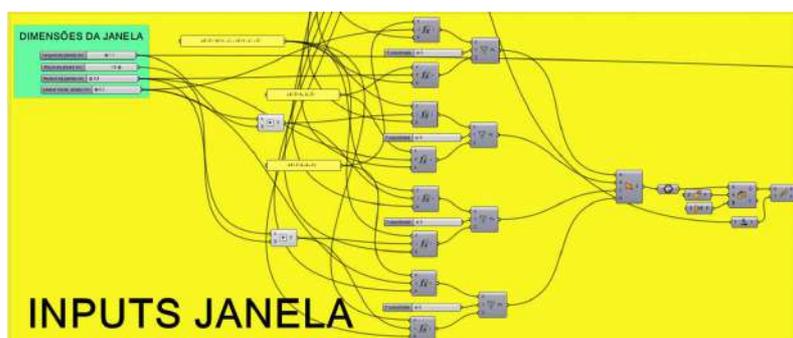
Figura 40: Inputs de arquitetura



Fonte: Autor, 2020.

Foram feitas restrições nas medidas da janela por meio de equações matemáticas, para impedir que as dimensões da esquadria ultrapassem as do ambiente (Figura 41).

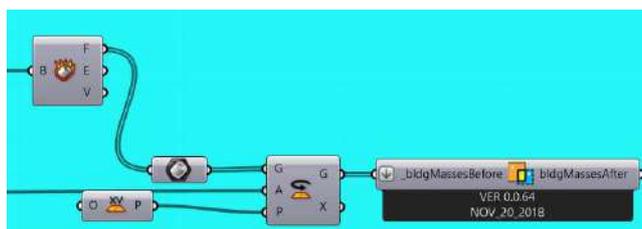
Figura 41: Inputs da Janela



Fonte: Autor, 2020.

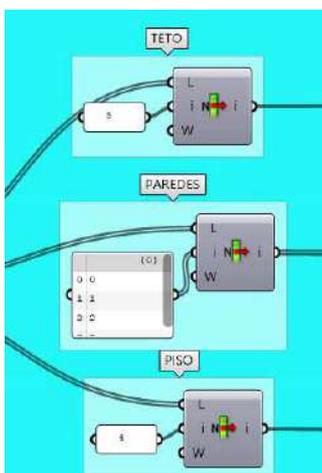
Os dados de entrada obtidos na parte inicial do sistema foram direcionados para as etapas que compõem a sua montagem. Dessa forma, inicialmente, efetuou-se uma intersecção das massas, para evitar erros de adjacências (Figura 42) e, em seguida, as superfícies foram separadas por tipo – piso, parede e teto (Figura 43).

Figura 42: Intersecção das massas



Fonte: Autor, 2020.

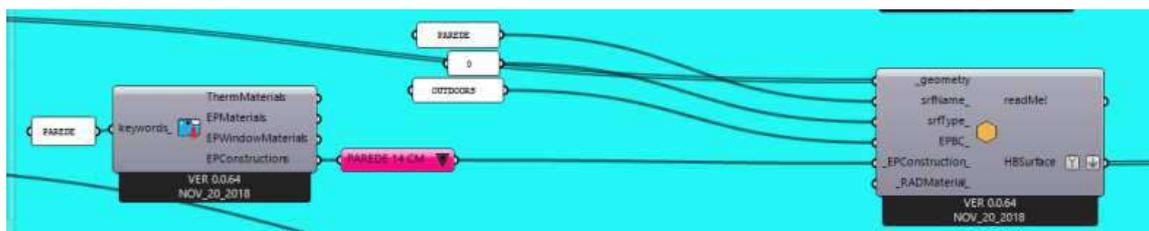
Figura 43: Separação do tipo de superfície



Fonte: Autor, 2020.

Após estas etapas realizadas pelo *Grasshopper*, iniciaram-se os processos que englobam os *plug-ins* de desempenho. Assim, as superfícies, até então dotadas apenas das suas características dimensionais, foram transformadas em superfícies do *Honeybee*, onde receberam propriedades térmicas, conforme Figura 44.

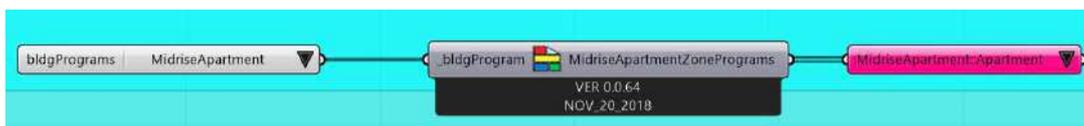
Figura 44: Criação de superfícies no *Honeybee*



Fonte: Autor, 2020.

Após esta configuração, foi inserida uma sequência de pilhas que define o programa do local, como sendo um apartamento padrão dentre as tipologias compreendidas pela ASHRAE 55 (AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, 2013), conforme ilustra a Figura 45.

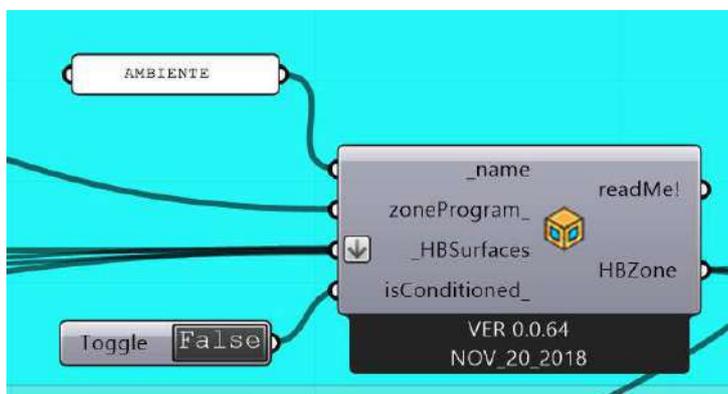
Figura 45: Programa de ocupação do ambiente



Fonte: Autor, 2020.

Em seguida, as superfícies do modelo, até então desconectadas, foram transformadas em uma zona do *Honeybee*. A partir deste ponto, o *plug-in* *Grasshopper* passa a entender que o objeto da simulação é um ambiente fechado (Figura 46), não climatizado, com todas as características térmicas pré-inseridas atreladas a ele.

Figura 46: Criação de zona no *Honeybee*



Fonte: Autor, 2020.

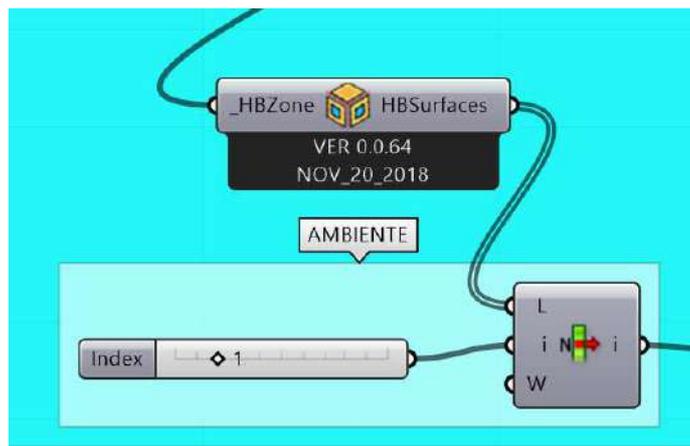
Finalizado este processo, foi necessário separar a superfície que contém a janela, consequentemente separando as superfícies do modelo (Figura 47 e Figura 48).

Figura 47: Separação das superfícies



Fonte: Autor, 2020.

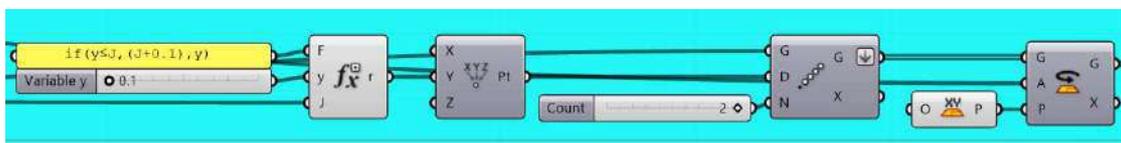
Figura 48: Separação da superfície que contém a janela



Fonte: Autor, 2020.

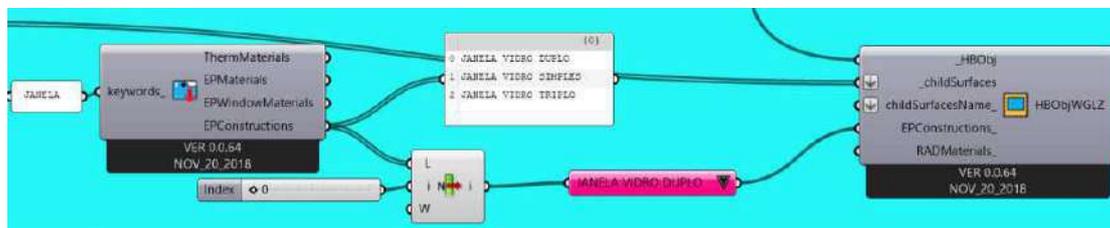
O próximo procedimento correspondeu à aplicação das propriedades paramétricas referentes à janela. As dimensões da janela já haviam sido parametrizadas no início do sistema, assim, o segundo procedimento de parametrização foi a possibilidade de variar o número de janelas que atenderiam ao ambiente e a distância entre elas (Figura 49).

Figura 49: Variação no número de janelas



Fonte: Autor, 2020.

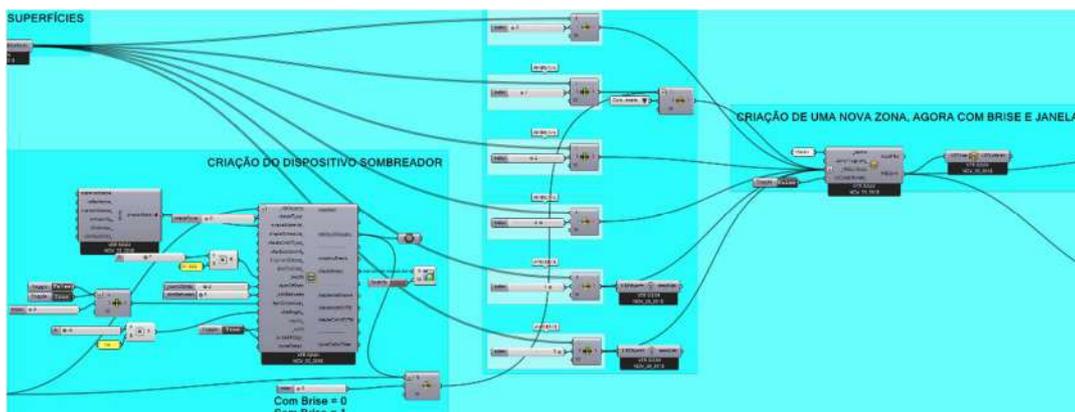
Seguindo com o sistema, passou-se para a criação da janela dentro do *Honeybee*. Neste momento foram inseridas as suas propriedades de material (Figura 50).

Figura 50: Criação da janela no *Honeybee*

Fonte: Autor, 2020.

Na sequência dos procedimentos foi inserido o dispositivo sombreador parametrizado, reagrupando-se as superfícies e criando, em definitivo, a zona não climatizada que foi estudada no *Honeybee*, agora com uma janela (Figura 51).

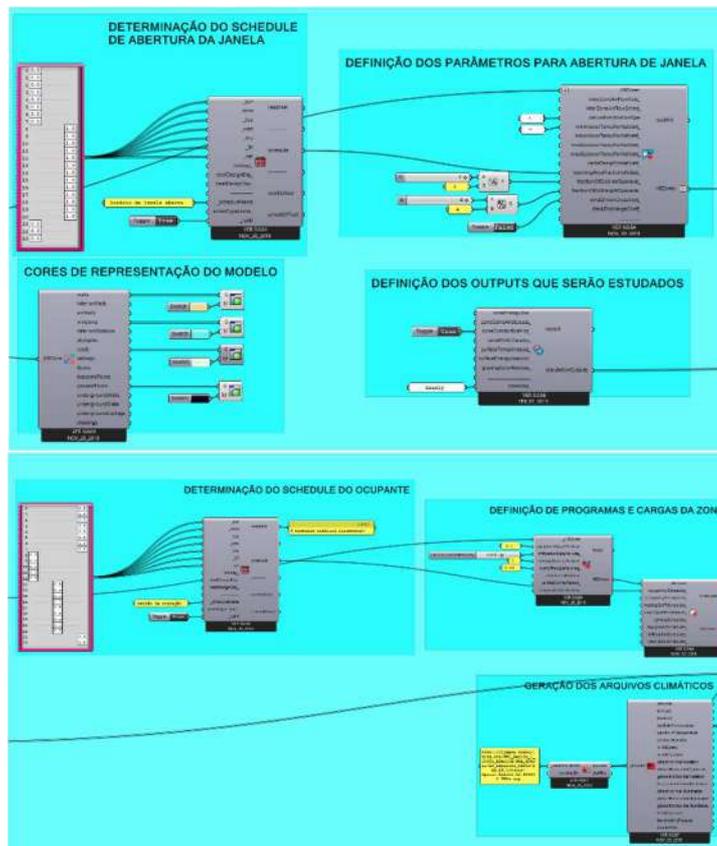
Figura 51: Sombreador e recriação da zona



Fonte: Autor, 2020.

A partir deste momento, iniciou-se a inserção de dados relativos ao comportamento e características dos usuários com a janela (Figura 52). O primeiro item inserido foi a configuração de abertura da janela, identificados os horários em que a janela estaria aberta ou fechada, em seguida, sua área operável, cronograma de ocupação da zona, equipamentos utilizados, métricas estudadas e características climáticas do local de aplicação do sistema.

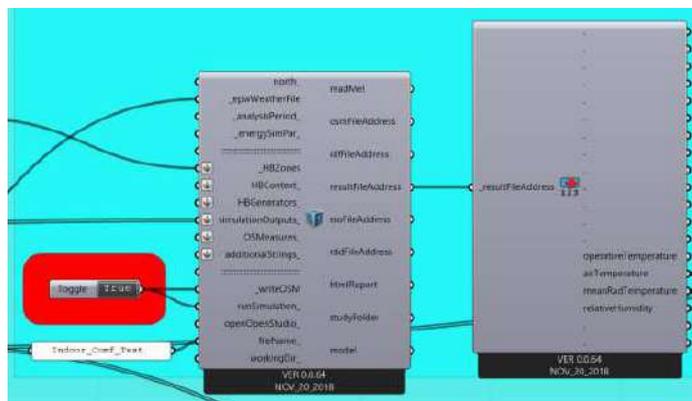
Figura 52: Características de uso da janela



Fonte: Autor, 2020.

O sistema foi conectado à pilha que executou a simulação (Figura 53) gerando os dados para análise.

Figura 53: Pilha de simulação



Fonte: Autor, 2020.

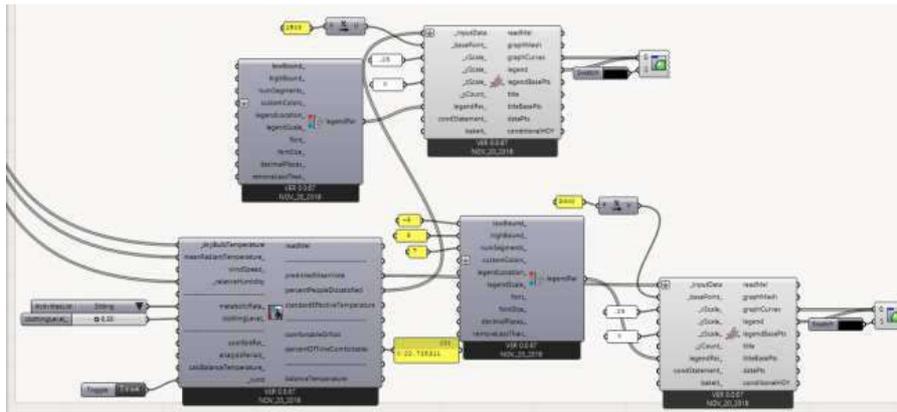
Para a análise do voto médio previsto, utilizou-se a pilha de cálculo. Ela serviu para determinar as métricas de PMV, porcentagem de pessoas insatisfeitas e temperatura padrão efetiva para um conjunto de condições climáticas e comportamento/vestuário do ocupante.

A pilha de cálculo utiliza como dados de entrada, a temperatura de bulbo seco da zona analisada; a temperatura radiante média das superfícies do edifício; a umidade relativa obtida pelos arquivos climáticos em formato EPW disponíveis pelo *site* do programa *EnergyPlus*; o nível em *clo* da vestimenta dos usuários, definido segundo Quadro 6 e; a taxa metabólica da atividade realizada, também de acordo com o Quadro 6.

Serão extraídos da pilha de cálculo os percentuais de tempo confortáveis, que determina a porcentagem de condições de entrada para a qual o ocupante está confortável; os valores de PMV, seguindo sua escala de -3 até +3 e; o percentual de pessoas insatisfeitas, que estima o quantitativo de pessoas com PMV menor que -1 e maior que +1. O sistema montado para a obtenção destes resultados está ilustrado na Figura 54.

Para gerar resultados de conforto adaptativo, foi utilizada a pilha de cálculos, alimentada com as temperaturas de bulbo seco da zona analisada e temperaturas radiantes médias das superfícies do modelo; além da temperatura externa, obtida pelos arquivos climáticos em formato EPW disponíveis no *site* do programa *EnergyPlus*.

Figura 54: Sistema para análises de PMV

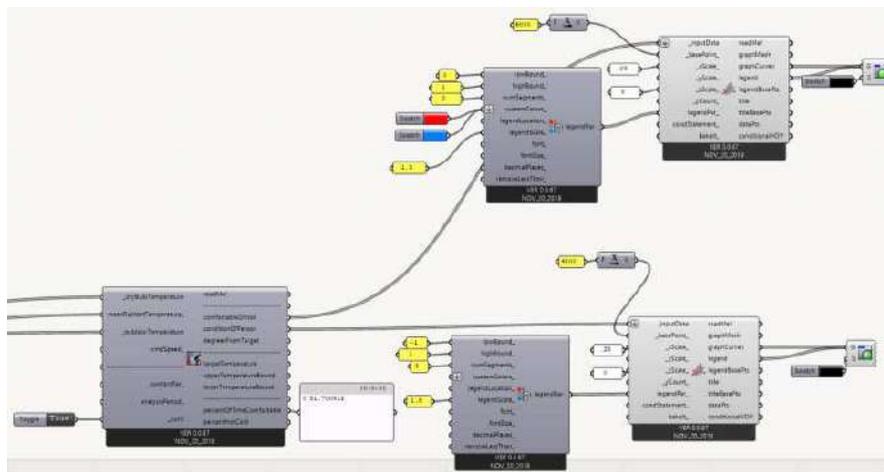


Fonte: Autor, 2020.

Esta pilha gera seus dados de saída em forma de 0's e 1's, indicando as condições em que as pessoas se encontram confortáveis ou não. Também foi gerado a porcentagem mensal de tempo confortável, quente e frio, assim como uma série de números indicando as temperaturas de conforto máxima e mínima.

Dentre essas possibilidades, foram extraídos para análise os resultados de percentual de tempo confortável, que é a porcentagem dos dados de entrada na qual os ocupantes sentem-se confortáveis, indicando que a temperatura interna está dentro da faixa de conforto determinada pela temperatura externa; sensação de conforto ou não, um conjunto de 0's e 1's – ou falsos e verdadeiros – indicando se os ocupantes sentem-se confortáveis nas condições de entrada e; condição da pessoa, com resultados que variam de +1 a -1, onde -1 indica ambiente frio, 0 indica confortável e +1 calor para os ocupantes. O sistema montado para essa extração de dados está ilustrado na Figura 55.

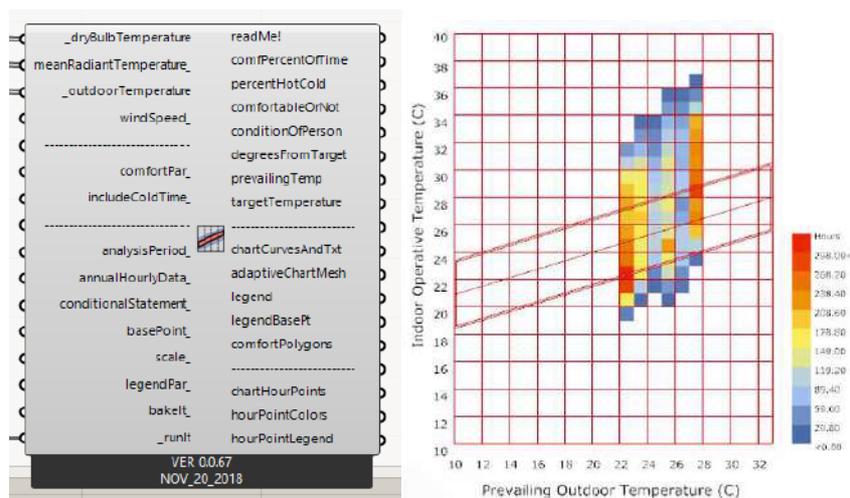
Figura 55: Sistema para análises de conforto adaptativo



Fonte: Autor, 2020.

Ainda dentro do conforto adaptativo, foi conectada uma pilha para a geração do quadro de conforto adaptativo, que mostra na vertical a temperatura operativa no interior do ambiente e, na horizontal, a temperatura externa. Os pontos do gráfico são preenchidos com a quantidade de horas em cada situação, para se verificar se tem ou não conforto. A Figura 56 ilustra a sua pilha e o tipo de gráfico que ela gera.

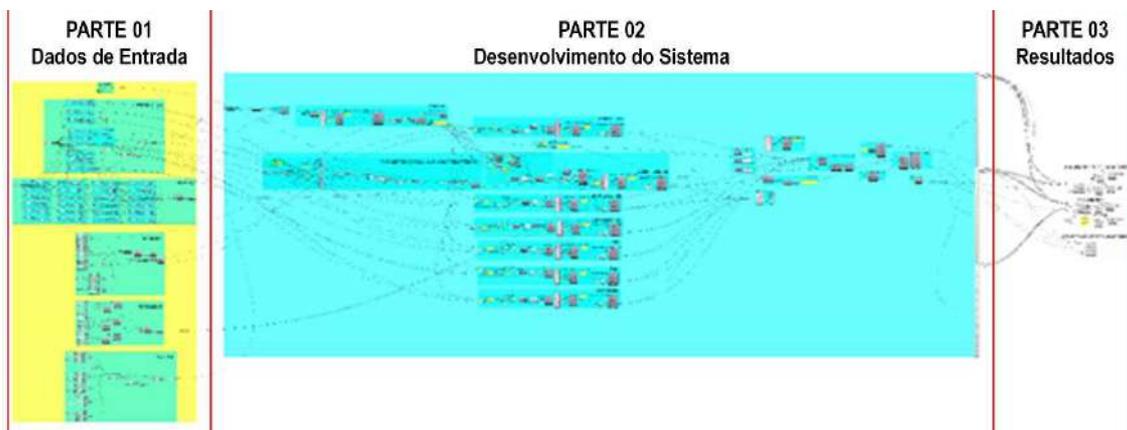
Figura 56: Quadro de conforto adaptativo



Fonte: Autor, 2020.

O sistema montado para a análise do conforto térmico em um edifício (Figura 57), possui estrutura semelhante àquela montada para a análise de um ambiente isolado. Sua divisão também se dá em três partes, embora sua montagem seja mais complexa e possua mais elementos.

Figura 57: Sistema do edifício

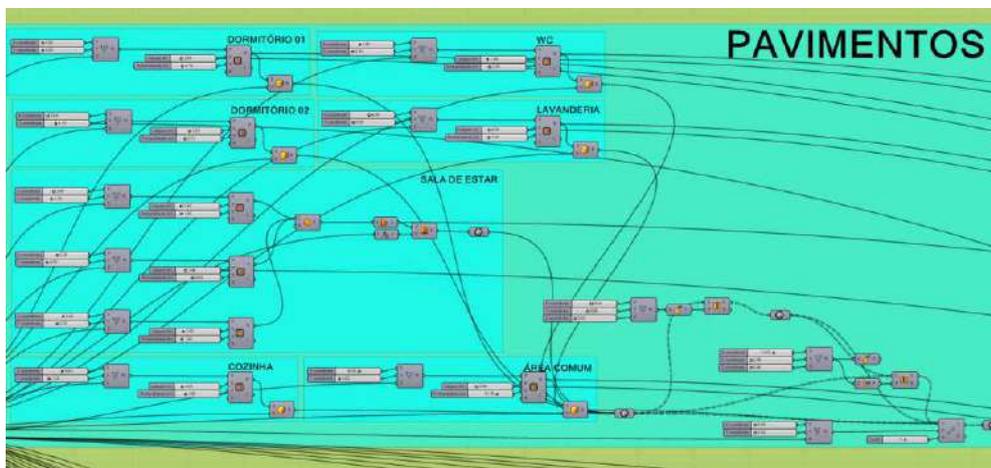


Fonte: Autor, 2020.

A parte inicial, também identificada na cor amarela, além de identificar a orientação do edifício, contém a modelagem de todos os ambientes do

apartamento multiplicados pelos cinco andares, formando a geometria das moradias (Figura 58).

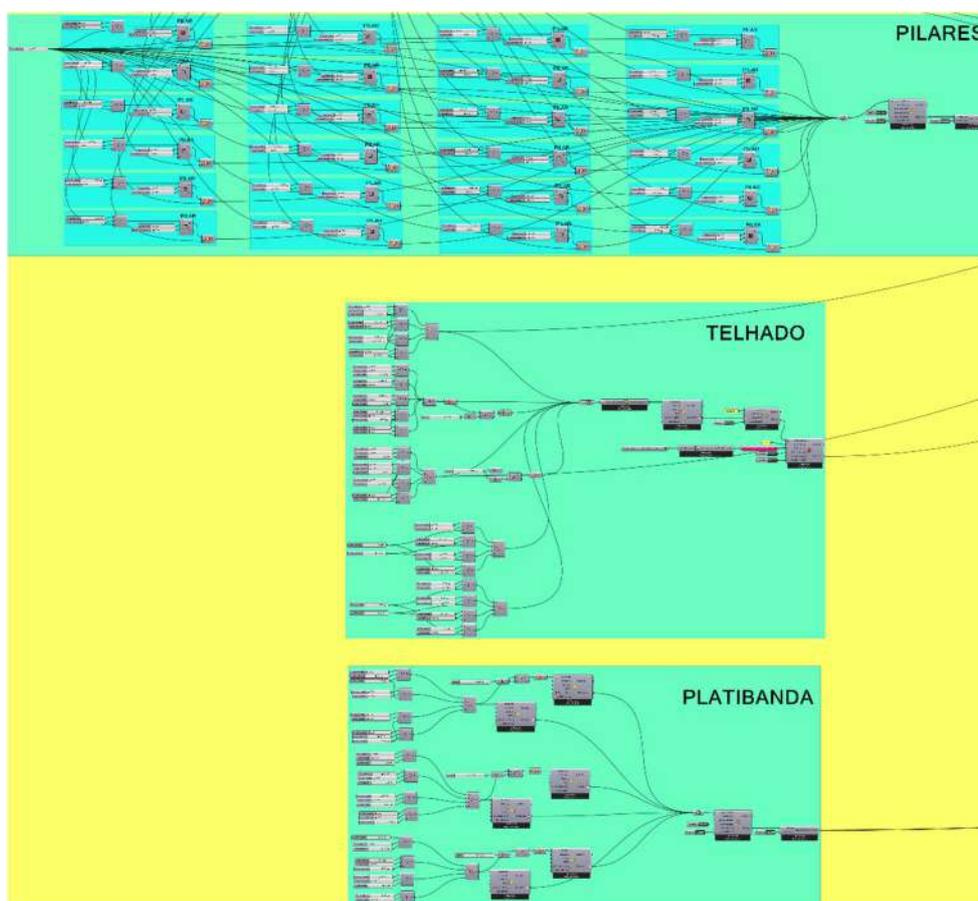
Figura 58: Ambientes no edifício



Fonte: Autor, 2020.

Foram modelados os pilares do pavimento térreo, a zona da cobertura – acima do quinto pavimento e abaixo do telhado - e a platibanda (Figura 59).

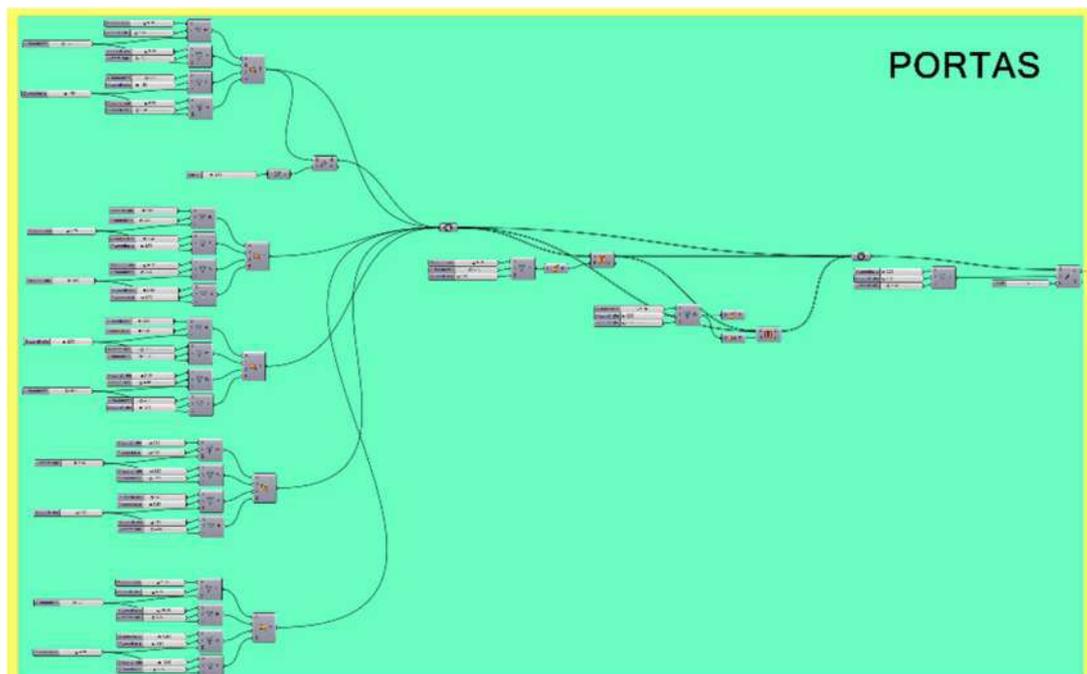
Figura 59: Pilares, telhado e platibanda



Fonte: Autor, 2020.

Ainda na parte inicial, de definição da geometria, foram inseridas as portas que conectam os cômodos e permitem circulação de ar por entre eles (Figura 60).

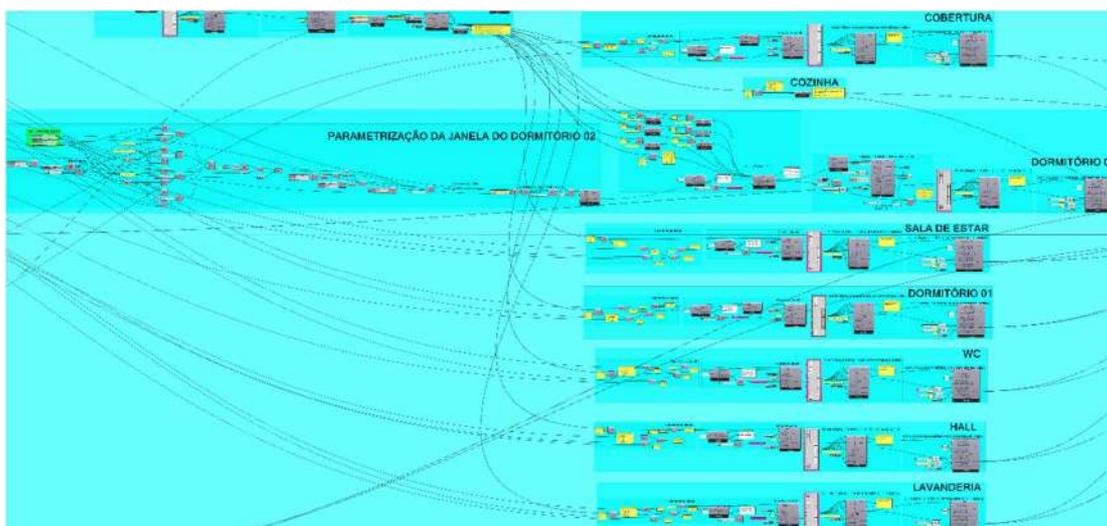
Figura 60: Geometria das portas



Fonte: Autor, 2020.

Outra distinção neste sistema foi o isolamento de cada zona, objetivando inserir janelas em cada cômodo do apartamento – cozinha, dormitórios 1 e 2, sala de estar, banheiro e lavanderia – além de aberturas no corredor central do edifício e na cobertura (Figura 61).

Figura 61: Ambientes separados



Fonte: Autor, 2020.

Os demais procedimentos aplicados ao sistema do edifício acompanham o que foi realizado no sistema do ambiente isolado.

3.4 CONSTRUÇÃO DOS ALGORITMOS

O ambiente selecionado para as simulações, acompanhando pesquisa realizada por Nico-Rodrigues (2015), foi o Dormitório 2 (Figura 62), que trata de um local de longa permanência. Suas dimensões são 2,75m de largura, 5,20m de profundidade e 2,70m de pé-direito, totalizando 14,30m².

Figura 62: Dormitório 2 selecionado



Fonte: Adaptado de Nico-Rodrigues, (2015).

O ambiente inicialmente foi isolado para verificar o funcionamento do sistema e, posteriormente, como parte do edifício, na qual se registraram os valores para o 1º, 3º e 5º pavimentos, considerando as quatro orientações principais (Norte, Sul, Leste e Oeste).

Segundo Nico-Rodrigues (2015), a definição de um ambiente com apenas uma parede exposta à radiação solar, consiste em uma tentativa de se reduzir as interferências no desempenho térmico do local, quando o objeto de estudo é a janela. Paredes e coberturas com menor interferência na temperatura interna geram uma avaliação mais precisa da influência da janela no desempenho do ambiente.

A escolha de diferentes pavimentos se dá por conta das diferentes condições de vento e insolação. O primeiro pavimento sofre perdas térmicas pela proximidade com o solo, o quinto pavimento recebe os ganhos de calor provenientes da cobertura e o pavimento intermediário é mais influenciado pelas fachadas e menos pela cobertura e pelo pilotis.

As legislações utilizadas para estabelecer os parâmetros mínimos de dimensionamento das aberturas de janela para o ambiente de estudo foram o Código de Obras da cidade de Vitória (VITÓRIA, 1998), o RTQ-R (INMETRO, 2012) e a NBR 15.575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

O Quadro 7 demonstra as relações de percentuais de áreas mínimas para iluminação e ventilação propostas pelas legislações mencionadas e os valores em metros quadrados das áreas necessárias para as janelas no ambiente de estudo.

Quadro 7: Dimensões mínimas de abertura do ambiente, segundo as legislações estudadas

Legislação	Percentual Mínimo de Iluminação	Área mínima de Iluminação	Percentual Mínimo de Ventilação	Área mínima de Ventilação
Cód. Obras	1/8 área do piso	1,78m ²	1/16 área do piso	0,89m ²
RTQ-R	12,5% área do piso	1,78m ²	10% área do piso	1,43m ²
NBR 15.575	8% área do piso	1,14m ²	8% área do piso	1,14m ²

Fonte: Autor, 2020.

No sistema, quando da criação de cada janela, foram inseridas pilhas de operações matemáticas para que cada cômodo, independentemente dos demais, pudesse ter suas janelas dimensionadas de acordo com o solicitado pela norma. Isso permitiu que ambientes com diferentes razões de área fossem configurados adequadamente.

As características das janelas configuradas segundo as normativas nos sistemas para o ambiente de estudo seguem o Quadro 8. Nele, observa-se que foram feitos arredondamentos nas dimensões das janelas para reduzir o número de possíveis indivíduos durante as simulações do Galapagos.

Quadro 8: Características das janelas das legislações

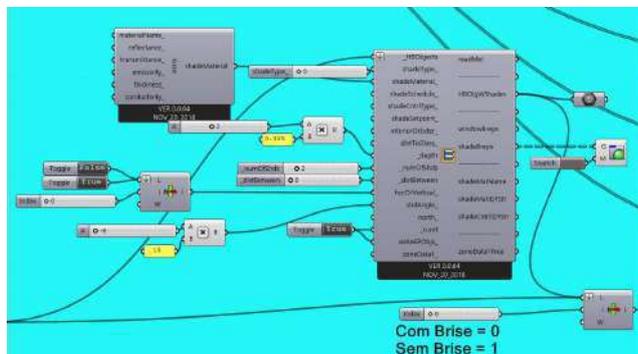
	LARG. (m)	ALT. (m)	PEIT. (m)	DIST. PAREDE (m)	Nº DE JANELAS	DIST. ENTRE JANELAS (m)	TIPO DE VIDRO	TEM BRISE?	MEDIDA BRISE (m)	BRISE HORIZ. OU VERT.	ÂNGULO	Nº DE PALETAS	% DE ÁREA OPERÁV.
CÓD.OBR.	1.8	1	1.1	0.5	1	X	simples	não	X	X	X	X	50
NBR	1.15	1	1.1	0.8	1	X	simples	não	X	X	X	X	100
RTQ-R	1.8	1	1.1	0.5	1	X	simples	não	X	X	X	X	80

Fonte: Autor, 2020.

A Figura 63 ilustra as imagens exportadas do *software* a partir das configurações definidas pelo Quadro 8 para o modelo do ambiente isolado.

Atrelado às janelas, foi inserido um dispositivo sombreador, com características de ângulo de inclinação, número de palhetas, tamanho, posicionamento vertical ou horizontal, bem como a existência ou não deste dispositivo (Figura 66).

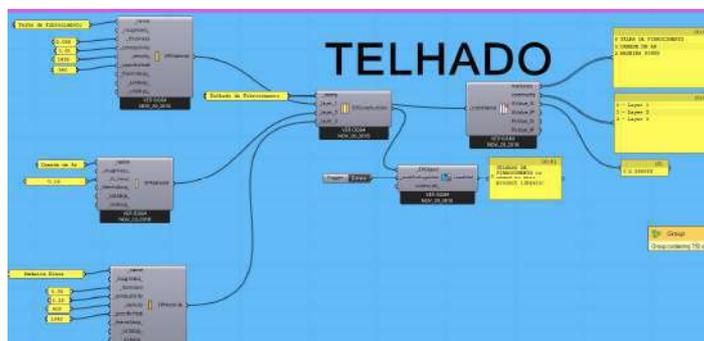
Figura 66: Criação do dispositivo sombreador



Fonte: Autor, 2020.

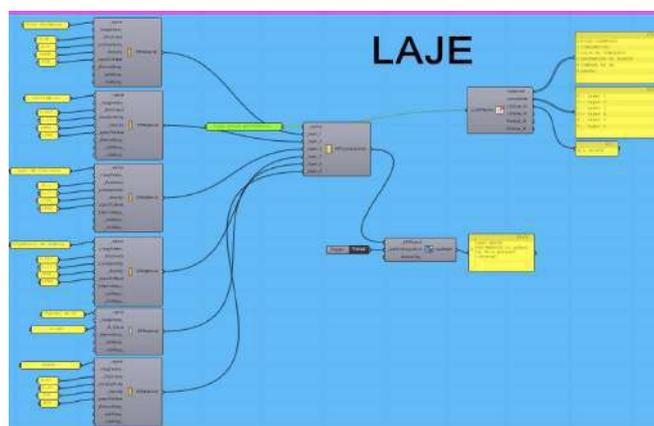
Os materiais de cada superfície foram manualmente configurados (Figura 67 a 72) de acordo com os dados retirados dos Quadros 2, 3 e 4, e seus valores de transmitância térmica (valor U) foram ajustados para apresentarem os mesmos dígitos daqueles calculados segundo as equações do Apêndice A.

Figura 67: Configuração do material de cobertura



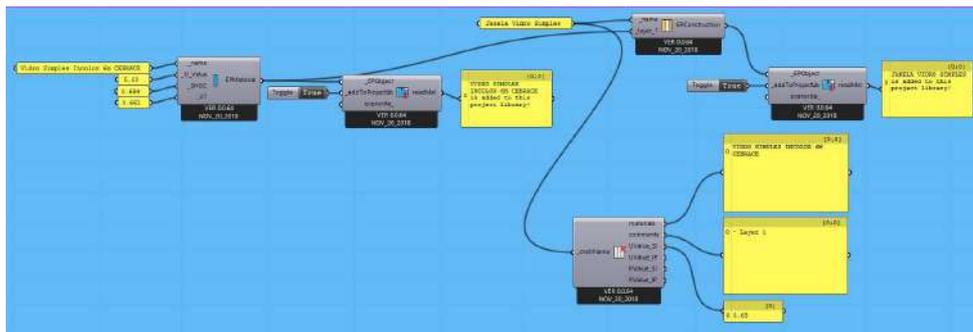
Fonte: Autor, 2020.

Figura 68: Configuração do material de laje



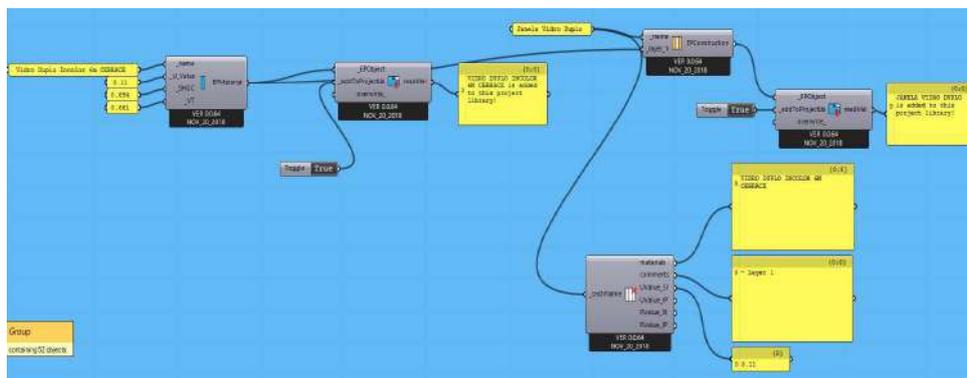
Fonte: Autor, 2020.

Figura 69: Configuração do material de vidro simples



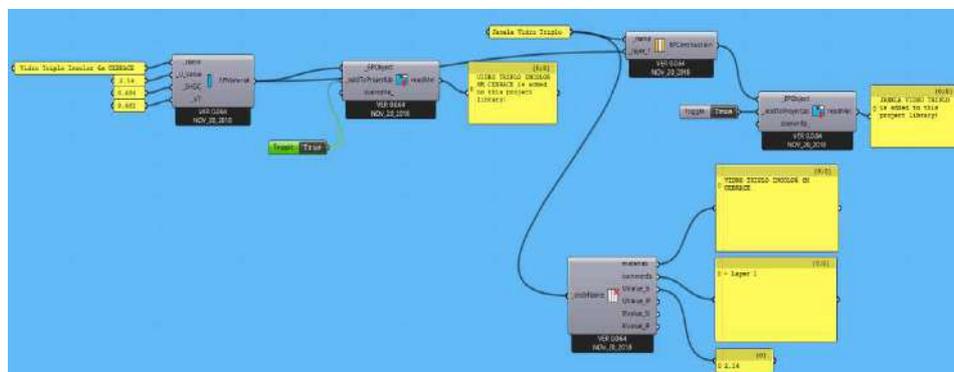
Fonte: Autor, 2020.

Figura 70: Configuração do material de vidro duplo



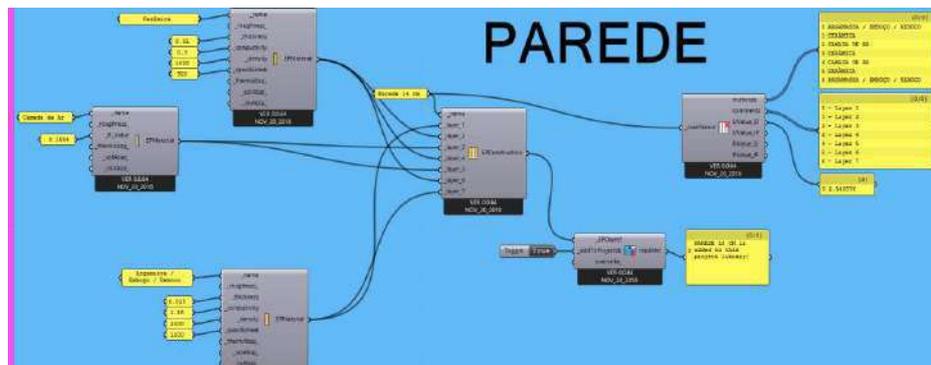
Fonte: Autor, 2020.

Figura 71: Configuração do material de vidro triplo



Fonte: Autor, 2020.

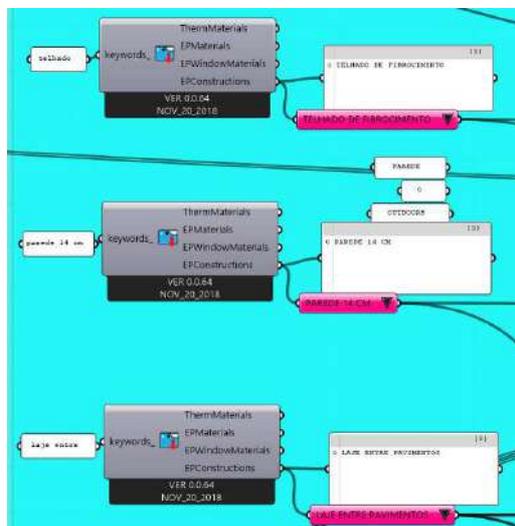
Figura 722: Configuração do material de parede



Fonte: Autor, 2020.

Com os materiais configurados e aplicados, o sistema entende as novas características térmicas das superfícies, o que pode ser observado na Figura 73.

Figura 73: Materiais de superfície

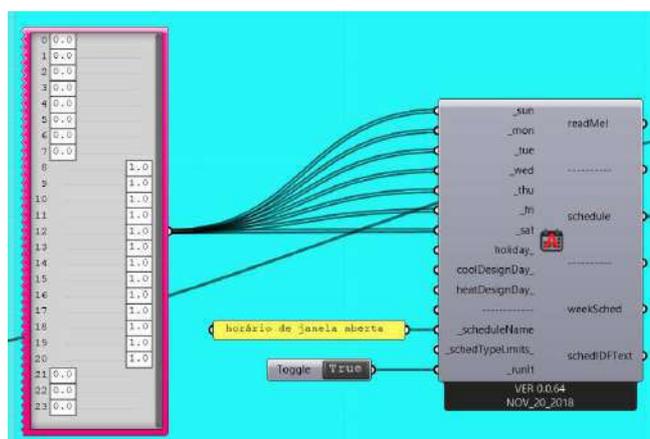


Fonte: Autor, 2020.

No modelo de um ambiente isolado, não foi utilizado o material de cobertura, assumiu-se que ele possuía laje na sua base e no seu topo, característica de ambientes de pavimentos-tipo intermediários das edificações.

O cronograma de abertura da janela foi definido segundo Quadro 6, considerando a relação do usuário com as janelas, conforme ilustrado na Figura 74.

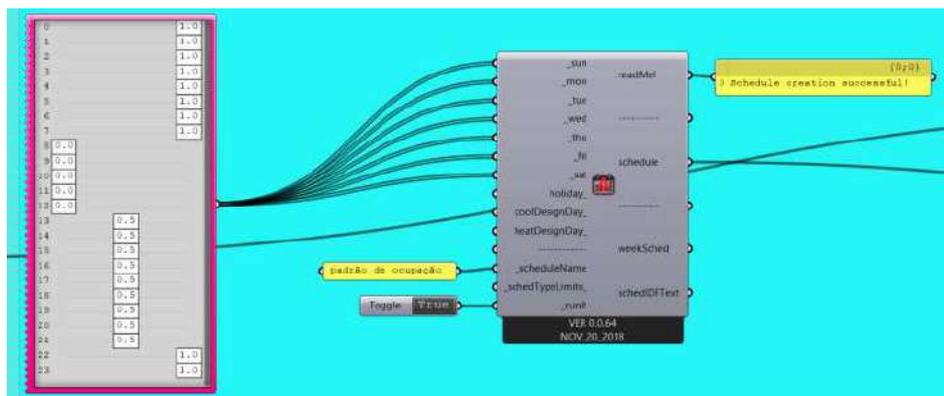
Figura 74: Cronograma de abertura da janela



Fonte: Autor, 2020.

Conforme Figura 75, tem-se a determinação do cronograma de ocupação da zona, informando os horários em que está totalmente ocupada, parcialmente ocupada, ou vazia, (Quadro 6).

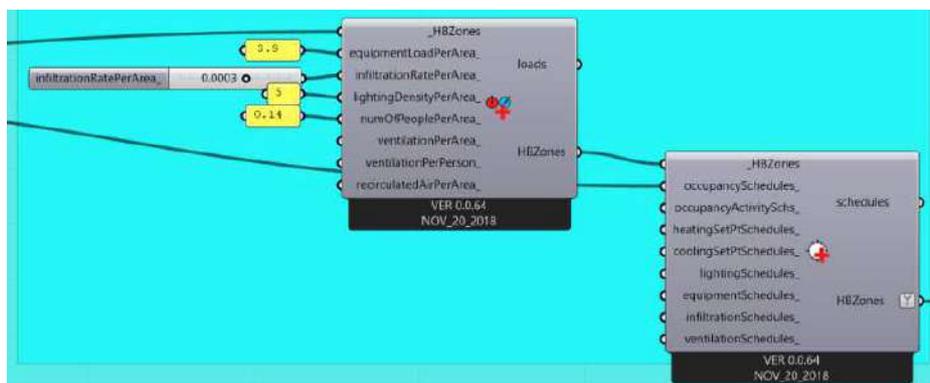
Figura 75: Cronograma de ocupação



Fonte: Autor, 2020.

Os dados referentes às cargas térmicas de equipamentos, iluminação e número de pessoas, extraídos do Quadro 6, foram inseridos no sistema (Figura 76).

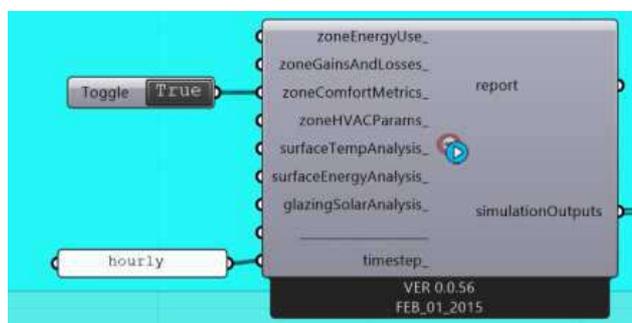
Figura 76: Definição de cargas da zona



Fonte: Autor, 2020.

Foi indicado o que deseja ser simulado, as métricas de conforto e o intervalo de tempo para cada resultado, de hora em hora (Figura 77).

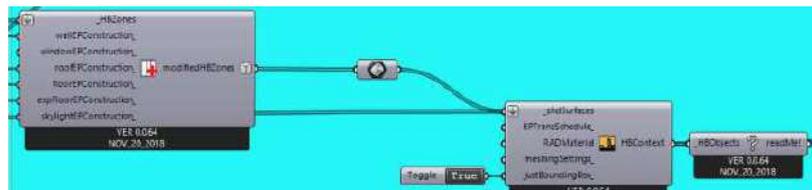
Figura 77: Métricas da simulação



Fonte: Autor, 2020.

No caso da simulação do edifício, os pilares e a platibanda, por não formarem uma zona fechada, foram conectados ao sistema como contexto (Figura 78).

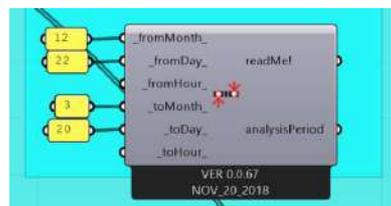
Figura 78: Pilares e platibanda como contexto



Fonte: Autor, 2020.

O modelo foi configurado, ainda para permitir resultados de períodos de análise anuais e por estação isoladamente, conforme Figura 79.

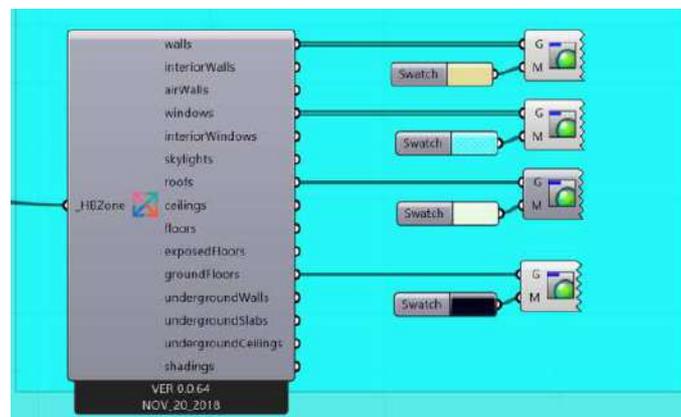
Figura 79: Período de análise do sistema



Fonte: Autor, 2020.

Além disso, para facilitar a visualização do modelo configurado em 3D pelo *Rhino*, foi inserida uma pilha para diferenciar as representações de cada tipo de superfície (Figura 80), para poder exportar as imagens das construções.

Figura 80: Cores de representação do modelo



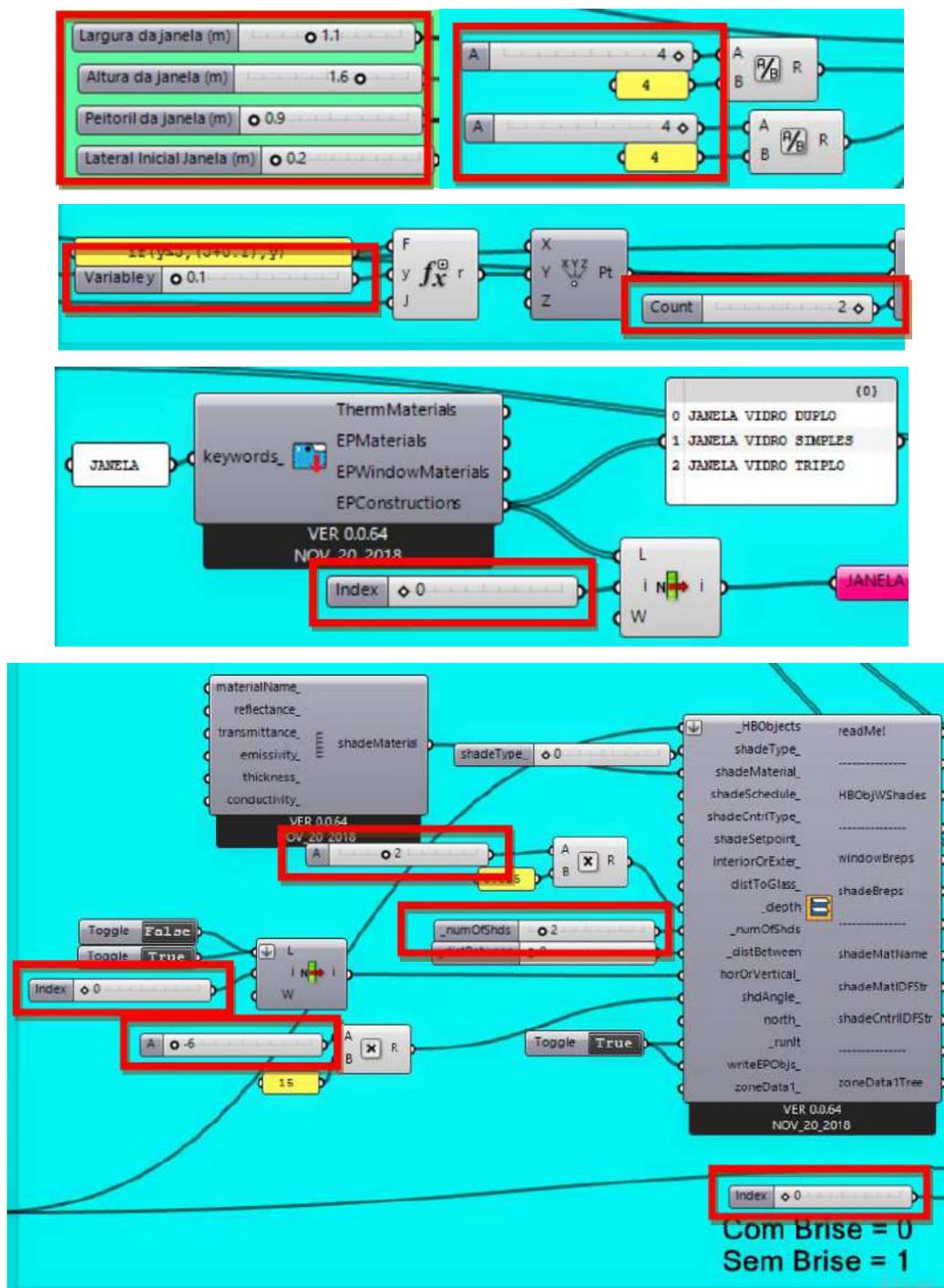
Fonte: Autor, 2020.

Para a aplicação dos algoritmos genéticos ao sistema parametrizado, fez-se uso da pilha denominada Galapagos. Esta pilha utiliza os princípios da teoria da evolução e os aplica no sistema, proporcionando um campo de soluções que atenda aos problemas desejados.

No modelo, foram conectadas 13 pilhas de elementos parametrizados ao Galapagos - os genomas da simulação -, largura da janela; altura da janela;

peitoril da janela; distância da janela à parede; variação no número de janelas; distância entre as janelas; quantidade de folhas de vidro; se possui sombreador ou não; tamanho das palhetas; número de palhetas; se são horizontais ou verticais; o ângulo de inclinação das paletas e; a fração de área operável da janela, destacados no esquema representado na Figura 81.

Figura 81: Pilhas conectadas ao Galapagos destacadas nos retângulos vermelhos



Foi definida a maximização do número de horas de conforto térmico, função *fitness*, segundo o modelo adaptativo (Figura 82). Estipulou-se o tempo limite de 24h para a realização de cada simulação, tempo considerado aceitável dentro da rotina dos escritórios de arquitetura, mantendo-se as configurações básicas da pilha. Como, em alguns casos, o tempo foi insuficiente, reduziu-se o número máximo de estagnações e de população por geração de 50 (valor padrão) para 30 indivíduos, para reduzir o tempo de simulação.

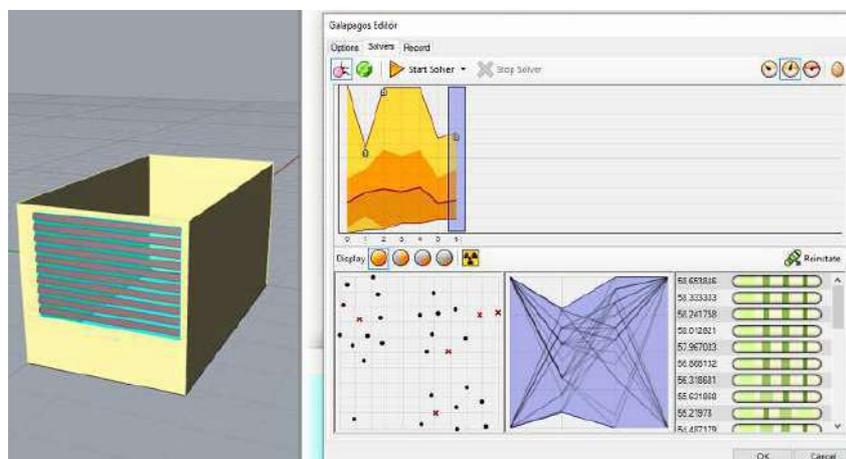
Figura 82: Valor de *fitness* do Galapagos



Fonte: Autor, 2020.

As simulações de otimização do Galapagos ocorreram de duas formas. Inicialmente, foram simuladas todas as 13 pilhas simultaneamente e; em seguida, foram feitas simulações em quatro etapas: 1º dimensões, quantidade e posicionamento das janelas; 2º tipo de vidro; 3º características e presença de dispositivo sombreador e; 4º percentual de janela operável. A Figura 83 ilustra o Galapagos em funcionamento.

Figura 83: Galapagos em funcionamento para a simulação do dispositivo sombreador



Fonte: Autor, 2020.

Os elementos da primeira etapa foram agrupados, já que o tamanho e o posicionamento da janela em relação ao ambiente podem inviabilizar uma multiplicação de sua quantidade, dado que uma janela grande ou posicionada de forma centralizada impossibilita a colocação de outras esquadrias.

3.5 REPRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Após a configuração do sistema e a definição dos dados de saída, os dados obtidos pela simulação foram analisados em duas etapas: voto médio previsto (PMV) e conforto adaptativo, ambas presentes na ASHRAE 55 (AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, 2013).

No ambiente isolado, foram feitas simulações utilizando as diretrizes para as janelas do Código de Obras, da NBR 15.575 e do RTQ-R para as quatro orientações principais – Norte, Sul, Leste, Oeste. Em seguida, foram feitas as simulações dessas 4 fachadas aplicando-se o solucionador evolutivo Galapagos.

No modelo do edifício, por apresentar ambientes em fachadas opostas, foi feita uma rotação para obter as simulações das 4 orientações. Busca-se, com isso, verificar os percentuais de conforto térmico que as dimensões das aberturas encontradas pela norma obtiveram. A aplicação dos algoritmos evolutivos por meio do Galapagos visa melhorar os índices de conforto das normas, evidenciando a adequação do uso de algoritmo genético como mecanismo de auxílio no projeto.

Os resultados foram exportados em forma de gráficos e tabelas, e foram feitas comparações dos resultados entre as normas e o Galapagos; entre as diferentes estações e durante o ano; entre as diferentes fachadas; e, no caso do edifício, entre os diferentes pavimentos.

4 DISCUSSÃO E RESULTADOS

A organização dos resultados foi estruturada em três partes: a primeira com os resultados dos modelos de janela propostos pelas simulações do Galapagos, ilustrados em tabelas; a segunda com os resultados obtidos por meio da análise do modelo de conforto adaptativo, representados em gráficos e em planilhas de percentuais de horas de conforto obtidas; e a terceira com os produtos das simulações analisados segundo o voto médio previsto, também com gráficos e tabelas.

4.1 MODELOS DE JANELA PROPOSTOS

As simulações realizadas no Galapagos com todos os 13 genomas (apresentados na Figura 81) simulados simultaneamente não atenderam aos pré-requisitos de tempo e de otimização propostos na configuração do modelo. Isso ocorreu porque o tempo de simulação em alguns casos foi superior às 24h limite e, em alguns casos, durante este período, os melhores resultados que a pilha havia alcançado, ainda estavam abaixo dos valores das legislações estudadas - Código de Obras, NBR 15.575 e RTQ-R.

Assim sendo, as simulações de otimização efetuadas pelo Galapagos foram realizadas nas quatro etapas descritas quando da configuração do modelo (1º dimensões, quantidade e posicionamento das janelas; 2º tipo de vidro; 3º características e presença de dispositivo sombreador e; 4º percentual de janela operável). Embora o tempo de cada simulação seja semelhante, ao se simular os 13 genomas e ao se simular somente uma parte deles, o número de gerações necessárias para que a pilha conseguisse estagnar e encerrar a simulação foi diferente.

Nas simulações em etapas do ambiente isolado, em alguns casos o Galapagos chegou ao seu valor *fitness* com 30 a 40 gerações, após algumas horas. Nas simulações com os 13 genomas simultaneamente, houve casos em que a pilha não havia estagnado após 24h e centenas de gerações simuladas.

Outra limitação das simulações aconteceu com o modelo do edifício. Neste sistema, como havia um número grande de zonas envolvidas, o tempo de cada

simulação era longo, variando em torno de 5 a 10 minutos – comparado com o sistema do ambiente isolado, na qual cada simulação demorava menos de 30 segundos -, mesmo com otimizações e simplificações do sistema.

Dessa forma, para o prédio, tanto nas simulações de todos os genomas simultaneamente, quanto nas isoladas, não foi possível chegar a nenhum resultado de otimização dentro das 24h. Após este período, o Galapagos ainda estava nas gerações iniciais, indicando que seriam necessários alguns dias para chegar aos resultados esperados. Por esse motivo, para este sistema, não foram obtidos resultados a partir do algoritmo genético, apresentando-se apenas os resultados das simulações realizadas segundo as janelas das legislações.

Os resultados dos genomas propostos pelo Galapagos para as 4 fachadas principais do sistema do ambiente isolado, em comparação com os modelos propostos pelas legislações – retirados do Quadro 8 -, estão no Quadro 9.

Quadro 9: Comparativo das janelas das legislações com as janelas do Galapagos em relação aos 13 genomas

Genomas	LARG. (m)	ALT. (m)	PEIT. (m)	DIST. PAREDE (m)	Nº DE JANELAS	DIST. ENTRE JANELAS (m)	TIPO DE VIDRO	TEM BRISE?	MEDIDA BRISE (m)	BRISE HORIZ. OU VERT.	ÂNGULO	Nº DE PALETAS	% DE ÁREA OPERÁV.
COD. OBR.	1.8	1	1.1	0.5	1	X	simples	não	X	X	X	X	50
NBR	1.15	1	1.1	0.8	1	X	simples	não	X	X	X	X	100
RTQ-R	1.8	1	1.1	0.5	1	X	simples	não	X	X	X	X	80
GALAP. LESTE	2.5	1.7	0.9	0.2	1	x	simples	sim	0.1	horiz.	75	10	100
GALAP. NORTE	2.5	1.9	0.9	0.2	1	x	simples	sim	0.1	horiz.	60	10	100
GALAP. OESTE	2.4	1.7	0.9	0.3	1	X	duplo	sim	0.1	horiz.	75	10	100
GALAP. SUL	2.5	1.7	0.9	0.2	1	x	simples	sim	0.1	horiz.	90	9	100

Fonte: Autor, 2020.

Neste quadro, observa-se que todas as janelas propostas pelo Galapagos cresceram em largura e em altura, aumentando a sua área em relação às legislações. As fachadas Leste e Sul ficaram com 4,25m² (2,5x1,7), Norte com 4,75m² (2,5x1,9) e Oeste com 4,08m² (2,4x1,7). O número de janelas manteve-se o mesmo em todos os casos, tendo apenas 1 esquadria na fachada, ao invés de fragmenta-la em esquadrias menores.

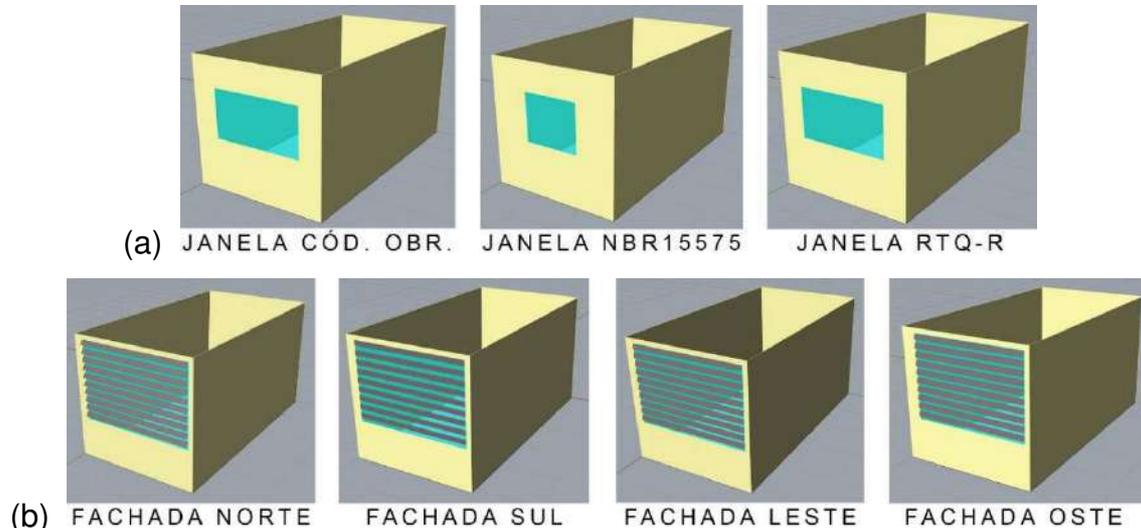
Observa-se, de acordo com o Quadro 9, que apenas a fachada Oeste apresentou resultados melhores com o uso do vidro duplo. As demais mantiveram-se com vidro simples. Isso evidencia uma limitação da metodologia de simulação em quatro etapas, já que, ao simular inicialmente a dimensão e o posicionamento da janela, o resultado foi uma esquadria otimizada para o próprio

tipo de vidro. Ao se trocar, num segundo momento, os materiais, já com as dimensões definidas, o sistema não foi favorável a sistemas de envidraçamento com melhores índices de transmitância térmica. Caso a simulação fosse realizada, inicialmente com a quantidade de folhas de vidro e, em seguida com a dimensão da janela, é possível que o resultado fosse outro.

Todas as janelas propostas pelo Galapagos foram consideradas com sistemas de sombreamento, as do Código de Obras, NBR 15.575 e RTQ-R não foram consideradas, dado não haver essa obrigatoriedade nas normativas. As palhetas apresentam todas 10cm de tamanho – medida máxima permitida no sistema -, são horizontais e o aparelho sombreador contém entre 10 – o máximo permitido – e 9 palhetas. A inclinação das palhetas variou de 60° a 90°.

Todas as janelas propostas apresentaram 100% de sua área ventilável, indicando que servem em sua totalidade para ventilação e para iluminação. A Figura 84 ilustra as imagens exportadas do software para cada fachada em comparação com as janelas inicialmente configuradas a partir das legislações.

Figura 84: (a) - Janelas baseadas nas normas e (b) - Janelas obtidas pelo Galapagos

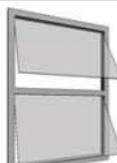
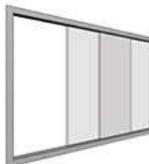


Fonte: Autor, 2020.

A Figura 85, elaborada a partir das informações contidas no Quadro 1, ilustra os sistemas de abertura de janelas adequados para atendimento às legislações e aos resultados propostos pelo Galapagos, com base na relação entre área total e área útil de ventilação. Observa-se, entretanto, que alguns sistemas de abertura não são adequados ao uso de dispositivos sombreadores, devendo

abrir e pivotar para dentro do ambiente para permitir que tais dispositivos sejam instalados.

Figura 85: Sistemas de abertura de janela recomendadas

% de área útil de ventilação	Atende a quem?	Tipologias recomendadas			
100%, dependendo do ângulo de abertura	<p>NBR 15.575 e Galapagos</p> <p>Obs: As janelas propostas pelo Galapagos, devem abrir e pivotar para dentro, permitindo o uso do Brise.</p>	<p>Janelas de abrir, de eixo vertical</p> 	<p>Janelas projetantes</p> 	<p>Janelas pivotantes horizont. e vertical</p> 	<p>Janelas basculantes</p> 
75%, dependendo do ângulo de abertura	<p>RTQ-R</p> <p>Obs: Estas tipologias de janela chegam a até 100% de abertura. Devem, neste caso, ser projetadas para 75%.</p>	<p>Janelas projet. desliz. (Maxim-air)</p> 	<p>Janelas projetantes</p> 	<p>Janelas pivotantes horizont. e vertical</p> 	<p>Janelas basculantes</p> 
50%	<p>Código de Obras</p>	<p>Janelas de correr</p> 		<p>Janelas de guilhotina</p> 	

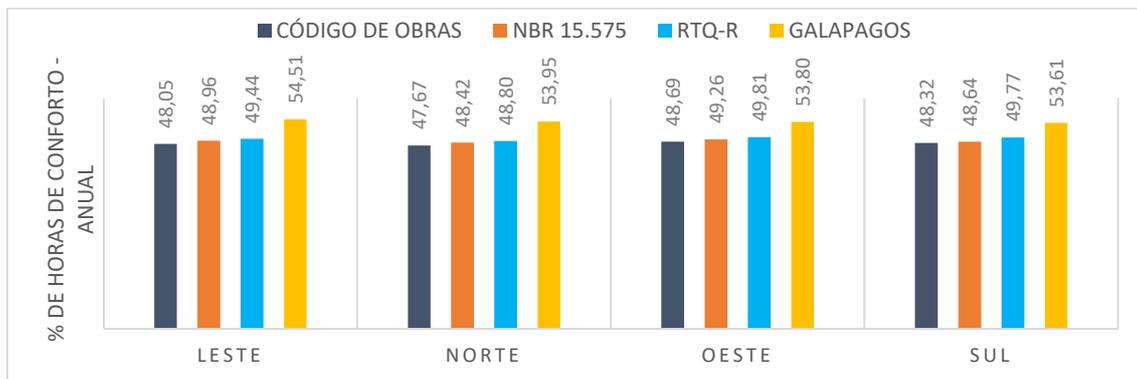
4.2 RESULTADOS DE CONFORTO ADAPTATIVO

A. Análises do Ambiente isolado

Os resultados de conforto adaptativo, segundo o referencial normativo da ASHRAE 55, para o modelo do ambiente isolado foram comparados entre as legislações e o Galapagos para o período de um ano, separados por estações e para as diferentes fachadas.

O percentual de tempo confortável durante o ano – valor *fitness* das simulações com o algoritmo genético - para as janelas das legislações e para aquelas otimizadas pelo Galapagos no ambiente isolado foram comparadas no Gráfico 3.

Gráfico 3: Conforto adaptativo anual segundo a ASHRAE 55



Fonte: Autor, 2020.

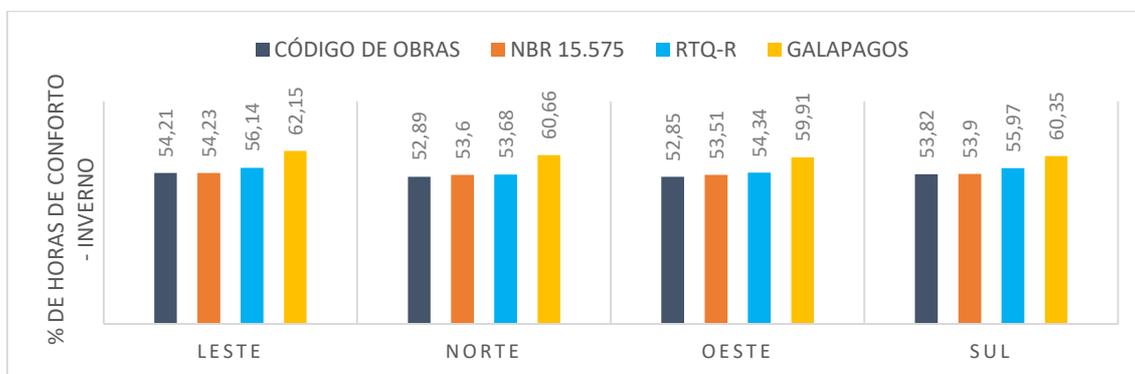
Observa-se que, dentre as legislações, o Código de Obras de Vitória foi a que apresentou os piores resultados. Isso ocorre por conta de sua relação entre área de iluminação e de ventilação. O código, ao exigir que apenas metade da janela seja usada para ventilação, obtém resultados de conforto inferiores aos proporcionados pela NBR 15.575, que apresenta dimensões de janela menores do que o Código de Obras, mas possui 100% de sua área para ventilação. O RTQ-R obteve os melhores resultados dentre as três normativas, por possuir área de janela tão grande quanto a legislação municipal, mas maior área para ventilação.

O Galapagos otimizou o desempenho térmico das janelas em todas as situações ao aumentar a área das janelas, mantendo-as 100% disponíveis para ventilação e inserindo dispositivos sombreadores. Foram apresentadas as tabelas e os gráficos do conforto adaptativo para as situações em que houve maior diferença

entre os resultados das legislações e do Galapagos. As demais orientações, estações e legislações do modelo de ambiente isolado encontram-se no Apêndice B.

A melhor otimização foi na fachada Leste. Ao se comparar com o Código de Obras, o Galapagos teve um aumento de 13% na relação de tempo confortável. Ao se aplicar a pilha de período de análise no sistema para as quatro estações do ano, as janelas propostas apresentaram os melhores resultados de desempenho nos meses de inverno, onde o Galapagos gerou uma solução que, na fachada Leste, chegou a 62,15% de tempo confortável e resultados próximos a 60% nas demais orientações, conforme Gráfico 4.

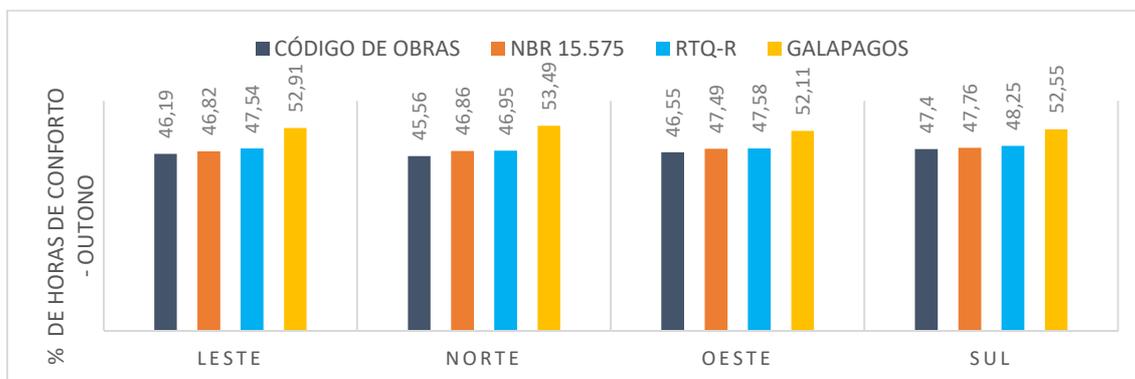
Gráfico 4: Conforto adaptativo no inverno segundo a ASHRAE 55



Fonte: Autor, 2020.

A maior melhora proporcionalmente no conforto térmico ocorreu no outono para a fachada Norte, com valor mínimo de 45,56% para o Código de Obras e o máximo de 53,49% no Galapagos (Gráfico 5), representando uma melhora de 17,4%.

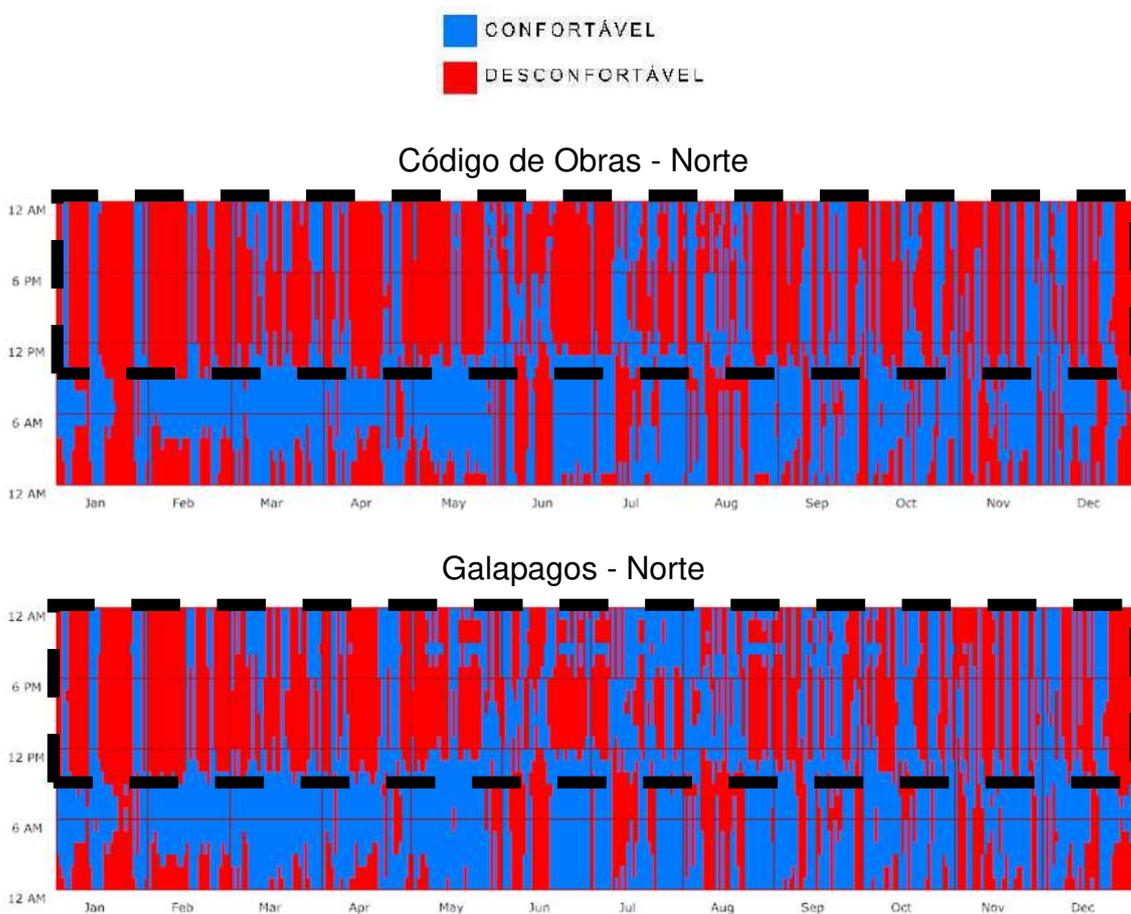
Gráfico 5: Conforto adaptativo no outono segundo a ASHRAE 55



Fonte: Autor, 2020.

A comparação dos gráficos gerados a partir do modelo de janela proposto no Código de Obras e do modelo proposto pelos algoritmos evolutivos do Galapagos, que expressam a sensação de conforto ou não dos usuários para a fachada Norte do sistema em questão, está representada no Gráfico 6.

Gráfico 6: Comparação entre gráficos de sensação de conforto ou não segundo a ASHRAE 55



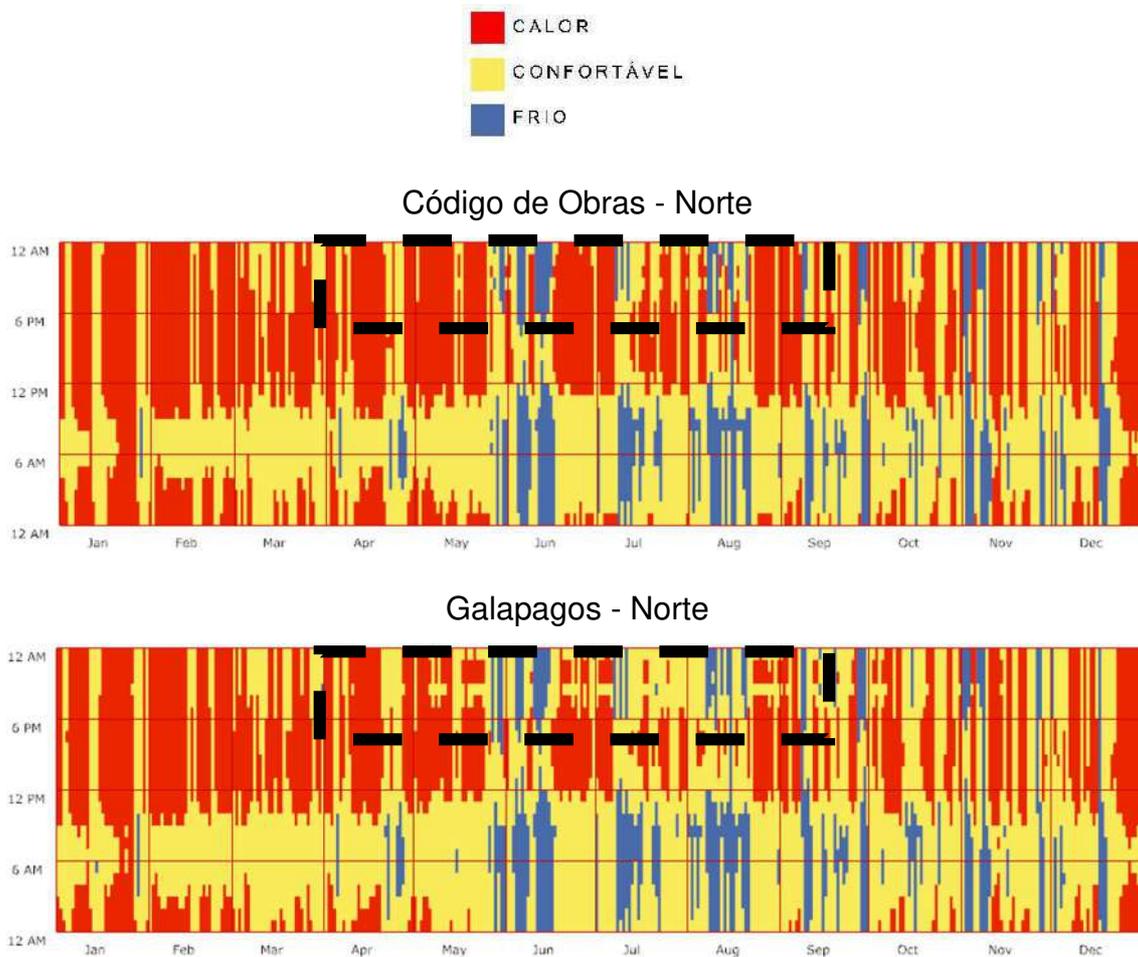
Fonte: Autor, 2020.

É possível observar que os períodos da tarde e da noite apresentaram maiores índices de desconforto térmico. Observa-se que, nessa faixa horária – destacada pelos retângulos pretos -, nos meses de outono e inverno, há uma maior otimização do modelo, evidenciada pela redução da faixa vermelha e aumento da faixa azul que indica melhor condições de conforto térmico.

Observou-se que (Gráfico 7), na comparação dos gráficos de condição da pessoa para a fachada Norte entre o modelo proposto pelo Código de Obras e o proposto pelo Galapagos, nos meses de abril a setembro, englobando o outono e o inverno, há uma redução na faixa vermelha – que indica calor - durante o período da tarde, da noite e início da madrugada e um aumento da faixa amarela

– que indica conforto térmico -, destacada pelos retângulos em preto sobrepostos aos gráficos.

Gráfico 7: Comparação entre gráficos de condição da pessoa segundo a ASHRAE 55

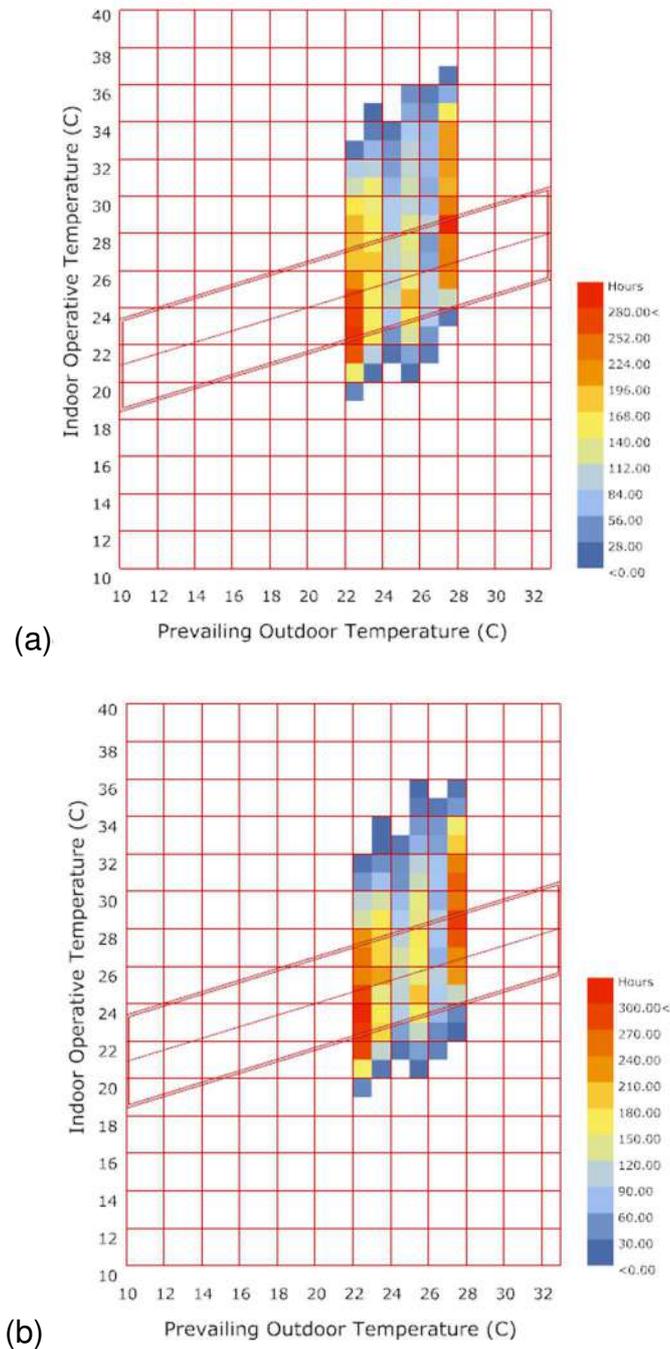


Fonte: Autor, 2020.

Tais gráficos demonstram que a otimização, neste caso, acontece reduzindo o número de horas de calor, que se caracteriza como a principal razão do desconforto térmico no objeto de estudo da pesquisa.

As horas de sensação de desconforto térmico proporcionadas pelo frio basicamente não se alteram e são mínimas. A comparação dos quadros de conforto adaptativo anual da fachada Norte do Código de Obras e do Galapagos mostram que a temperatura operativa no interior dos ambientes com janelas da legislação atinge temperaturas máximas superiores às atingidas pelas janelas geradas pelos algoritmos, podendo passar de 36°C, conforme se vê no Gráfico 8.

Gráfico 8: Comparativo dos quadros de conforto adaptativo anual da fachada Norte segundo a ASHRAE 55 (a) - Código de Obras e (b) - Galapagos



Fonte: Autor, 2020.

B. Análise do edifício

Para o sistema do edifício, a análise dos resultados de percentual de tempo de conforto nos cômodos, proporcionado pelas janelas das legislações, mostrou que o primeiro andar obteve os melhores resultados (Gráfico 9). Isso ocorreu em decorrência do pilotis possibilitar ventilação contínua na base do pavimento. Salienta-se que não foram obtidos resultados com as simulações do Galapagos.

Gráfico 9: Conforto adaptativo anual no edifício segundo a ASHRAE 55



Fonte: Autor, 2020.

Foram apresentadas as tabelas e gráficos do conforto adaptativo para as situações de melhor e pior resultado registrados. As demais orientações, estações e legislações do sistema do edifício encontram-se representadas no Apêndice B.

O quinto andar teve o segundo melhor desempenho. O terceiro andar, que recebe cargas térmicas dos pavimentos acima e abaixo, teve os piores resultados. Nesse estudo, a NBR 15.575, que apresenta 100% da sua janela operável, obteve os percentuais mais positivos.

A fachada Norte apresentou os melhores resultados, alcançando 60,35% de conforto no primeiro andar pela NBR 15.575, sendo este o melhor cenário. A

fachada Sul teve os piores índices, tendo 35,02% de tempo de conforto proporcionado pelo Código de Obras como o pior desempenho anual.

A análise separada por estações indica que o terceiro andar nos meses de verão obteve os piores percentuais de conforto. Neste pavimento, as fachadas Leste e Oeste pelo Código de Obras registraram apenas 10,72% das horas com temperatura desejada (Gráfico 10).

Gráfico 10: Conforto adaptativo no verão no edifício segundo a ASHRAE 55

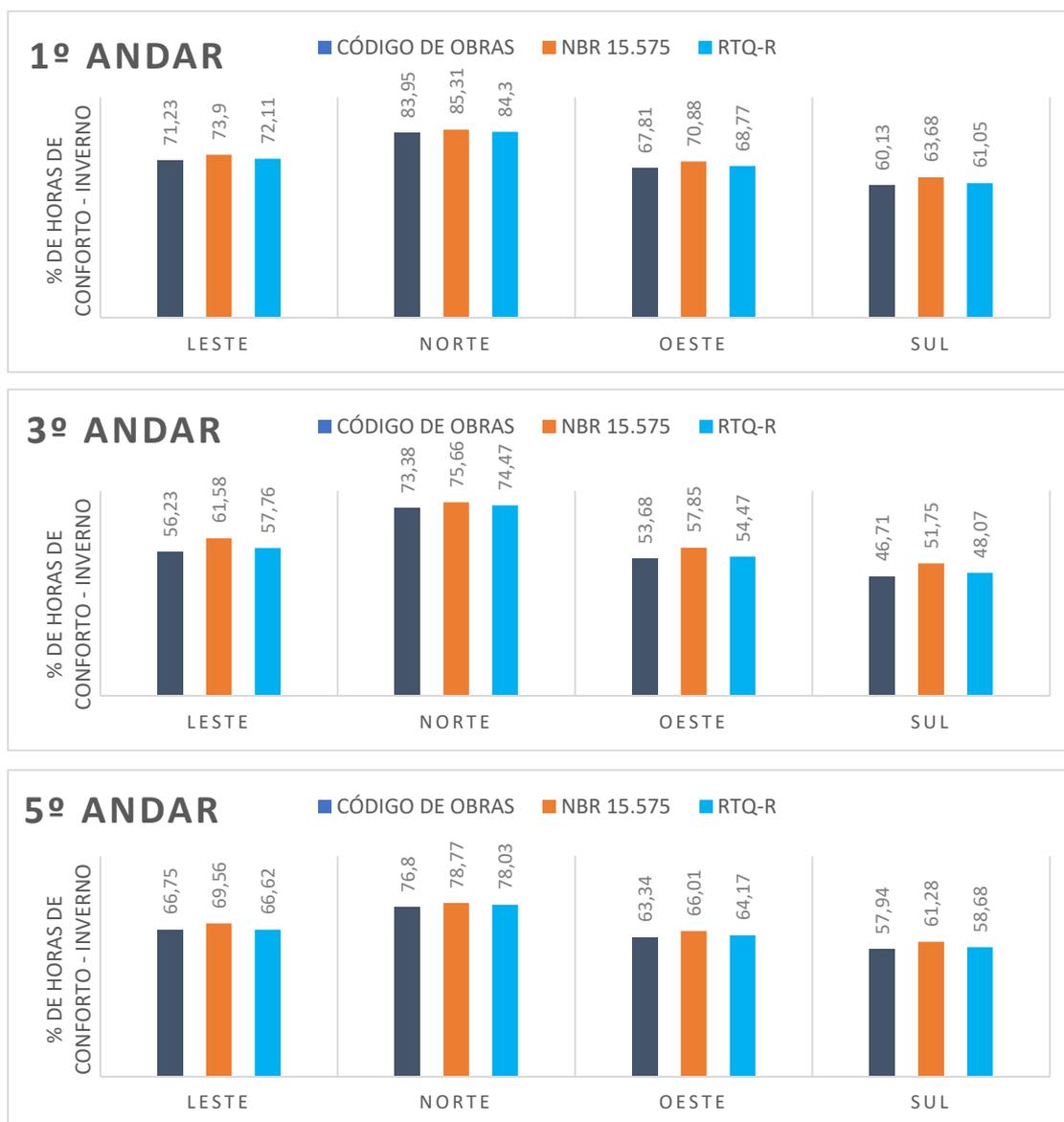


Fonte: Autor, 2020.

Já os melhores resultados são obtidos no inverno para o primeiro andar, onde, para a fachada Norte, a janela sugerida pela NBR 15.575 proporcionou 85,31% do tempo de conforto para o usuário, a do RTQ-R 84,3% e a do Código de Obras 83,95%, conforme mostra o Gráfico 11.

Este Gráfico também ilustra que as mesmas janelas que alcançaram os maiores resultados na orientação Norte, apresentaram desempenho inferior na fachada Sul. Os valores variam de 60,13% no Código de Obras a 63,68% para a NBR 15.575.

Gráfico 11: Conforto adaptativo no inverno no edifício segundo a ASHRAE 55



Fonte: Autor, 2020.

Tal resultado ilustra uma carência das legislações, ao proporem parâmetros de janelas com as mesmas características para todas as orientações, sem diferenciação. O gráfico indica que cada fachada tem suas próprias demandas de esquadria.

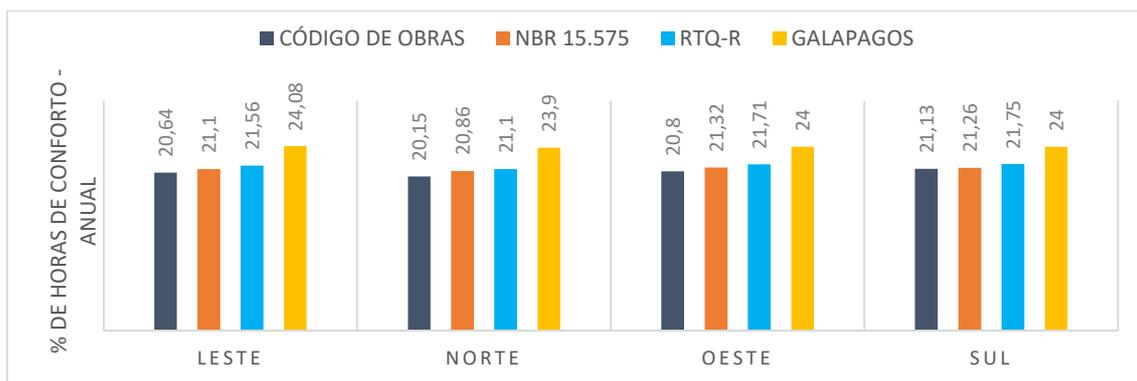
4.3 RESULTADOS DE VOTO MÉDIO PREVISTO

A. Análise do ambiente isolado

Os resultados de percentual de tempo que o usuário se sente confortável – segundo as métricas do PMV - durante o ano para as janelas das legislações e do Galapagos no sistema de um ambiente isolado estão comparadas no Gráfico 12.

Nele, observa-se que, dentre as legislações, os melhores resultados foram obtidos pelo RTQ-R, seguidos pela NBR 15.575 e pelo Código de Obras, assim como ocorreu para o conforto adaptativo. O maior valor proporcionado foi registrado para a fachada Sul, 21,75% no RTQ-R, enquanto o pior resultado foi na fachada Norte, 20,15% proporcionado pelo Código de Obras.

Gráfico 12: Percentual de tempo confortável anual pelo PMV para o ambiente isolado segundo a ASHRAE 55



Fonte: Autor, 2020.

Quanto à otimização proposta pela pilha do Galapagos, o destaque foi a fachada Leste, que chegou a 24,08%, sendo 16,66% superior ao modelo do Código.

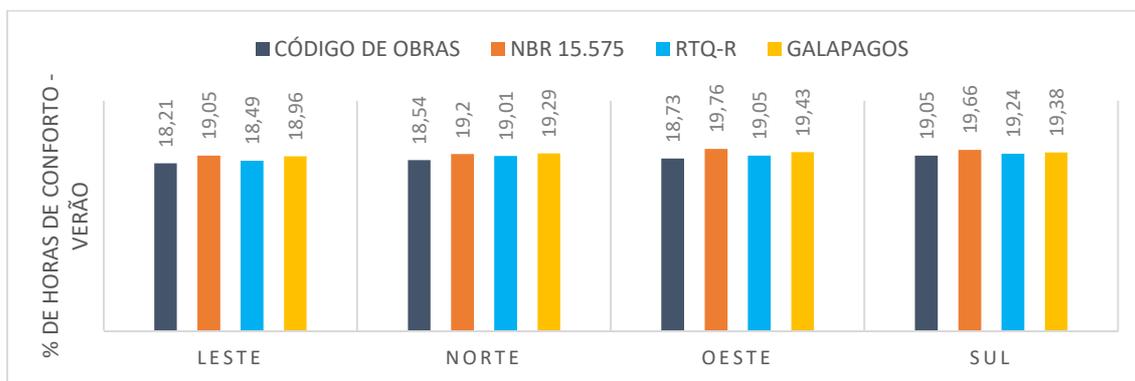
Observa-se que, em comparação com os valores do modelo de conforto adaptativo, há uma queda na quantidade de horas de conforto, conforme era esperado, já que o voto médio previsto apresenta a tendência de superestimar as condições de desconforto para o calor, em ambientes não climatizados.

O PMV também, ao não considerar que o usuário mude a sua roupa ou altera a sua atividade física praticada, acaba eliminando a possibilidade que ele tem de tomar atitudes para reduzir o desconforto, ao contrário do que o modelo adaptativo faz.

As tabelas e gráficos do voto médio previsto para as situações em que houve mais otimização pelo Galapagos estão representadas neste item. Os gráficos das demais orientações, estações e legislações do sistema do ambiente isolado encontram-se localizadas no Apêndice B.

Os meses de verão apresentaram os piores resultados, variando de taxas de 18,21% a 19,76% entre as legislações e orientações solares (Gráfico 13). No Galapagos, o verão teve resultados entre 18,96% no Leste e 19,43% no Oeste.

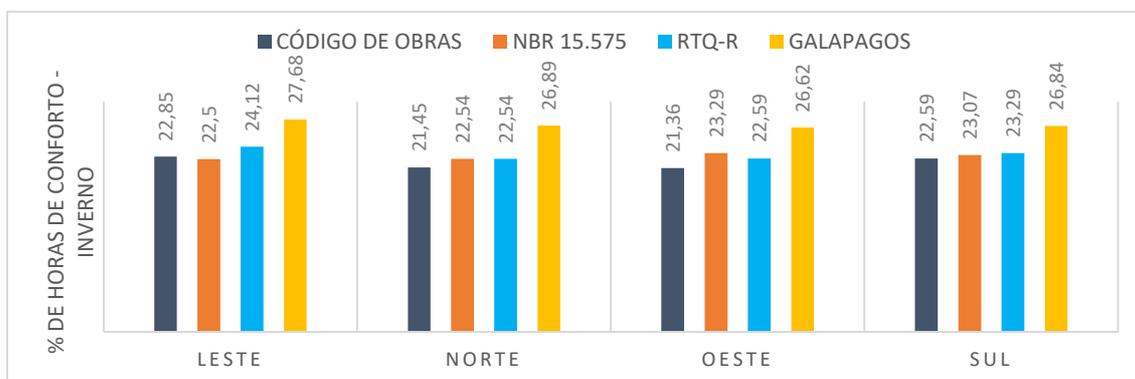
Gráfico 13: Percentual de tempo confortável de verão pelo PMV para o ambiente isolado segundo a ASHRAE 55



Fonte: Autor, 2020.

Os melhores resultados foram registrados para os meses de Inverno, conforme ilustra o Gráfico 14. Nele, observou-se que o melhor índice alcançado pelas legislações foi a fachada Leste, segundo a janela prevista pelo RTQ-R – com 24,12%. A otimização proposta pelo Galapagos, neste caso, foi de 23,02% ao comparar os 27,68% de horas confortáveis para o Leste com os 22,5% de horas de conforto oferecidas pela janela definida na NBR 15.575 na mesma fachada.

Gráfico 14: Percentual de tempo confortável de inverno pelo PMV para o ambiente isolado segundo a ASHRAE 55

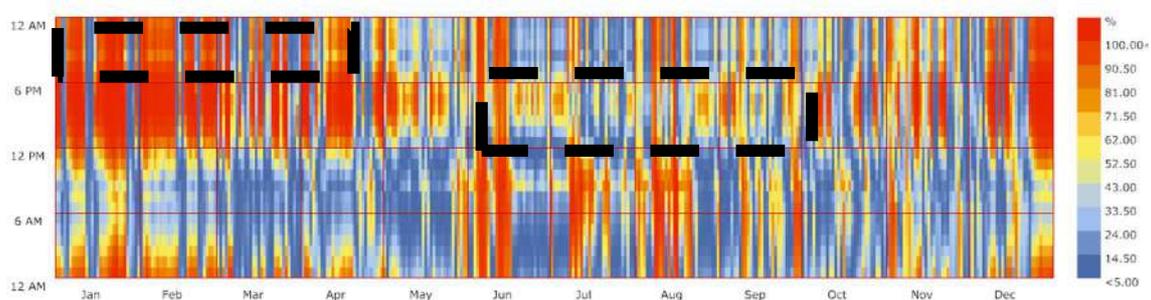


Fonte: Autor, 2020.

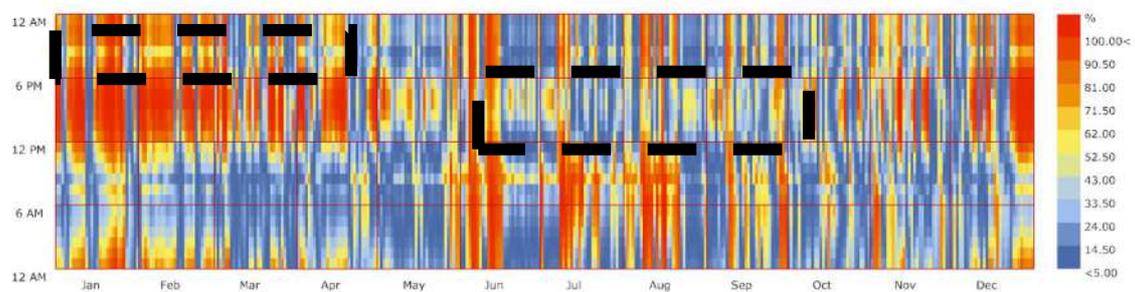
Nos gráficos de percentual de pessoas insatisfeitas para a fachada Leste da NBR 15.575 e do Galapagos, situação em que houve a maior melhora, (Gráfico 15) pode-se observar que no período do inverno, à tarde, o Galapagos tem uma melhoria perceptível, ao reduzir a faixa vermelha e aumentar a amarela. Observa-se, também, entre dezembro e abril, às 21h uma faixa amarela no Galapagos, indicando melhora. Os retângulos pretos destacam os horários mencionados.

Gráfico 15: Comparação do percentual de pessoas insatisfeitas segundo a ASHRAE 55

NBR 15.575 – Leste



Galapagos - Leste



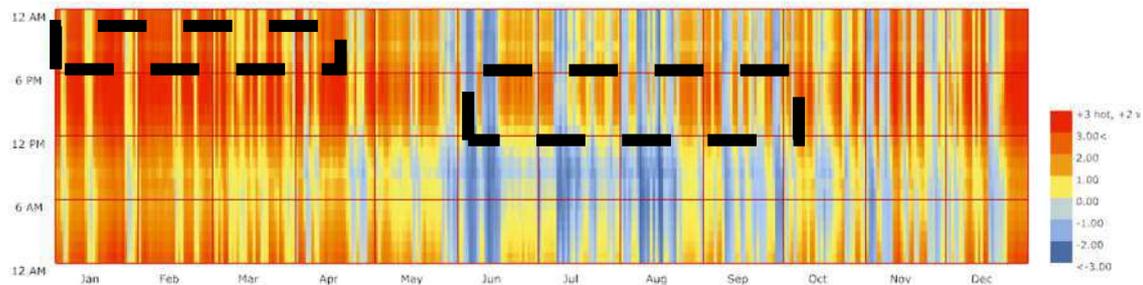
Fonte: Autor, 2020.

Com os gráficos do voto médio previsto da mesma situação, consegue-se identificar o tipo de desconforto que o usuário está sentindo. O Gráfico 16 mostra que o Galapagos amenizou a sensação de muito calor nas tardes de inverno e nos horários próximos às 21hs no verão, evidenciadas pelos retângulos pretos em destaque.

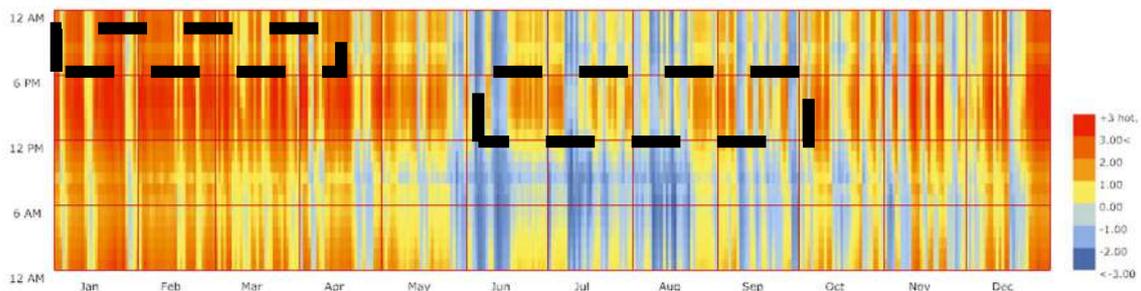
Gráfico 16: Comparação do voto médio previsto segundo a ASHRAE 55

+3 hot, +2 warm, +1 slightly warm, 0 neutral, -1 slightly cool, -2 cool, -3 cold

NBR 15.575 – Leste



Galapagos - Leste



Fonte: Autor, 2020.

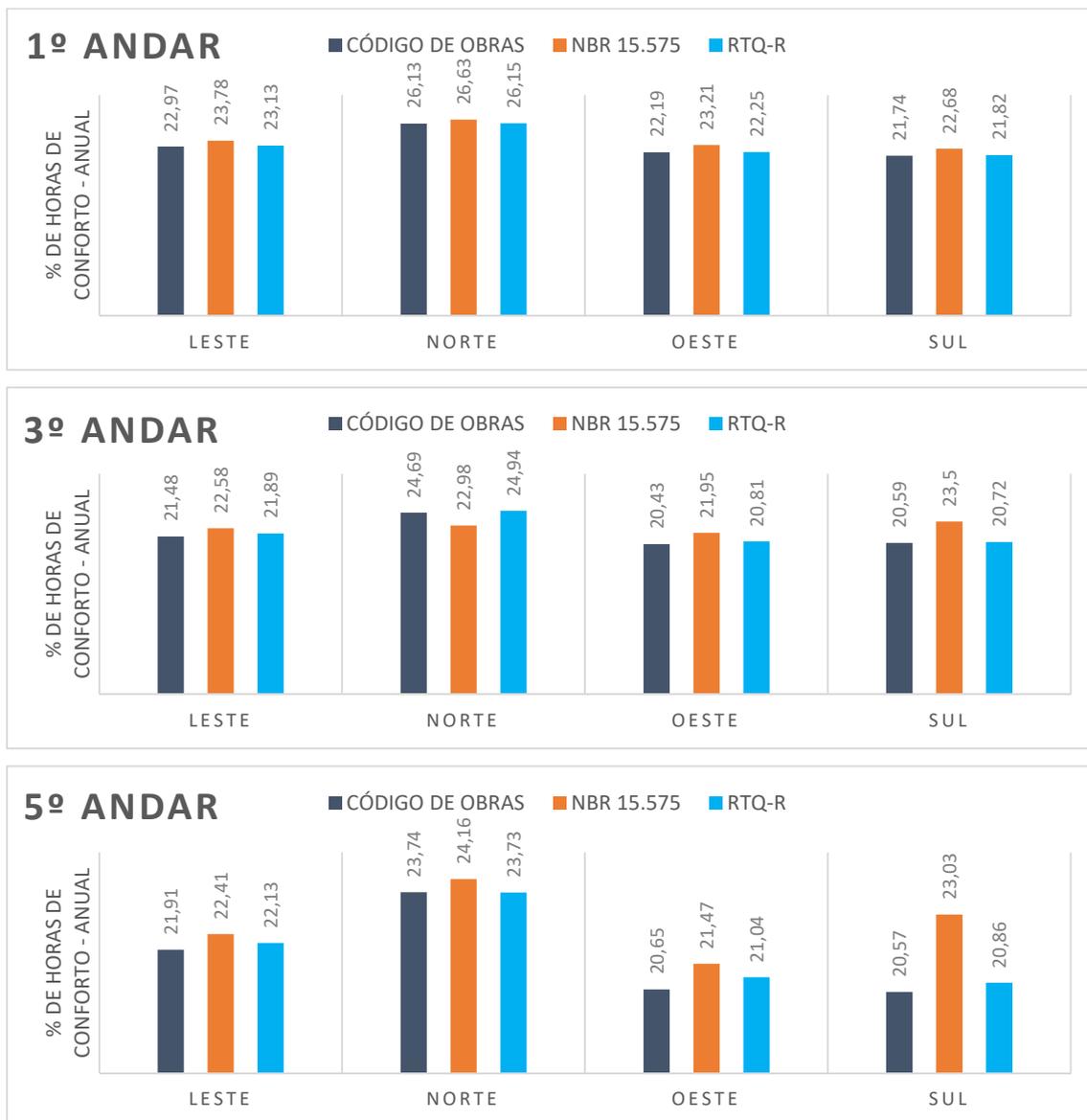
B. Análise do edifício

Os gráficos de percentual de tempo em que o usuário se sente confortável, segundo as métricas do modelo de voto médio previsto, da ASHRAE 55, para o primeiro, terceiro e quinto andar do edifício estudado, estão representados no Gráfico 17.

Nele, pode-se observar que, assim como ocorreu no modelo adaptativo, o primeiro andar obteve os melhores resultados; a NBR 15.575 foi a legislação que proporcionou mais conforto aos usuários do edifício e; a fachada Norte foi a orientação que apresentou o desempenho mais satisfatório, chegando a 26,63% de tempo confortável no primeiro andar, 22,98% no terceiro e 24,16% no quinto andar.

Os piores resultados foram notados na fachada Sul, para o quinto andar, segundo o Código de Obras, que alcançou 20,57%.

Gráfico 17: Voto médio previsto anual para o edifício segundo a ASHRAE 55

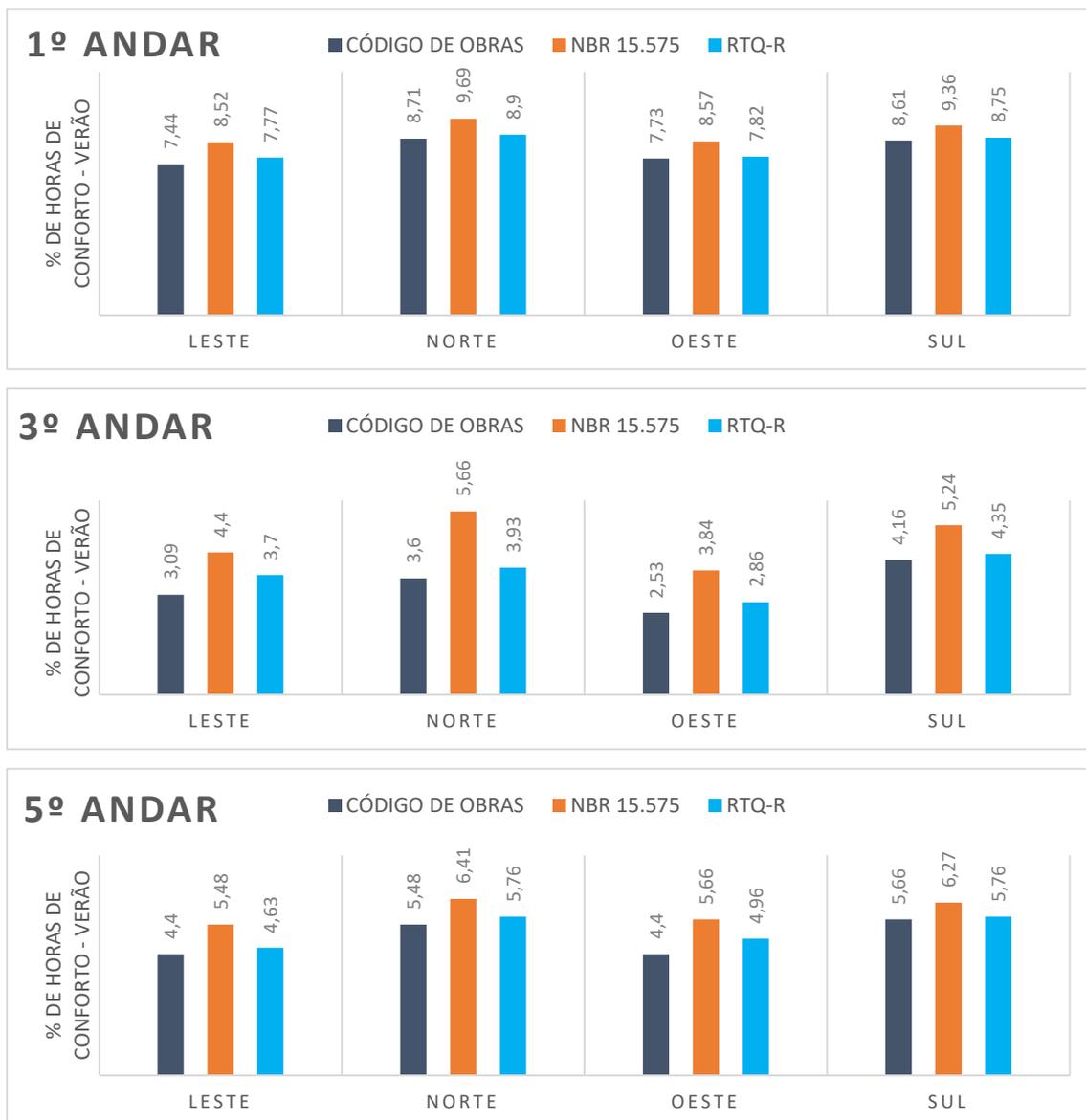


Fonte: Autor, 2020.

As tabelas e gráficos do modelo de voto médio previsto nas estações para as situações de maior diferença estão representados abaixo. As demais orientações, estações e legislações do sistema do edifício encontram-se no Apêndice B.

A análise dos intervalos das estações apresentou resultados muito ruins para algumas situações. Os piores resultados foram para os meses de verão no terceiro andar, onde chegou-se a 2,53% de tempo confortável no interior do ambiente alimentado pela janela do Código de Obras, conforme se vê no Gráfico 18.

Gráfico 18: Voto médio previsto no verão para o edifício segundo a ASHRAE 55

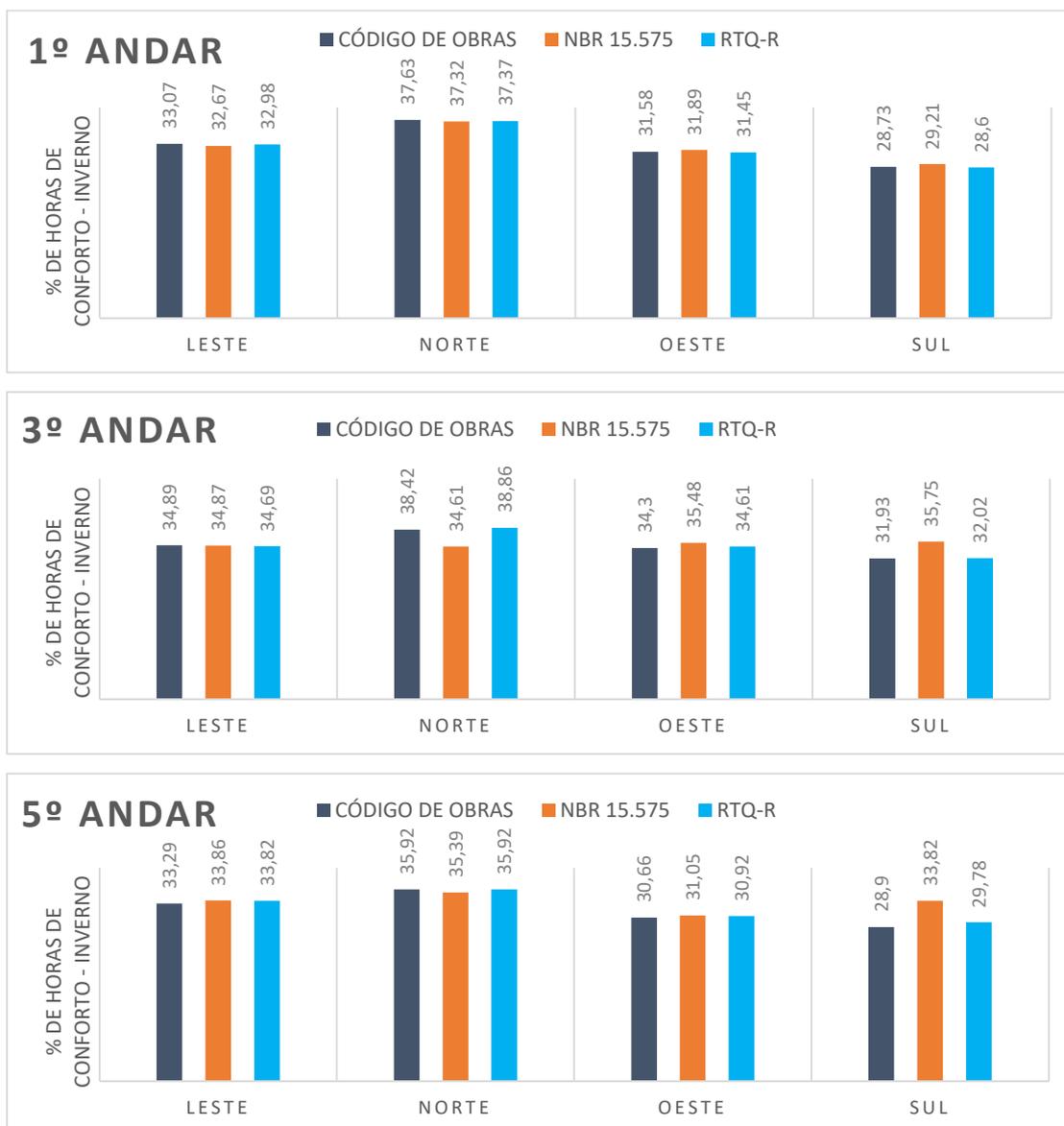


Fonte: Autor, 2020.

Neste cenário, mesmo a janela da NBR 15.575 não conseguiu ultrapassar os 5,66% no Norte, obtendo ainda 5,24% no Sul, 4,4% na fachada Leste e, como pior desempenho da janela para essa norma, apenas 3,84% de horas de conforto para a orientação Oeste.

Os melhores resultados segundo esta análise estão computados no inverno para o primeiro andar, onde, conforme Gráfico 19, a janela do Código de Obras chegou a 37,63% de tempo confortável para a fachada Norte, o RTQ-R 37,37% e a NBR 37,32%.

Gráfico 19: Voto médio previsto no inverno para o edifício segundo a ASHRAE 55



Fonte: Autor, 2020.

Todas as situações simuladas com a pilha do Galapagos apresentaram melhoria de desempenho térmico no interior do ambiente analisado para o intervalo anual. Observou-se que, em algumas estações, os resultados do Galapagos eram equivalentes ou, até mesmo, inferiores, às janelas das legislações – como na análise de PMV para o verão. Isso se dá porque os algoritmos visavam o aumento de horas de conforto no ano inteiro e, para isso, foi mais efetiva a maximização do conforto no inverno, capaz de gerar mais horas de conforto térmico.

Caso fosse simulada uma janela específica para o verão – época de maior desconforto térmico – o resultado seria diferente. Teria-se mais horas de

desconforto térmico durante o ano, porém menos concentrados na sua estação mais quente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A sensação de desconforto térmico no interior das edificações residenciais naturalmente ventiladas pode ser amenizada com a escolha adequada de janelas termicamente eficientes. Isso vai contribuir com a redução no consumo de energia gasta com climatização artificial para se chegar ao conforto, o que se constitui numa ação de combate às mudanças climáticas.

A metodologia empregada alcançou os objetivos propostos ao conseguir gerar janelas termicamente mais eficientes do que os modelos sugeridos pelas legislações vigentes.

Observa-se, algumas limitações.

Os algoritmos evolutivos empregados nos sistemas obtiveram melhorias, no entanto, isto não significa que eles tenham chegado aos melhores valores globais de desempenho. Ao fazerem mutações e *crossovers*, eles podem descartar alguns resultados com potencial de otimizar ainda mais os valores de saída das simulações. Isso foi notado, particularmente, nas situações em que se combinaram simultaneamente todos os 13 genomas parametrizados.

Os modelos de janela sugeridos pelo Galapagos partem de todas as variáveis da janela. Na realidade de um escritório de arquitetura, algumas características da esquadria já podem estar pré-definidas pelo projetista, restando ao Galapagos simular as demais variáveis para se otimizar o seu desempenho.

O uso desse sistema, conforme tratado no Capítulo 2, é melhor empregado na fase inicial do projeto, quando de sua concepção. Neste momento, há uma preocupação com a síntese formal do volume como um todo. Por esta razão, as simulações do Galapagos para o edifício não foram concluídas. Em nível de estudo preliminar, os arquitetos não devem interromper o processo criativo para esperar por dias a obtenção de uma simulação computacional de como devem ser as janelas. Quando tratar-se de uma edificação pequena, com poucos ambientes, e portanto zonas no *Honeybee*, os resultados de otimização da janela tendem a ser obtidos mais rapidamente e, dessa forma, seu uso como instrumento de auxílio no estudo preliminar, torna-se mais viável.

A inserção de uma simulação na fase inicial de projeto constitui uma mudança na maneira como os arquitetos estruturam a sua concepção de projeto. A tomada de decisões por meio do sistema generativo também constitui-se numa mudança desta concepção, dado que as escolhas feitas pelos profissionais serão pautadas nos resultados de desempenho previamente simulados.

Outra limitação é o fato de que a simulação foi feita especificamente para o ambiente de estudo do trabalho, com suas características climáticas, de ocupação e de comportamento dos usuários definidas. Mudanças nesses itens vão gerar diferentes dados de saída no sistema, resultando em modelos diferentes de janela. Afirmando-se, portanto, que as tipologias obtidas nesse estudo são recomendadas para o contexto analisado, não sendo, necessariamente capazes de otimizar o desempenho de edificações submetidas a outros contextos.

Como sugestões para avanço e complementação da pesquisa, cita-se novas formas de se montar o sistema, permitindo a redução no tempo gasto para se simular edifícios com muitas zonas e, portanto, viabilizando a sua aplicação.

A aplicação dos sistemas em outras cidade do Brasil pode gerar um perfil de esquadrias e dispositivos sombreadores capazes de otimizar o desempenho da edificação, sendo particularmente útil como diretriz para as legislações vigentes em todo o território nacional.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

- (IEA), I. E. A. **Cooling in buildings: Tracking Clean Energy Progress**. Disponível em: <<https://www.iea.org/tcep/buildings/cooling/>>. Acesso em: 5 jan. 2019.
- ACOSTA, I.; CAMPANO, M. T.; MOLINA, J. F. Window design in architecture: Analysis of energy savings for lighting and visual comfort in residential spaces. **Applied Energy**, v. 168, p. 493–506, 2016.
- ALVARES, C. A. et al. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014.
- AMARAL, A. R. et al. A thermal performance parametric study of window type, orientation, size and shadowing effect. **Sustainable Cities and Society**, v. 26, p. 456–465, 1 out. 2016.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE Standard 55-2013: Thermal environmental conditions for human occupancy**. Atlanta: [s.n.].
- ARCHDAILY. **AD Classics: Villa Savoye / Le Corbusier**.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**Rio de Janeiro ABNT, , 2003a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro: [s.n.].
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4: Edificações habitacionais – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas**.Rio de Janeiro, 2013.
- BELLIA, L. et al. An Overview on Solar Shading Systems for Buildings. **Energy Procedia**, v. 62, p. 309–317, 1 jan. 2014.
- BETANCOURT, M. C.; ALVARADO, R. G.; VILLARREAL, L. M. Q. Optimización geométrica de vanos residenciales para el trópico con aplicación de algoritmos genéticos y diseño paramétrico. **Sistemas & Telemática**, v. 10, n. 22, p. 231–238, 2012.
- BETANCOURT, M. C. V. **Diseño Generativo de Vanos para el Confort en Viviendas del Tropic**. [s.l.] Universidad del Bio-Bio, 2013.
- BITTENCOURT, G. **Inteligência Artificial: ferramentas e teorias**. Campinas: [s.n.].
- BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. **Introdução à Ventilação Natural**. Maceió: [s.n.].
- BONTE, M.; THELLIER, F.; LARTIGUE, B. Impact of occupant's actions on energy building performance and thermal sensation. **Energy and Buildings**, v. 76, p. 219–227, 2014.
- BOYD, R. A. **Windows and Glass in the Exterior of Buildings**. Washington: [s.n.].
- BRITANNICA, E. OF E. **Encyclopaedia Britannica**.
- CALDAS, L. G. **An Evolution-Based Generative Design System: Using Adaptation to Shape Architectural Form**. [s.l.] MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 2001.
- CALDAS, L. G.; NORFORD, L. K. A design optimization tool based on a genetic algorithm. **Automation in Construction**, v. 11, p. 173–184, 2002.
- CELANI, M. G. C. **Cad criativo**. Rio de Janeiro: [s.n.].
- ÇETINER, I. et al. High performance window selection model - HiPerWin. **A/Z ITU Journal of the Faculty of Architecture**, v. 9, n. 1, p. 165–180, 2012.
- CO, H. W. AND D. **Single, Double, Triple Glass**.
- CUNHA, E. **Elementos de Arquitetura de Climatização Natural**. Porto Alegre: [s.n.].

- D'OCA, S. et al. Effect of thermostat and window opening occupant behavior models on energy use in homes. **Building Simulation**, v. 7, n. 6, p. 683–694, 2014.
- D'OCA, S.; HONG, T. A data-mining approach to discover patterns of window opening and closing behavior in offices. **Building and Environment**, v. 82, p. 726–739, 2014.
- DAUM, D.; MOREL, N. Identifying important state variables for a blind controller. **BUILDING AND ENVIRONMENT**, v. 45, n. 4, p. 887–900, 2010.
- DE MENDONÇA, P. J. F. DE A. U. **Habitar sob uma Segunda Pele: Estratégias para a Redução do Impacto Ambiental de Construções Solares Passivas em Climas Temperados**. [s.l.] Universidade do Minho, 2005.
- DECORA, V. **A imponente arquitetura barroca e seu maior expoente, Aleijadinho**.
- DELZENDEH, E. et al. The impact of occupants' behaviours on building energy analysis: A research review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 80, p. 1061–1071, 1 dez. 2017.
- DUSSAULT, J.-M.; GOSSELIN, L. Office buildings with electrochromic windows: A sensitivity analysis of design parameters on energy performance, and thermal and visual comfort. **Energy and Buildings**, v. 153, p. 50–62, 2017.
- EL DALY, H. M. T. Automated fenestration allocation as complying with LEED rating system. **Alexandria Engineering Journal**, v. 53, n. 4, p. 883–890, 2014.
- FABI, V. et al. Occupants' window opening behaviour: A literature review of factors influencing occupant behaviour and models. **Building and Environment**, v. 58, p. 188–198, 2012.
- FERREIRA, G. **O ouroboros entre a música religiosa e a arquitetura medieval**.
- FERREIRA, L. **Casas Egípcias**.
- FIRLAG, S. et al. Control algorithms for dynamic windows for residential buildings. **ENERGY AND BUILDINGS**, v. 109, p. 157–173, 2015.
- FISCHER, T.; HERR, C. M. Teaching Generative Design. **Proceedings of the 4th International Generative Art Conference**, 2001.
- FOROUGH, R.; MOSTAVI, E.; ASADI, S. Determining the Optimum Geometrical Design Parameters of Windows in Commercial Buildings: Comparison between Humid Subtropical and Humid Continental Climate Zones in the United States. **Journal of Architectural Engineering**, v. 24, n. 4, 2018.
- FRANCISCO, J. **A luta pela terra na Grécia Antiga: algumas considerações**.
- FRAZER, J. **An Evolutionary Architecture**. London: [s.n.].
- FRONTCZAK, M.; WARGOCKI, P. Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. **Building and Environment**, v. 46, n. 4, p. 922–937, 1 abr. 2011.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 7. ed. São Paulo: [s.n.].
- G.M. STAVRAKAKIS; et al. Optimization of window-openings design for thermal comfort in naturally ventilated buildings. **Applied Mathematical Modelling**, v. 36, p. 193–211, 2012.
- GHISI, E.; TINKER, J. A. An Ideal Window Area concept for energy efficient integration of daylight and artificial light in buildings. **Building and Environment**, v. 40, n. 1, p. 51–61, 1 jan. 2005.
- GLOBAL ALLIANCE FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION. **Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector. Global Status Report 2017**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.worldgbc.org/sites/default/files/UNEP_188_GABC_en%28web%29.pdf>.
- GONZÁLEZ CRUZ, E. M.; BRAVO MORALES, G. C. About thermal comfort: neutral temperatures in the humid tropic. **Palapa**, v. 4, n. 1, p. 33–38, 2009.
- GRIFFIN, M. E. S.; SIEM, G. **Manual de Diseño para Edificaciones Energéticamente Eficientes**. Caracas: [s.n.].

- GUT, P.; ACKERKNECHT, D. **Climate Responsive Building**. 1. ed. St. Gallen: [s.n.].
- IMBROISI, M. **ERA UMA CASA....ROMANA**.
- INMETRO. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**, 2012. Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/RTQR.pdf>>
- INMETRO. **Portaria nº 50**, 2013.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Gráficos climatológicos (1931 - 1960 e 1961 - 1990)**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos>>. Acesso em: 9 jan. 2020.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730 - Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria**. Geneva: [s.n.].
- IVANÓSKI, C. G. **Um Modelo de Processo de Projeto e Produção de Edifícios Verticais, com uma visão “pavimentar” e de “interface horizontal”, visando integração entre layout de fachada e conforto**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.
- JAN VERMEER ORG. **Girl Reading a Letter at an Open Window**. Disponível em: <<http://www.jan-vermeer.org/girl-reading-a-letter-at-an-open-window/>>. Acesso em: 17 fev. 2020.
- JELLE, B. P.; HAGEN, G. Performance of an electrochromic window based on polyaniline, prussian blue and tungsten oxide. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 58, n. 3, p. 277–286, 1999.
- JORGE, L. A. **O Desenho da Janela**. 1. ed. São Paulo: [s.n.].
- KE, Y. et al. Emerging Thermal-Responsive Materials and Integrated Techniques Targeting the Energy-Efficient Smart Window Application. **Advanced Functional Materials**, v. 28, n. 22, 2018.
- KIRIMTAT, A. et al. Review of simulation modeling for shading devices in buildings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 53, p. 23–49, 2016.
- LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES; LABEEE. **ANALYSIS SOL-AR**, 2018. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/analysis-sol-ar>>
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: [s.n.].
- LAVIN, C.; FIORITO, F. Optimization of an External Perforated Screen for Improved Daylighting and Thermal Performance of an Office Space. **Procedia Engineering**, v. 180, p. 571–581, 2017.
- LEATHERBARROW, D.; MOSTAFAVI, M. **Surface Architecture**. Cambridge: [s.n.].
- LINDEN, R. **Algoritmos Genéticos Teoria e Implementação**. 2. ed. Rio de Janeiro: [s.n.].
- MACHADO, J. D. M. **AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES MULTIFAMILIARES CONSIDERANDO AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS FUTURAS**. [s.l.] Universidade Federal do Espírito Santo, 2019.
- MALLICK, F. H. Thermal comfort and building design in the tropical climates. **Energy and Buildings**, v. 23, p. 161–167, 1996.
- MAN, M. E.; JONES, P. D. Global Surface Temperatures over the past two millennia. **Geophysical Research Letters**, v. 30, n. 15, p. 1–4, 2003.
- MANGKUTO, R. A. et al. Determination of appropriate metrics for indicating indoor daylight availability and lighting energy demand using genetic algorithm. **Solar Energy**, v. 170, p. 1074–1086, 2018.

- MARIN, P.; BIGNON, J.-C.; LEQUAY, H. Integral evolutionary design, integrated to early stage of architectural design process. **Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning**, 2008.
- MARINOSKI, D. L. **Aperfeiçoamento de um Sistema de Medição de Ganho de Calor Solar Através de Aberturas**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.
- MARKUS, T. A. The Function of Windows A Reappraisal. **Build. Sci**, v. 2, p. 97–121, 1967.
- MARTINO, J. **Algoritmos Evolutivos como Método para Desenvolvimento de Projetos de Arquitetura**. [s.l.] UNICAMP, Campinas, 2015.
- MCNEEL EUROPE. **food4Rhino**.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional 2019**. Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-470/Relatório Síntese BEN 2019 Ano Base 2018.pdf>>.
- MISIOPECKI, C. et al. Thermal modeling and investigation of the most energy-efficient window position. **Energy and Buildings**, v. 158, p. 1079–1086, 2018.
- MITCHELL, M. **An Introduction to Genetic Algorithms**. Cambridge: [s.n.].
- MITCHELL, W. J. The theoretical foundation of computer-aided architectural design. **Environment and Planning B**, v. 2, p. 127–150, 1975.
- MOTUZIENE, V.; JUODIS, E. S. Simulation based complex energy assessment of office building fenestration. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 16, n. 3, p. 345–351, 2010.
- NICO-RODRIGUES, E. A. **Janelas x ventilação: modelo de apoio à escolha de janelas para edificações multifamiliares em Vitória, ES, 2008**. [s.l.] Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.
- NICO-RODRIGUES, E. A. **Influência da janela no desempenho térmico de ambientes ventilados naturalmente**. [s.l.] Universidade del Bio-Bio, Chile, 2015.
- NICO-RODRIGUES, E. A. et al. Quando a janela define a condição de desempenho térmico em ambientes ventilados naturalmente: caso específico das edificações multifamiliares em Vitória, ES. **Ambiente Construído**, v. 15, n. 2, p. 7–23, 2015.
- OCHOA, C. E. et al. Considerations on design optimization criteria for windows providing low energy consumption and high visual comfort. **Applied Energy**, v. 95, p. 238–245, 2012.
- OLGYAY, V. **Arquitetura y Clima**. Barcelona: [s.n.].
- ORAL, G. K. Appropriate window type concerning energy consumption for heating. **ENERGY AND BUILDINGS**, v. 32, n. 1, p. 95–100, jun. 2000.
- OXMAN, R. Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium. **Design Studies**, v. 29, p. 99–120, 2008.
- P. O. FANGER. **Thermal comfort : analysis and applications in environmental engineering**. New York: McGraw-Hill, 1972.
- PEREZ, R. **Manual técnico de caixilhos, janelas: aço, alumínio, vidros, PVC, madeira, acessórios, juntas e materiais de vedação**. São Paulo: [s.n.].
- PERSSON, M.-L.; ROOS, A.; WALL, M. Influence of window size on the energy balance of low energy houses. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 3, p. 181–188, 2006.
- PREFEITURA DE VITÓRIA. **Aspectos relevantes de Vitória**. Disponível em: <<http://legado.vitoria.es.gov.br/negocios/investe2.htm>>. Acesso em: 11 jan. 2020.
- PROJETEEEE. **Dados climáticos da cidade de Vitória**. Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/dados-climaticos/?cidade=ES+-+Vitória&id_cidade=bra_es_vitoria-salles.ap.836490_try.1962>. Acesso em: 9 jan. 2020.
- RADHA, C. H. Traditional houses energy optimization using passive strategies. **Pollack Periodica**, v. 13, n. 2, p. 185–194, 2018.

- REED, B. H. **Windows and Glass in the Exterior of Buildings**. Washington: Institute, Building Research, 1957.
- REMOURINHO, A. R. **Ficha Técnica: Eficiência Energética em Janelas**. [s.l.: s.n.].
- RENNER, G.; ANIKÓ, E. Genetic algorithms in computer aided design. **Computer-Aided Design**, v. 35, p. 709–726, 2003.
- RIJAL, H. B. et al. Using results from field surveys to predict the effect of open windows on thermal comfort and energy use in buildings. **Energy and Buildings**, v. 39, n. 7, p. 823–836, 1 jul. 2007.
- ROAF, S.; CRICHTON, D.; NICOL, F. **A Adaptação de Edificações e Cidades às Mudanças Climáticas. Um guia de sobrevivência para o século XXI**. Porto Alegre: [s.n.].
- ROBERT MCNEEL & ASSOCIATES. **Rhinoceros** Barcelona, 2020.
- ROUDSARI, M. **Ladybug Primer**. Disponível em: <<https://mostapharoudsari.gitbooks.io/ladybug-primer/content/text/components/>>. Acesso em: 18 jan. 2020.
- RUPP, R. F.; VÁSQUEZ, N. G.; LAMBERTS, R. A review of human thermal comfort in the built environment. **Energy and Buildings**, v. 105, p. 178–205, 15 out. 2015.
- SILVA, H. DA C. Recommendations for Window Design in Brazil Subtropical Climate. **IV COTEDI**, v. 11, p. 515–518, 2005.
- SILVA, S. B. DE J. **A janela: Relações e Transformações no Contexto da História da Arquitetura**. [s.l.] Universidade de Coimbra, 2008.
- SINGH, V. Towards an integrated generative design framework. **Design Studies**, v. 33, p. 185–207, 2012.
- SKARNING, G. C. J.; HVIID, C. A.; SVENDSEN, S. Roadmap for improving roof and façade windows in nearly zero-energy houses in Europe. **Energy and Buildings**, v. 116, p. 602–613, 2016.
- SORGATO, M. J.; MARINOSKI, D. L. ; MELO, A. P. ; LAMBERTS, R. **Nota técnica referente à avaliação para a norma de desempenho NBR 15575 em consulta pública Laboratório de Eficiência Energética em Edificações**. Florianópolis: [s.n.].
- STANDARDIZATION, E. C. F. **EN 15.251: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics**. Bruxelas: [s.n.].
- SU, X.; ZHANG, X. Environmental performance optimization of window–wall ratio for different window type in hot summer and cold winter zone in China based on life cycle assessment. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 2, p. 198–202, 1 fev. 2010.
- TANTASAVASDI, C.; SREBRIC, J.; CHEN, Q. Natural ventilation design for houses in Thailand. **Energy and Buildings**, v. 33, n. 8, p. 815–824, 1 out. 2001.
- TÁVORA, F. **O Ensino da Arquitetura na Actualidade** Lisboa, 1991.
- TEDESCHI, A. **AAO Algorithms-Aided Design Parametric Strategies using Grasshopper**. Brienza: LE PENSEUR PUBLISHER, 2014.
- TERZIDIS, K. **Expressive Form: A conceptual approach to computational design**. New York: [s.n.].
- TIBIRIÇA, A. C. G. **Contexto para o desempenho ambiental de janelas**. (5 e o Encontro de Engenharia de Produção International Congress of Industrial Engineering, Ed.)XIX Encontro Nacional de Engenharia. **Anais...**Rio de Janeiro: 1999
- TIERNEY, T. **Abstract space : beneath the media surface**. New York: [s.n.].
- TRZĄSKI, A.; RUCIŃSKA, J. Energy labeling of windows – Possibilities and limitations. **Solar Energy**, v. 120, p. 158–174, 2015.
- TURISMO, M. **Palácio de Cristal**.

TURRIN, M.; BUELOW, P. VON; STOUFFS, R. Design explorations of performance driven geometry in architectural design using parametric modeling and genetic algorithms. **Advanced Engineering Informatics**, v. 25, p. 656–675, 2011.

UN. **Report of the secretary-general on the 2019 climate action summit and the way forward in 2020**. [s.l.: s.n.]. Disponível em:
<https://www.un.org/en/climatechange/assets/pdf/cas_report_11_dec.pdf>.

VITÓRIA (MUNICÍPIO). **Código de Edificações do Município de Vitória - LEI Nº 4821** Vitória, 1998.

WOODBURY, R. **Elements of Parametric Design**. New York: [s.n.].

YOUSEFI, F.; GHOLIPOUR, Y.; YAN, W. A study of the impact of occupant behaviors on energy performance of building envelopes using occupants' data. **Energy and Buildings**, v. 148, p. 182–198, 2017.

ZNOUDA, E.; GHRAB-MORCOS, N.; HADJ-ALOUANE, A. Optimization of Mediterranean building design using genetic algorithms. **Energy and Buildings**, v. 39, p. 148–153, 2007.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Cálculo de Transmitância Térmica (U) dos vidros:

Vidro Simplex:

Dados:

- Para o vidro:
 - Densidade aparente $\rho_{\text{vidro}} = 2.500 \text{ kg/m}^3$
 - Condutividade térmica $\lambda_{\text{vidro}} = 1,00 \text{ W/m.K}$
 - Calor específico $c_{\text{vidro}} = 0,84 \text{ KJ/kg.K}$
 - $e_{\text{vidro}} = 0,006 \text{ m}$

Resistência Térmica da Janela (R_J):

- $R_J = e_{\text{vidro}} / \lambda_{\text{vidro}} = 0,006 / 1,00 = 0,006 \text{ m}^2.\text{K/W}$

Resistência Térmica Total (R_T):

- Resistência Térmica superficial interna (R_{SI}) = $0,13 \text{ m}^2.\text{K/W}$
- Resistência Térmica superficial externa (R_{SE}) = $0,04 \text{ m}^2.\text{K/W}$

- $R_T = R_{SI} + R_J + R_{SE} = 0,13 + 0,006 + 0,04 = \mathbf{0,176 \text{ m}^2.\text{K/W}}$

Transmitância Térmica (U):

- $U = 1 / R_T = 1 / 0,176 = \mathbf{5,69 \text{ W/m}^2.\text{K}}$

Vidro Duplo:

Dados:

- Para o vidro:
 - Densidade aparente $\rho_{\text{vidro}} = 2.500 \text{ kg/m}^3$
 - Condutividade térmica $\lambda_{\text{vidro}} = 1,00 \text{ W/m.K}$
 - Calor específico $c_{\text{vidro}} = 0,84 \text{ KJ/kg.K}$
 - $e_{\text{vidro}} = 0,006 \text{ m}$

- Para a camada de ar:
 - Espessura da câmara de ar = 1,25cm, logo, como $1,00 \leq e \leq 2,00$, adotar resistência térmica do ar (R_{ar}) = 0,14 m².K/W

Resistência Térmica da Janela (R_J):

- $R_v = e_{vidro} / \lambda_{vidro} + R_{ar} + e_{vidro} / \lambda_{vidro} = 0,006 / 1,00 + 0,14 + 0,006 / 1,00 = 0,152 \text{ m}^2.\text{K/W}$

Resistência Térmica Total (R_T):

- Resistência Térmica superficial interna (R_{SI}) = 0,13 m².K/W
- Resistência Térmica superficial externa (R_{SE}) = 0,04 m².K/W
- $R_T = R_{SI} + R_J + R_{SE} = 0,13 + 0,152 + 0,04 = \mathbf{0,322 \text{ m}^2.\text{K/W}}$

Transmitância Térmica (U):

- $U = 1 / R_T = 1 / 0,322 = \mathbf{3,11 \text{ W/m}^2.\text{K}}$

Vidro Triplo:

Dados:

- Para o vidro:
 - Densidade aparente $\rho_{vidro} = 2.500 \text{ kg/m}^3$
 - Condutividade térmica $\lambda_{vidro} = 1,00 \text{ W/m.K}$
 - Calor específico $c_{vidro} = 0,84 \text{ KJ/kg.K}$
 - $e_{vidro} = 0,006 \text{ m}$
- Para a camada de ar:
 - Espessura da câmara de ar = 1,25cm, logo, como $1,00 \leq e \leq 2,00$, adotar resistência térmica do ar (R_{ar}) = 0,14 m².K/W

Resistência Térmica da Janela (R_J):

- $R_v = e_{vidro} / \lambda_{vidro} + R_{ar} + e_{vidro} / \lambda_{vidro} + R_{ar} + e_{vidro} / \lambda_{vidro} = 0,006 / 1,00 + 0,14 + 0,006 / 1,00 + 0,14 + 0,006 / 1,00 = 0,298 \text{ m}^2.\text{K/W}$

Resistência Térmica Total (R_T):

- Resistência Térmica superficial interna (R_{SI}) = 0,13 m².K/W
- Resistência Térmica superficial externa (R_{SE}) = 0,04 m².K/W

- $R_T = R_{SI} + R_J + R_{SE} = 0,13 + 0,298 + 0,04 = \mathbf{0,468 \text{ m}^2.K/W}$

Transmitância Térmica (U):

- $U = 1 / R_T = 1 / 0,468 = \mathbf{2,14 \text{ W/m}^2.K}$

Cálculo de Transmitância Térmica (U) das lajes:

Dados:

- Para o piso cerâmico:
 - Densidade aparente $\rho_{\text{piso}} = 1.600 \text{ kg/m}^3$
 - Condutividade térmica $\lambda_{\text{piso}} = 0,90 \text{ W/m.K}$
 - Calor específico $C_{\text{piso}} = 0,92 \text{ KJ/kg.K}$
 - $E_{\text{piso}} = 0,01 \text{ m}$
- Para o contrapiso:
 - Densidade aparente $\rho_{\text{cont}} = 2.000 \text{ kg/m}^3$
 - Condutividade térmica $\lambda_{\text{cont}} = 1,15 \text{ W/m.K}$
 - Calor específico $C_{\text{cont}} = 1,00 \text{ KJ/kg.K}$
 - $E_{\text{cont}} = 0,025 \text{ m}$
- Para a laje de concreto:
 - Densidade aparente $\rho_{\text{laje}} = 2.200 \text{ kg/m}^3$
 - Condutividade térmica $\lambda_{\text{laje}} = 1,75 \text{ W/m.K}$
 - Calor específico $C_{\text{laje}} = 1,00 \text{ KJ/kg.K}$
 - $E_{\text{laje}} = 0,10 \text{ m}$
- Para a argamassa de reboco:
 - Densidade aparente $\rho_{\text{arga}} = 2.000 \text{ kg/m}^3$
 - Condutividade térmica $\lambda_{\text{arga}} = 1,15 \text{ W/m.K}$
 - Calor específico $C_{\text{arga}} = 1,00 \text{ KJ/kg.K}$
 - $E_{\text{arga}} = 0,025 \text{ m}$
- Para a camada de ar:
 - Espessura da câmara de $e \geq 5,00 \text{ cm}$, adotar resistência térmica do ar ($R_{\text{ar}} = 0,21 \text{ m}^2.\text{K/W}$)
- Para a placa de gesso:
 - Densidade aparente $\rho_{\text{gesso}} = 750 \text{ kg/m}^3$
 - Condutividade térmica $\lambda_{\text{gesso}} = 0,35 \text{ W/m.K}$
 - Calor específico $C_{\text{gesso}} = 0,84 \text{ KJ/kg.K}$
 - $E_{\text{gesso}} = 0,03 \text{ m}$

Resistência Térmica da Laje (R_L):

- $R_v = e_{\text{piso}} / \lambda_{\text{piso}} + e_{\text{cont}} / \lambda_{\text{cont}} + e_{\text{laje}} / \lambda_{\text{laje}} + e_{\text{arga}} / \lambda_{\text{arga}} + R_{\text{ar}} + e_{\text{gesso}} / \lambda_{\text{gesso}} =$
 $0,01 / 0,9 + 0,022 / 1,15 + 0,1 / 1,75 + 0,025 / 1,15 + 0,21 + 0,03 / 0,35 =$
 $0,011 + 0,022 + 0,057 + 0,022 + 0,21 + 0,085 =$
 $0,407 \text{ m}^2.\text{K/W}$

Resistência Térmica Total (R_T):

- Resistência Térmica superficial interna (R_{Si}) = $0,17 \text{ m}^2.\text{K/W}$

- $R_T = R_{Si} + R_J + R_{Si} = 0,17 + 0,407 + 0,17 = \mathbf{0,747 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}}$

Transmitância Térmica (U):

- $U = 1 / R_T = 1 / 0,747 = \mathbf{1,34 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}}$

Cálculo de Transmitância Térmica (U) das paredes:

Dados:

- Para a argamassa / emboço / reboco:
 - Densidade aparente $\rho_{\text{argam}} = 2.000 \text{ kg/m}^3$
 - Condutividade térmica $\lambda_{\text{argam}} = 1,15 \text{ W/m.K}$
 - Calor específico $C_{\text{argam}} = 1,00 \text{ KJ/kg.K}$
 - $E_{\text{argam}} = 0,025 \text{ m}$
- Para a cerâmica:
 - Densidade aparente $\rho_{\text{cerâm}} = 1.600 \text{ kg/m}^3$
 - Condutividade térmica $\lambda_{\text{cerâm}} = 0,90 \text{ W/m.K}$
 - Calor específico $C_{\text{cerâm}} = 0,92 \text{ KJ/kg.K}$
 - $E_{\text{cerâm}} = 0,01 \text{ m}$
- Para a camada de ar:
 - Espessura da câmara de ar = 3,00cm, logo, como $2,00 < e \leq 5,00$, adotar resistência térmica do ar ($R_{\text{ar}} = 0,16 \text{ m}^2.\text{K/W}$)

Resistência Térmica do Tijolo (R_T):

- **Seção 01 (tijolo):**
 - $A_{T1} = 0,01 \times 0,24 = 0,024 \text{ m}^2$
 - $R_{T1} = e_{\text{cerâm}} / \lambda_{\text{cerâm}} = 0,09 / 0,9 = 0,1 \text{ m}^2.\text{K/W}$
- **Seção 02 (tijolo + ar + tijolo + ar + tijolo):**
 - $A_{T2} = 0,033 \times 0,24 = 0,008 \text{ m}^2$
 - $R_{T2} = e_{\text{cerâm}} / \lambda_{\text{cerâm}} + R_{\text{ar}} + e_{\text{cerâm}} / \lambda_{\text{cerâm}} + R_{\text{ar}} + e_{\text{cerâm}} / \lambda_{\text{cerâm}} =$
 $0,001 / 0,9 + 0,16 + 0,001 / 0,9 + 0,16 + 0,001 / 0,9 = 0,353 \text{ m}^2.\text{K/W}$
- **Total tijolo:**
 - $R_T = [(4 \times A_{T1}) + (3 \times A_{T2})] / [(4 \times A_{T1} / R_{T1}) + (3 \times A_{T2} / R_{T2})] =$
 $[(4 \times 0,024) + (3 \times 0,008)] / [(4 \times 0,024 / 0,1) + (3 \times 0,008 / 0,353)] =$
 $(0,0096 + 0,024) / [(0,0096 / 0,1) + (0,024 / 0,353)] =$
 $0,0336 / (0,096 + 0,068) =$
 $0,0336 / 0,164 =$
 $0,205 \text{ m}^2.\text{K/W}$

Resistência Térmica da Parede (R_P):

- **Seção A (reboco + argamassa + reboco):**
 - $A_{PA} = 0,01 \times 0,24 + 0,01 \times 0,15 = 0,0039 \text{ m}^2$
 - $R_{PA} = e_{\text{reboco}} / \lambda_{\text{reboco}} + e_{\text{argam}} / \lambda_{\text{argam}} + e_{\text{reboco}} / \lambda_{\text{reboco}} =$
 $0,025 / 1,15 + 0,09 / 1,15 + 0,025 / 1,15 =$

$$0,022 + 0,078 + 0,022 =$$

$$0,122 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

- **Seção B (reboco + tijolo + reboco):**

- $A_{PB} = 0,14 \times 0,24 = 0,034 \text{ m}^2$

- $R_{PB} = e_{\text{reboco}} / \lambda_{\text{reboco}} + R_T + e_{\text{reboco}} / \lambda_{\text{reboco}} =$
 $0,025 / 1,15 + 0,205 + 0,025 / 1,15 =$
 $0,022 + 0,205 + 0,022 =$
 $0,249 \text{ m}^2.\text{K/W}$

- **Total parede:**

- $R_P = (A_{PA} + A_{PB}) / [(A_{PA} / R_{PA}) + (A_{PB} / R_{PB})] =$
 $(0,0039 + 0,034) / [(0,0039 / 0,122) + (0,034 / 0,249)] =$
 $0,0379 / (0,032 + 0,137) =$
 $0,0379 / 0,169 =$
 $0,224 \text{ m}^2.\text{K/W}$

Resistência Térmica Total (R_T):

- Resistência Térmica superficial interna (R_{SI}) = $0,13 \text{ m}^2.\text{K/W}$
- Resistência Térmica superficial externa (R_{SE}) = $0,04 \text{ m}^2.\text{K/W}$

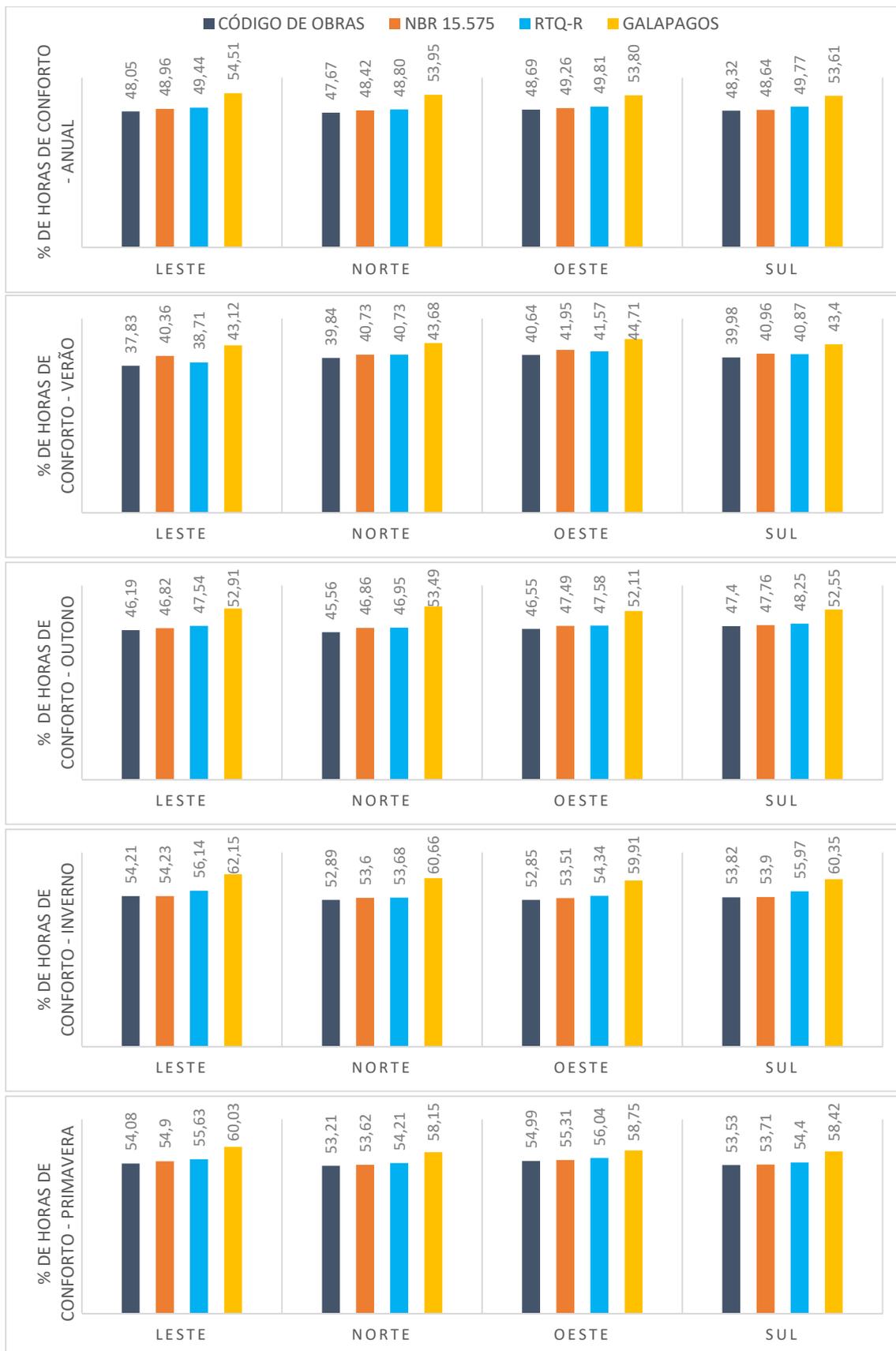
- $R_T = R_{SI} + R_J + R_{SE} = 0,13 + 0,224 + 0,04 = \mathbf{0,394 \text{ m}^2.\text{K/W}}$

Transmitância Térmica (U):

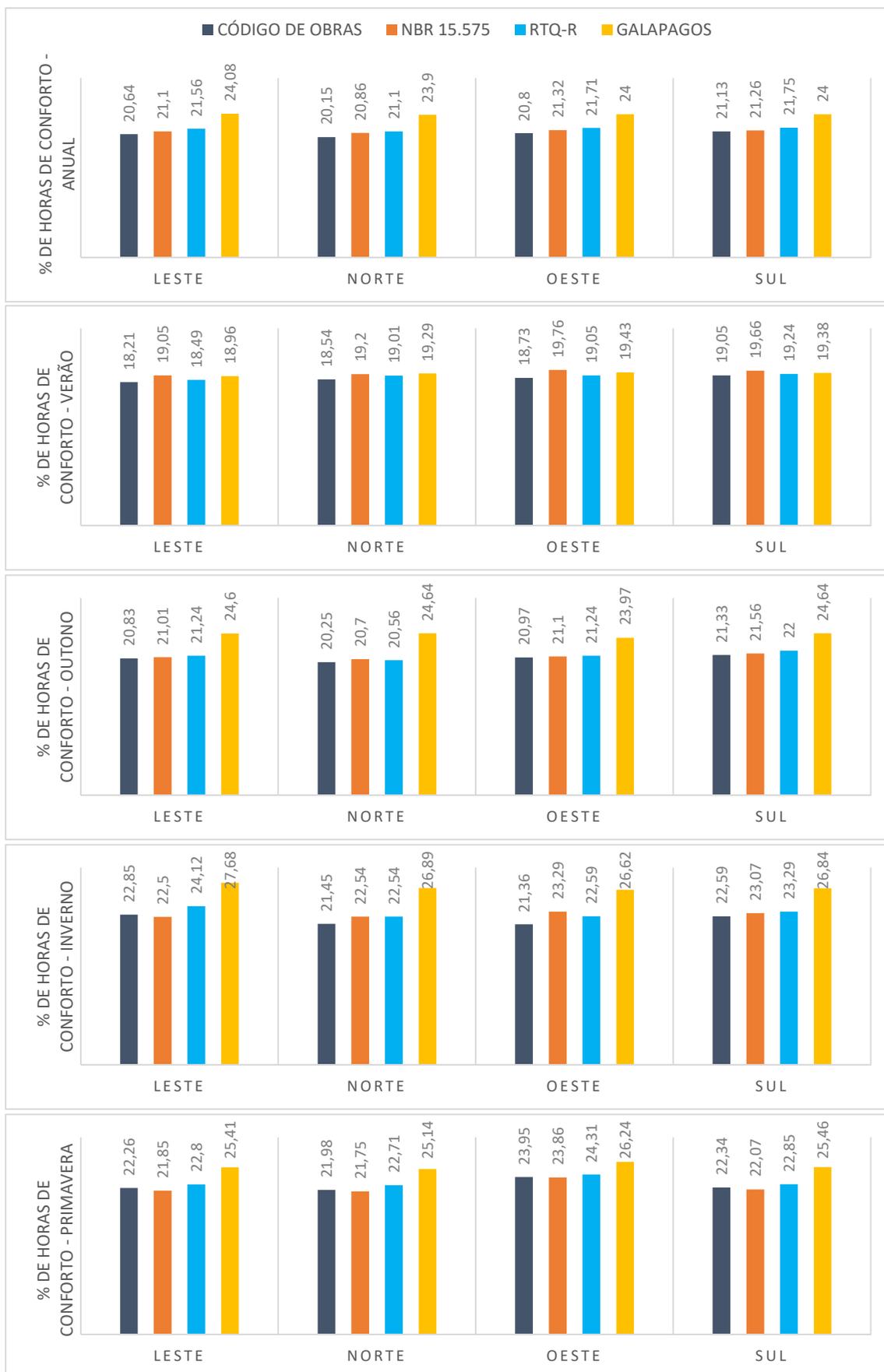
- $U = 1 / R_T = 1 / 0,394 = \mathbf{2,54 \text{ W/m}^2.\text{K}}$

APÊNDICE B

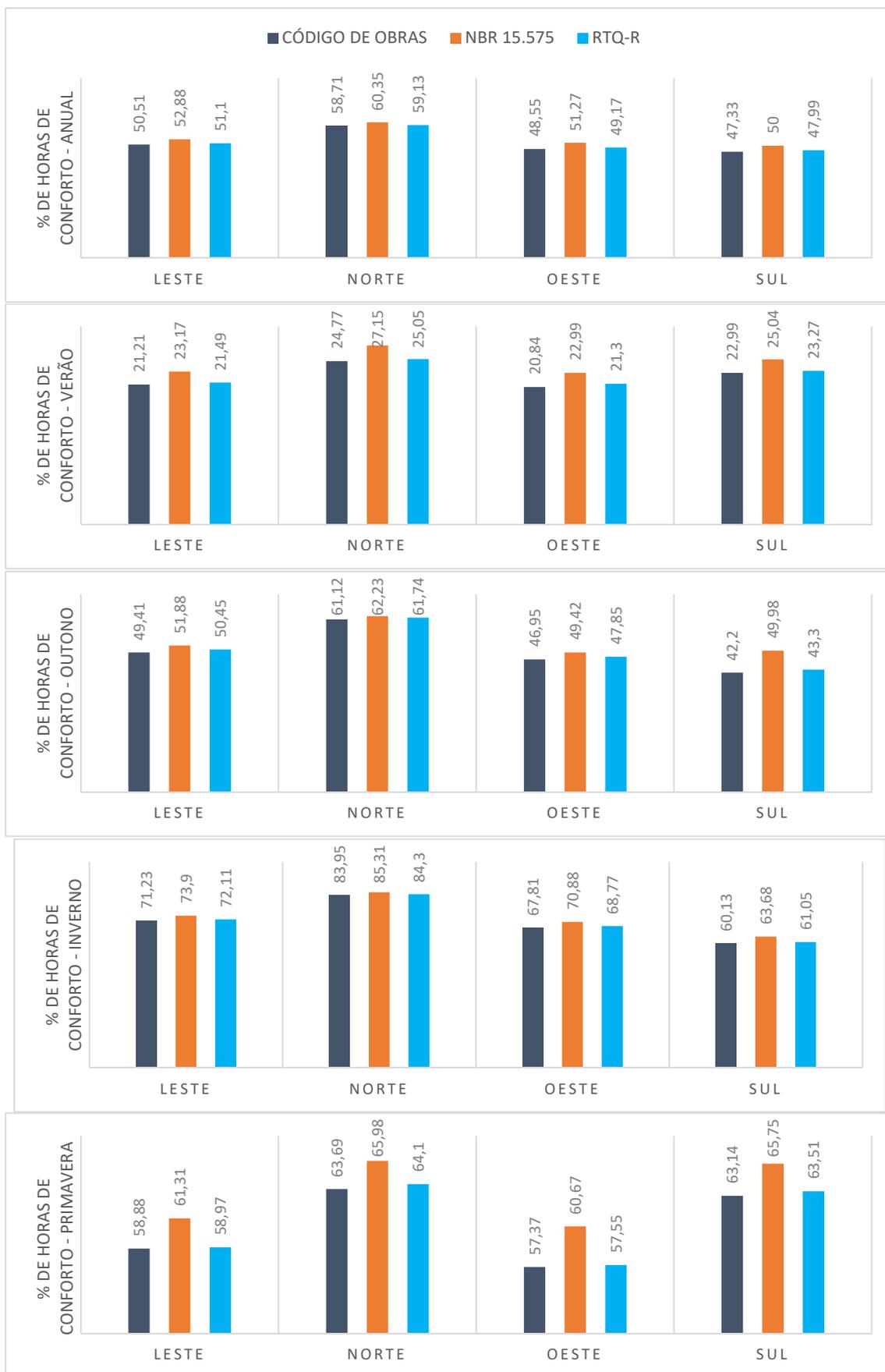
AMBIENTE - CONFORTO ADAPTATIVO



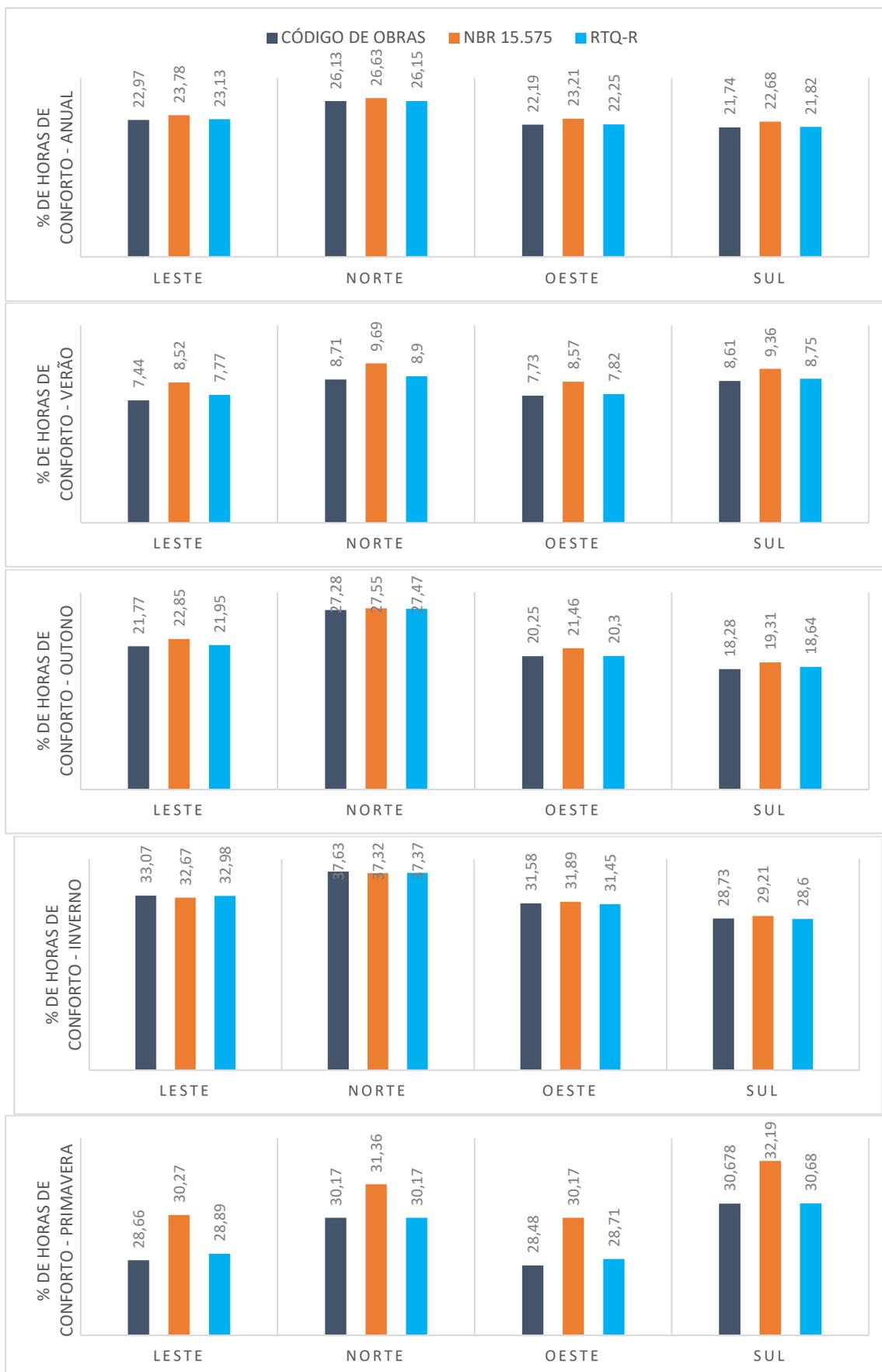
AMBIENTE – VOTO MÉDIO PREVISTO (PMV)



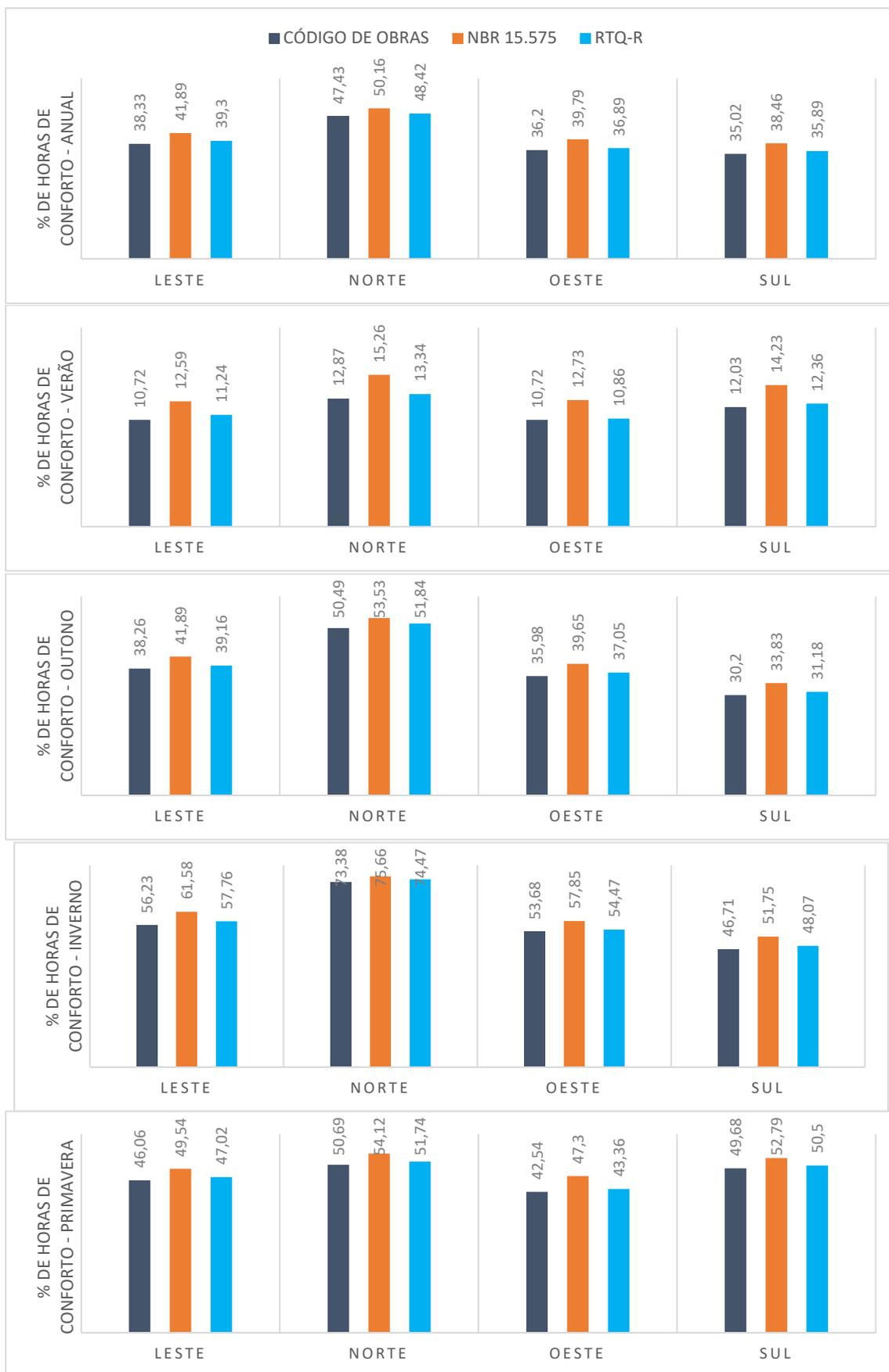
PRIMEIRO ANDAR - CONFORTO ADAPTATIVO



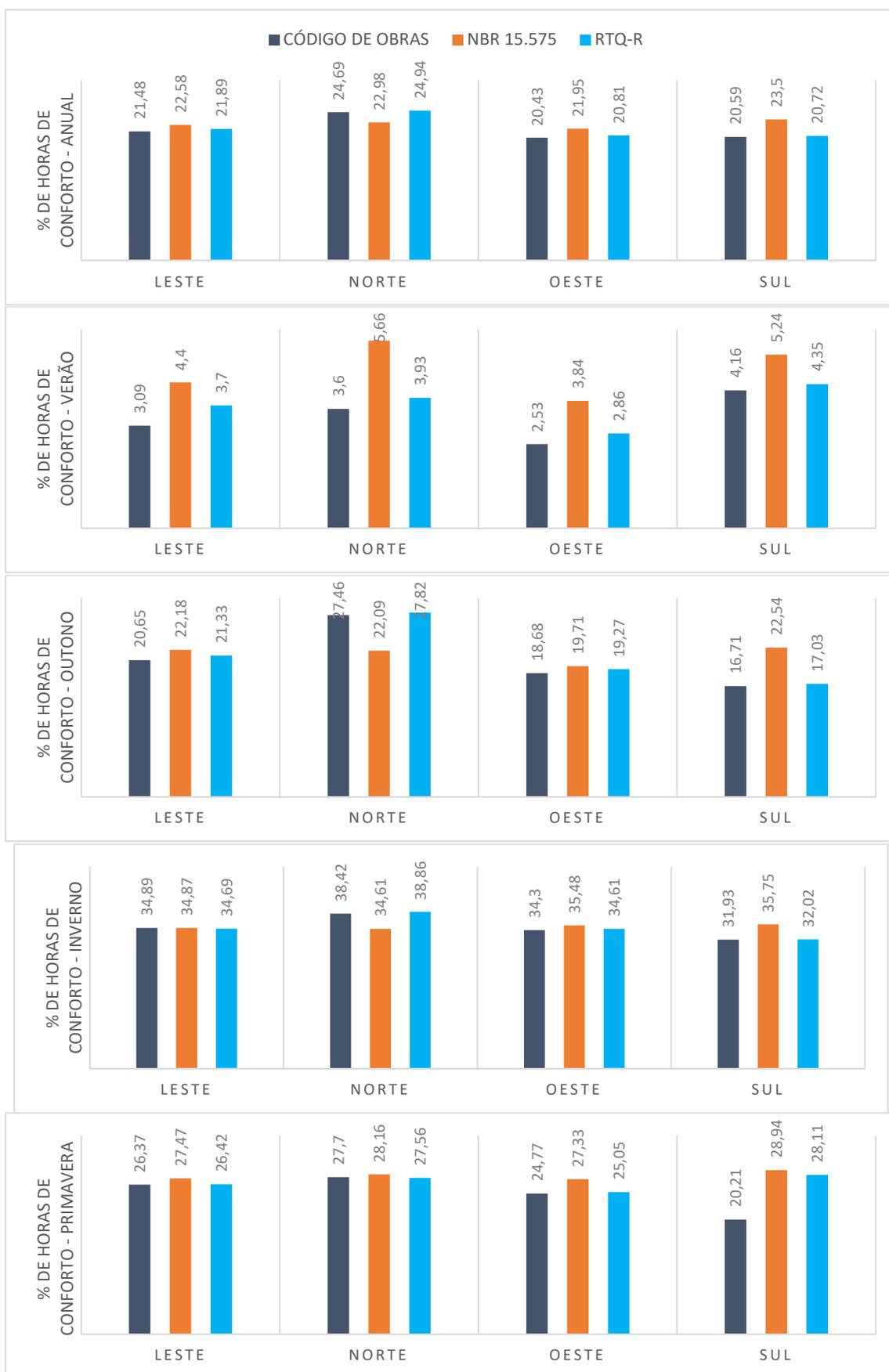
PRIMEIRO ANDAR - VOTO MÉDIO PREVISTO (PMV)



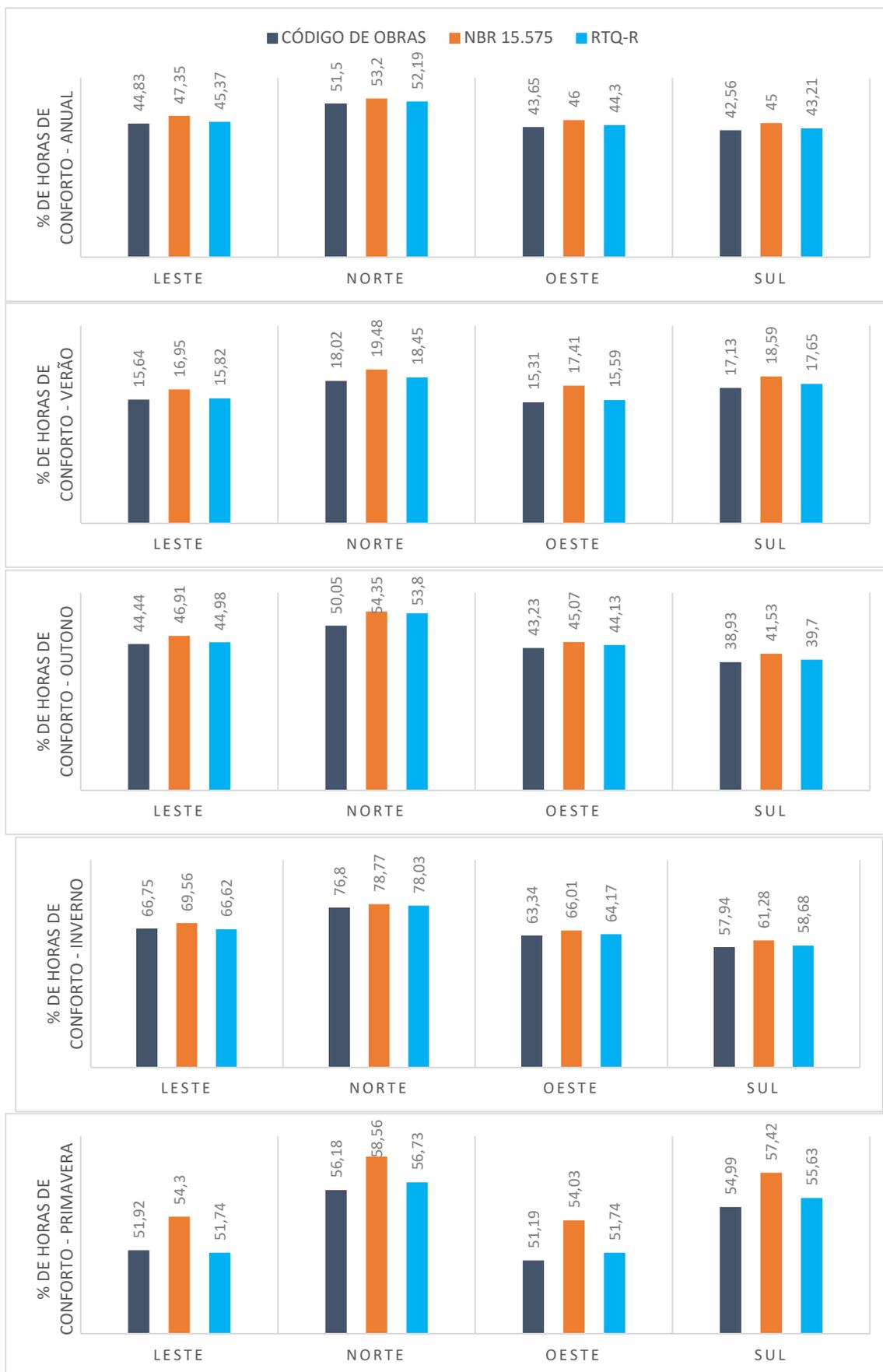
TERCEIRO ANDAR - CONFORTO ADAPTATIVO



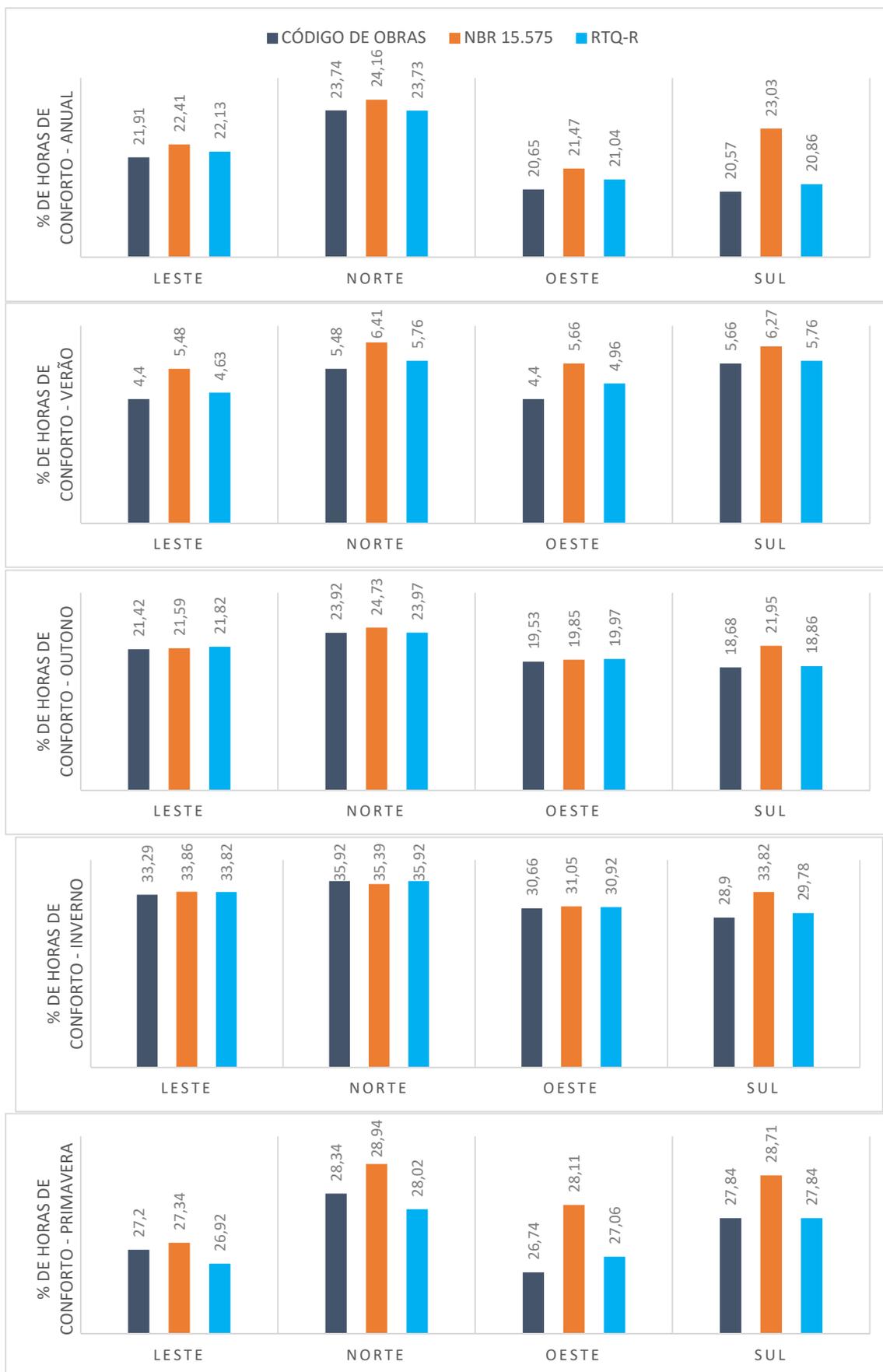
TERCEIRO ANDAR - VOTO MÉDIO PREVISTO (PMV)



QUINTO ANDAR - CONFORTO ADAPTATIVO



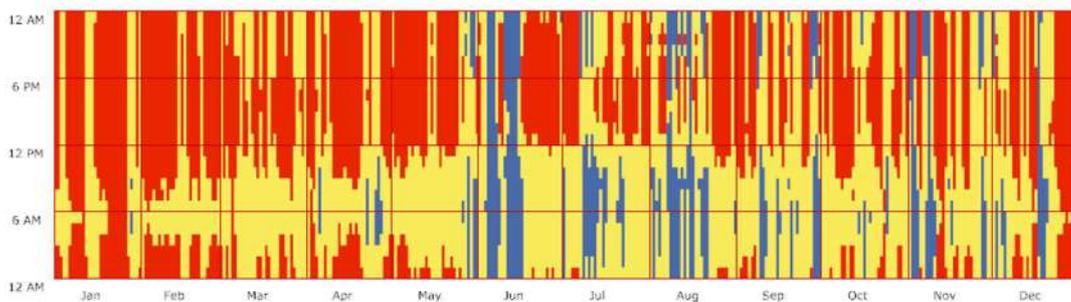
QUINTO ANDAR - VOTO MÉDIO PREVISTO (PMV)



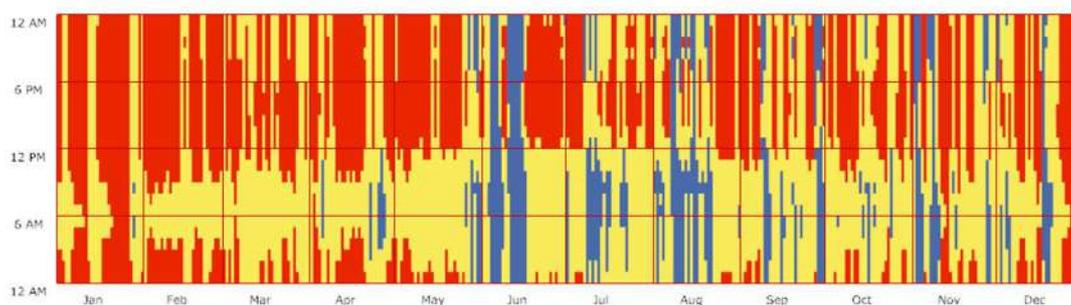
AMBIENTE – GRÁFICO DE CONDIÇÃO DA PESSOA – LESTE



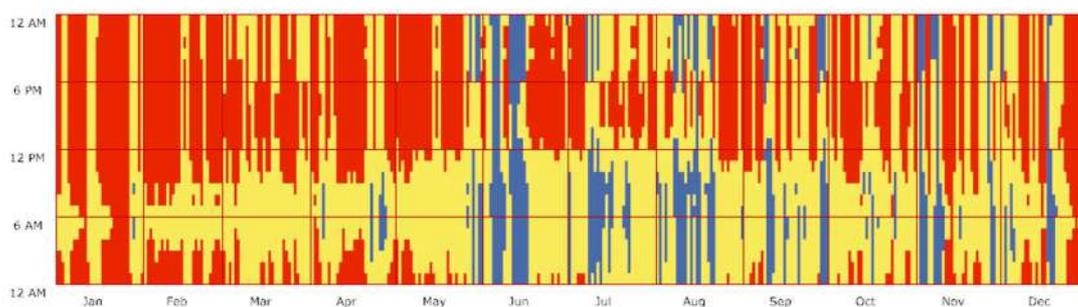
Código de Obras



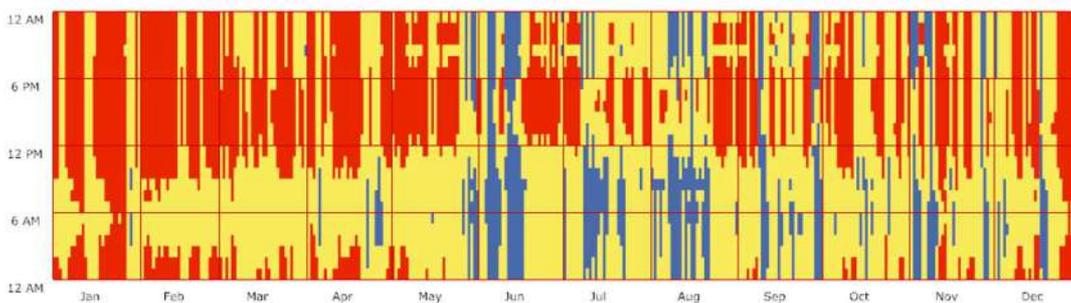
NBR 15.575



RTQ-R

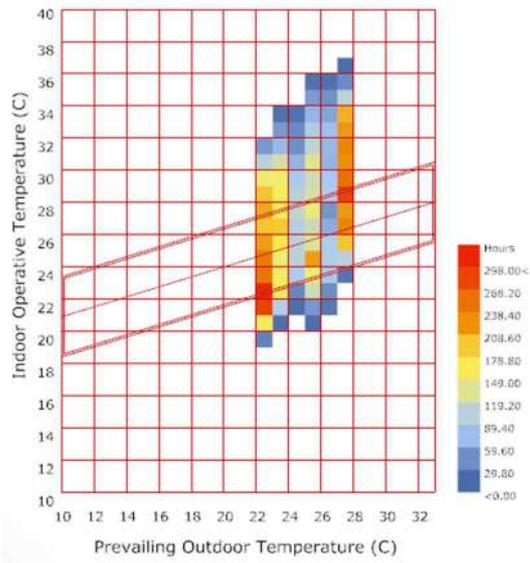


Galapagos

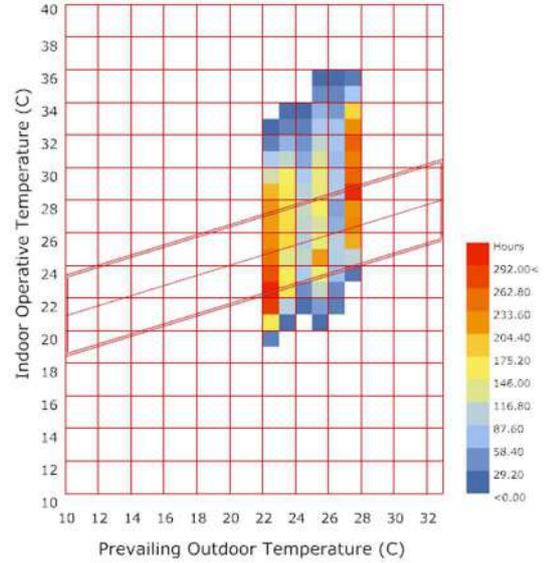


AMBIENTE – QUADRO DE CONFORTO ADAPTATIVO – LESTE

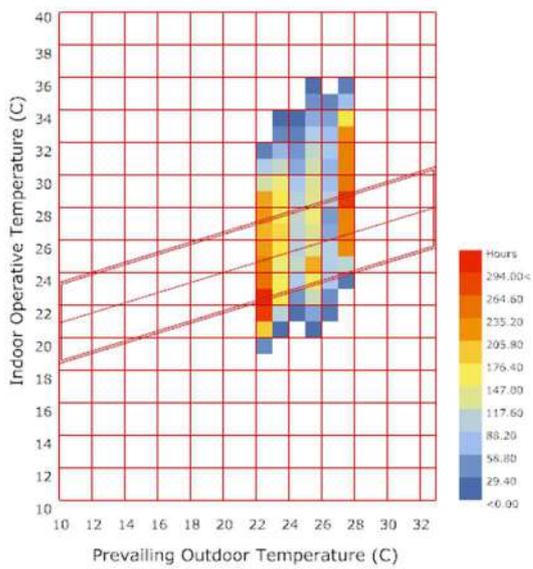
Código de Obras



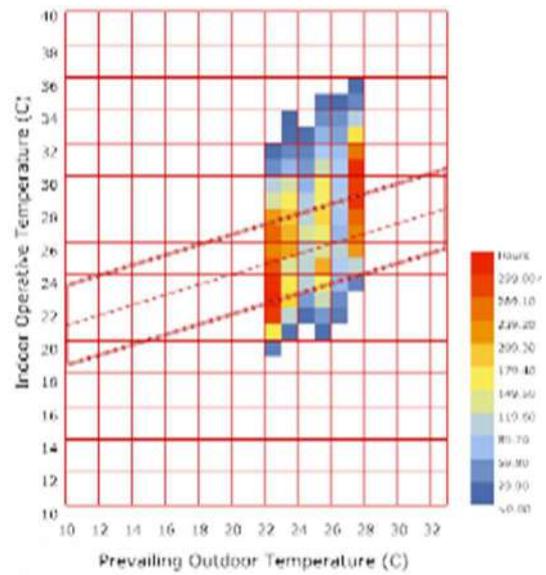
RTQ-R

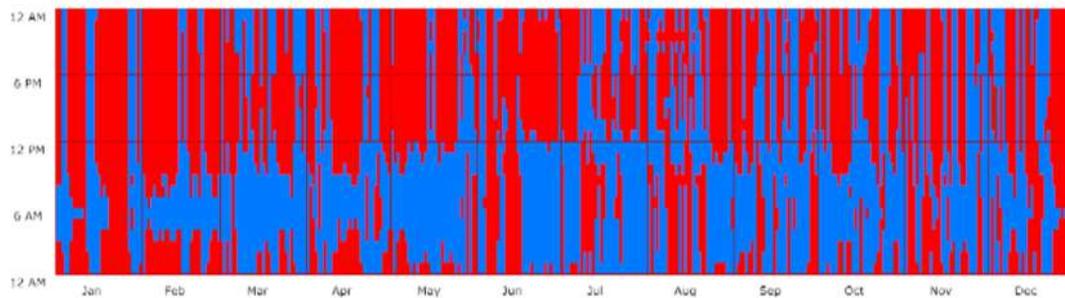
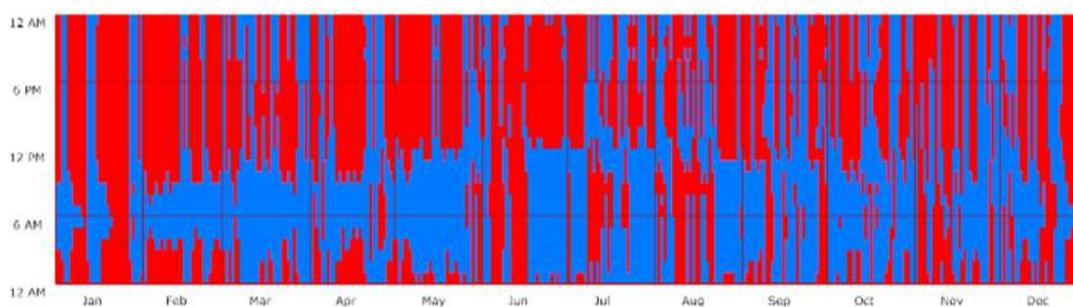
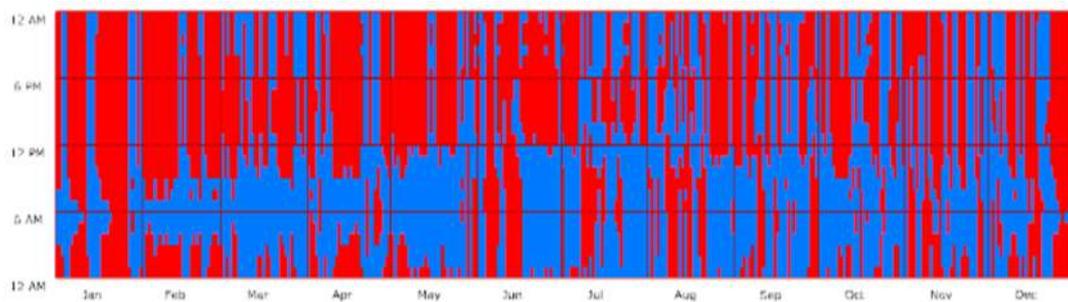
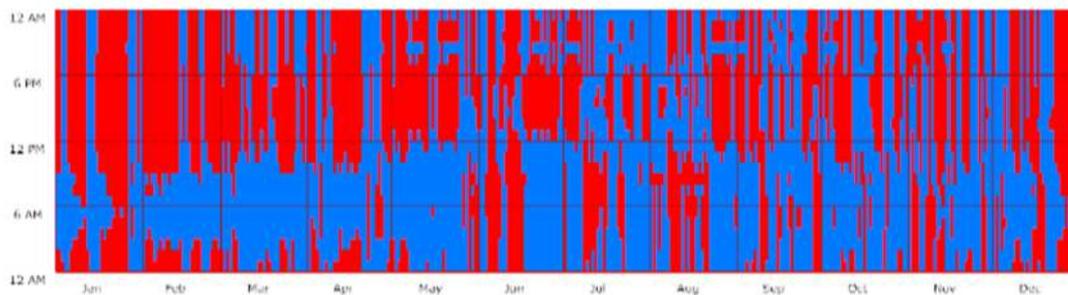


NBR 15.575



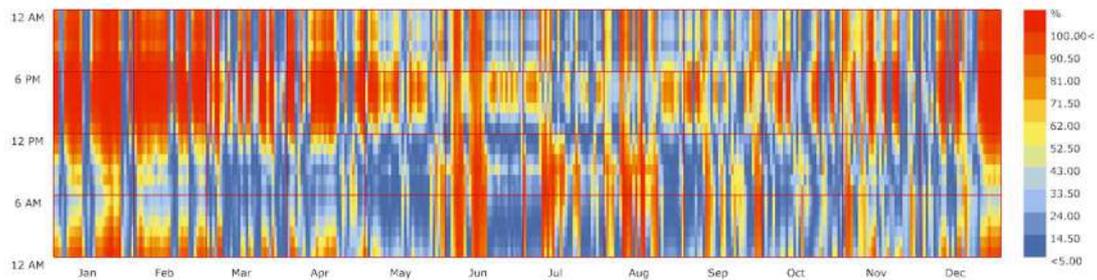
Galapagos



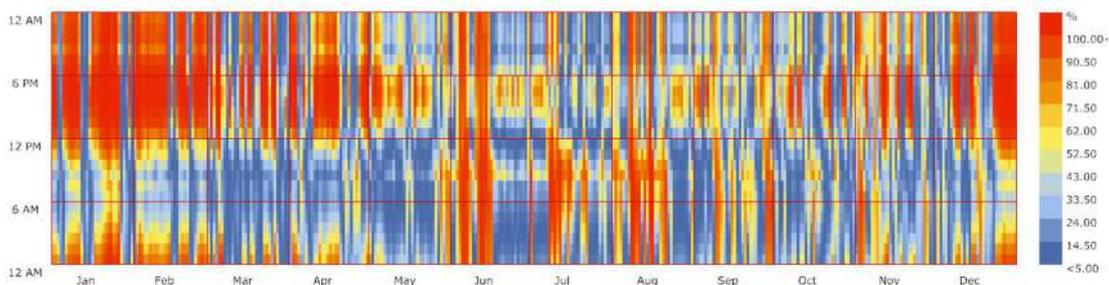
AMBIENTE – GRÁFICO SENSAÇÃO DE CONFORTÁVEL OU NÃO - LESTE**Código de Obras****NBR 15.575****RTQ-R****Galapagos**

AMBIENTE – GRÁFICO DE PERCENTUAL DE PESSOAS INSATISFEITAS – LESTE

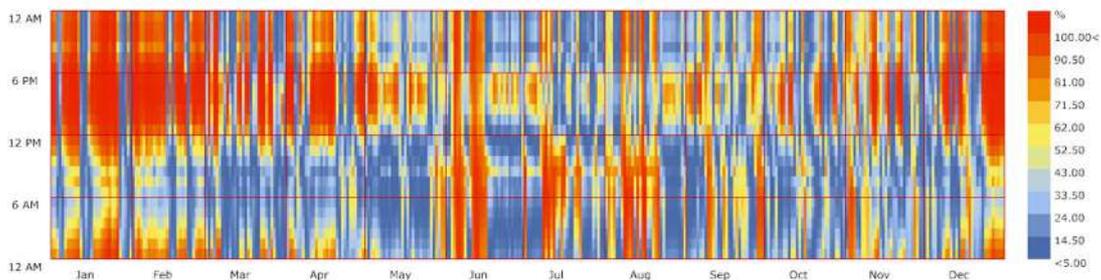
Código de Obras



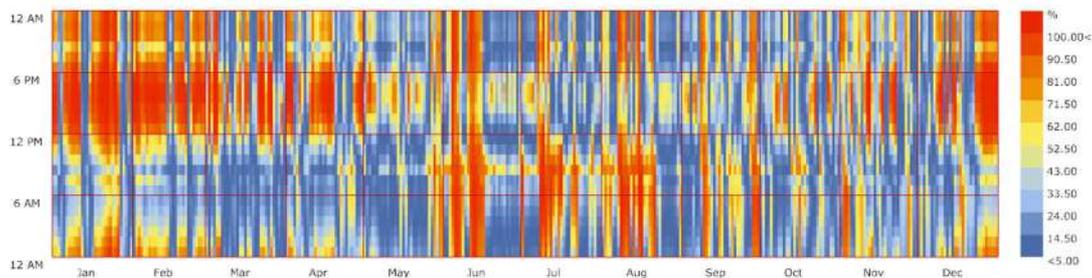
NBR 15.575



RTQ-R



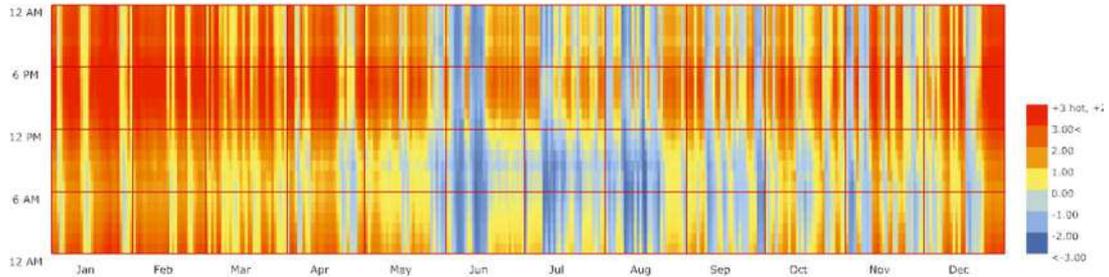
Galapagos



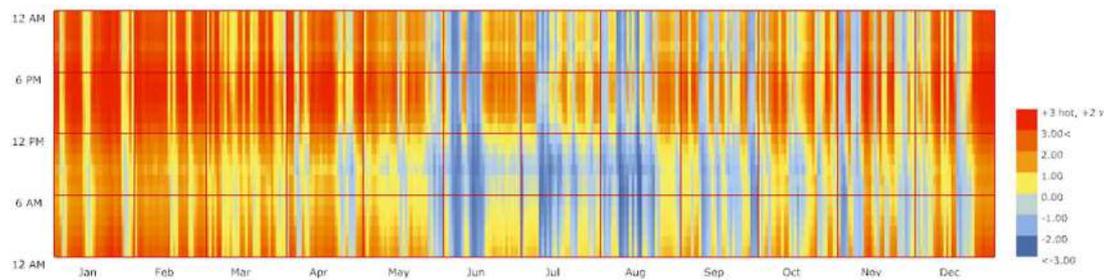
AMBIENTE – GRÁFICO DE VOTO MÉDIO PREVISTO – LESTE

+3 hot, +2 warm, +1 slightly warm, 0 neutral, -1 slightly cool, -2 cool, -3 cold

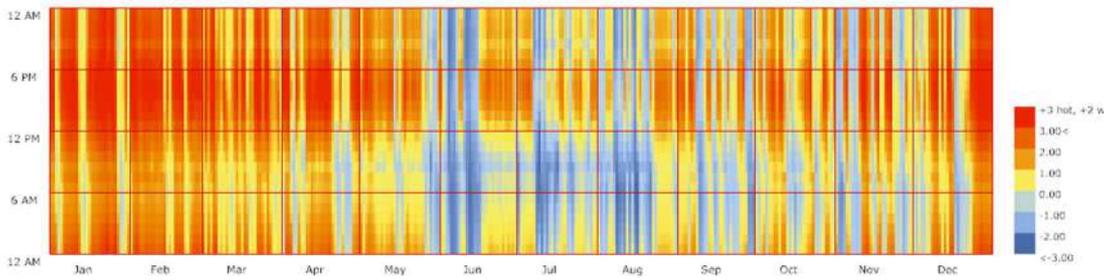
Código de Obras



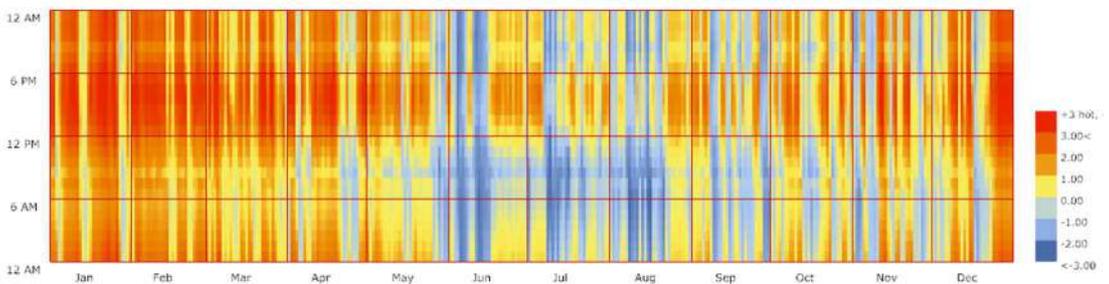
NBR 15.575

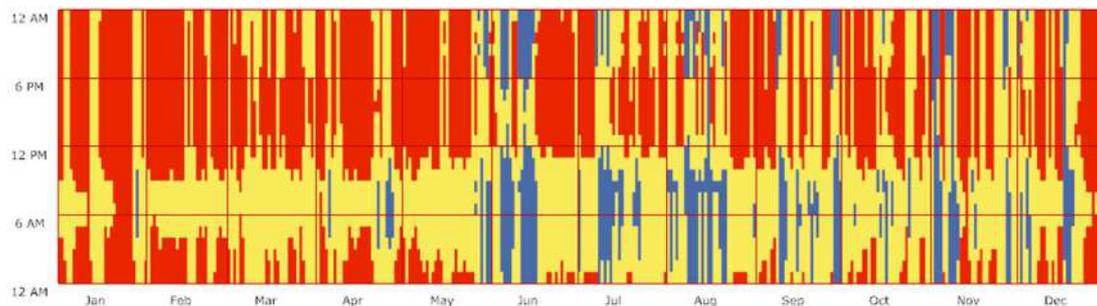
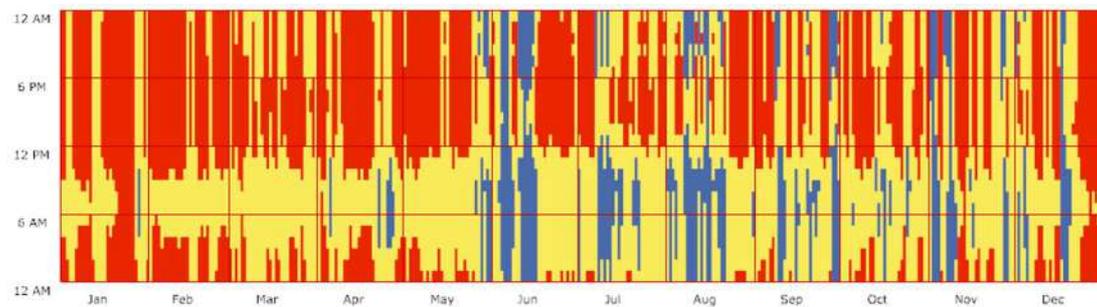
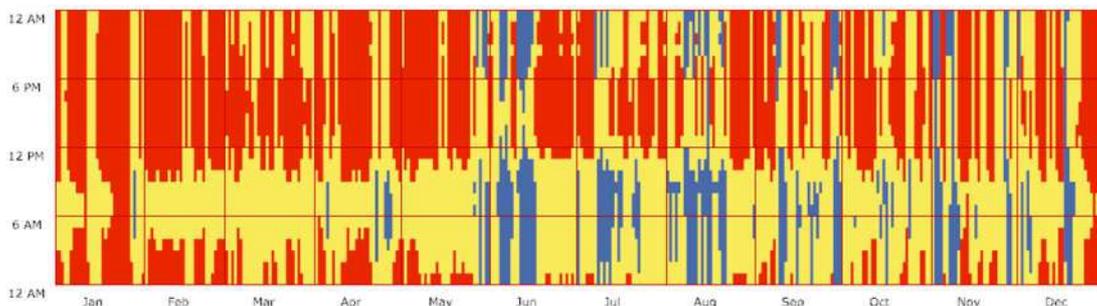
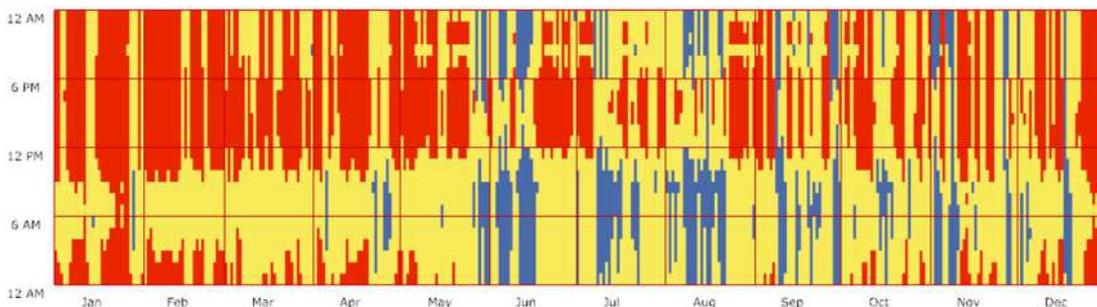


RTQ-R



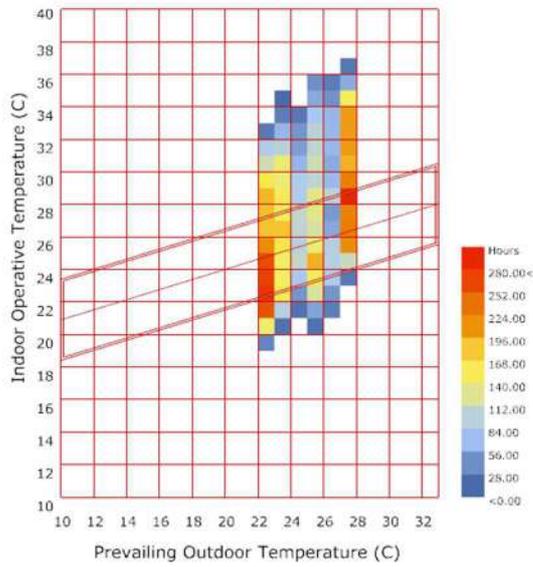
Galapagos



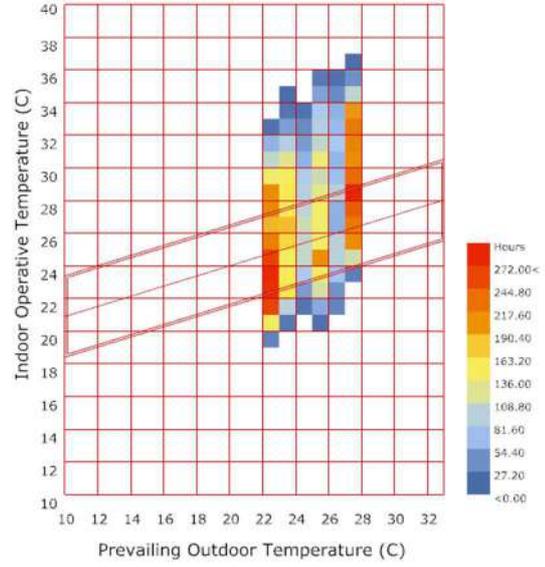
AMBIENTE – GRÁFICO DE CONDIÇÃO DA PESSOA – NORTE**Código de Obras****NBR 15.575****RTQ-R****Galapagos**

AMBIENTE – QUADRO DE CONFORTO ADAPTATIVO – NORTE

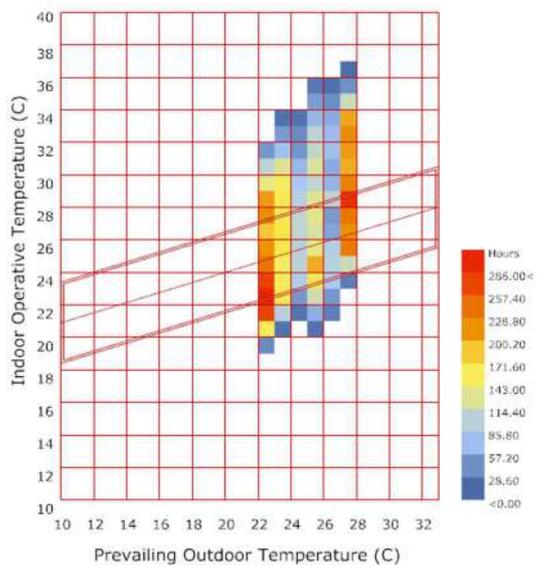
Código de Obras



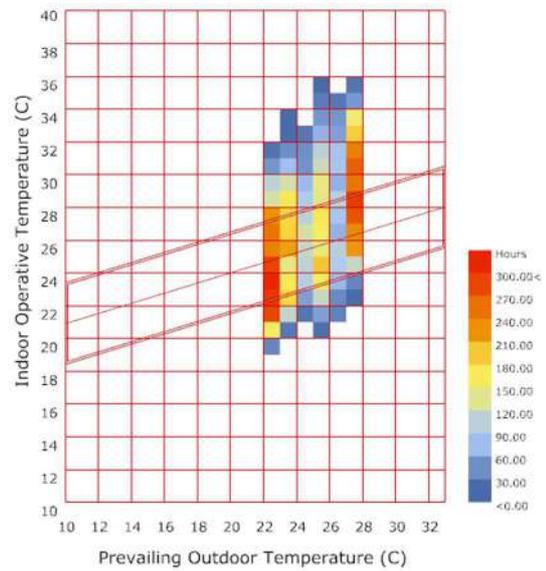
RTQ-R



NBR 15.575



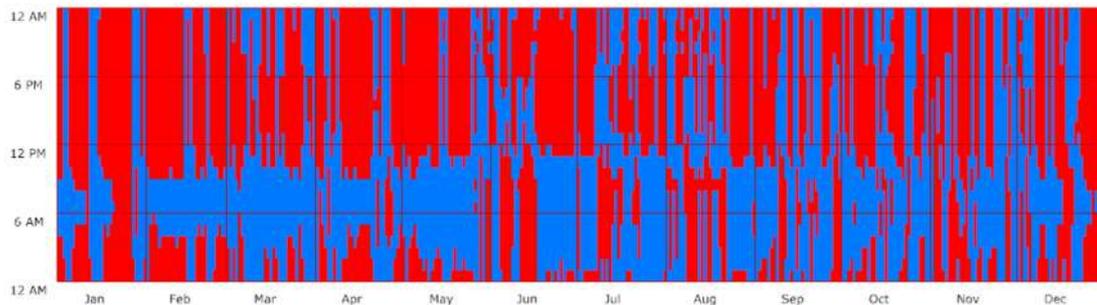
Galapagos



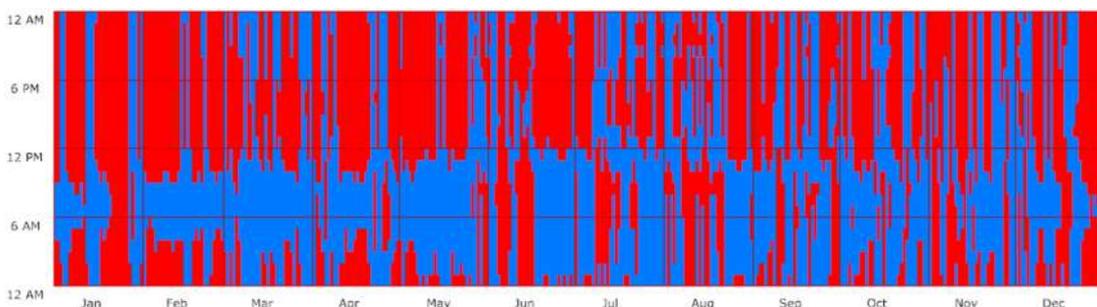
AMBIENTE – GRÁFICO SENSAÇÃO DE CONFORTÁVEL OU NÃO - NORTE



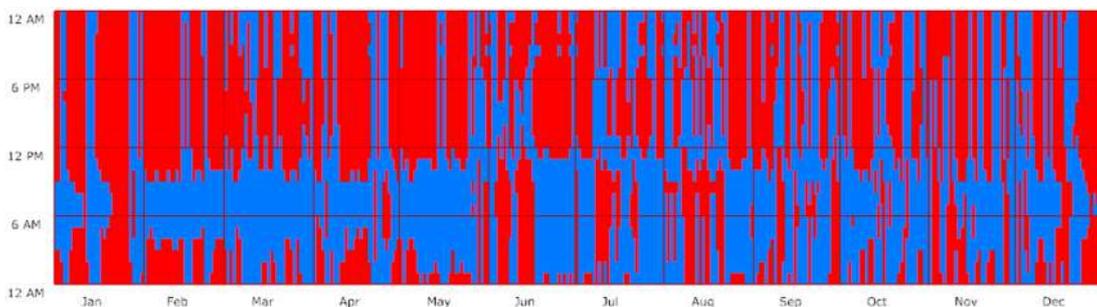
Código de Obras



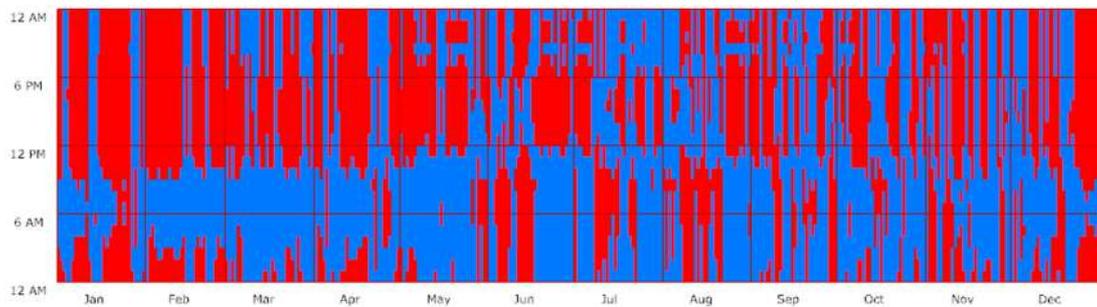
NBR 15.575



RTQ-R

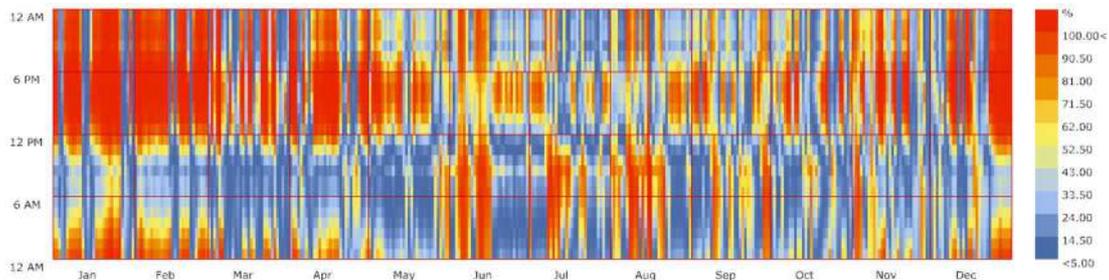


Galapagos

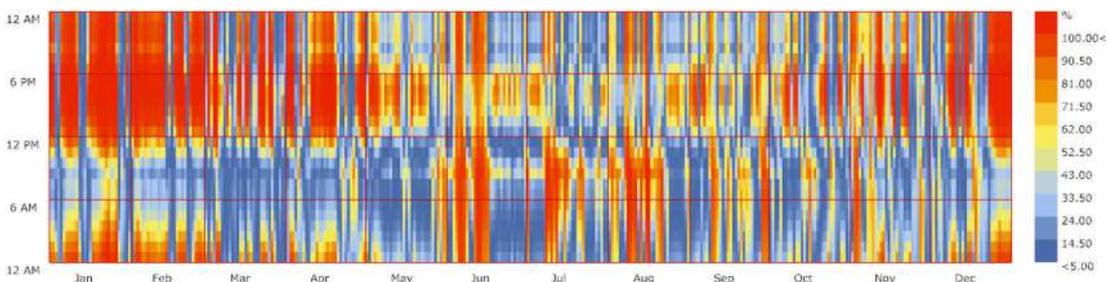


AMBIENTE – GRÁFICO DE PERCENTUAL DE PESSOAS INSATISFEITAS – NORTE

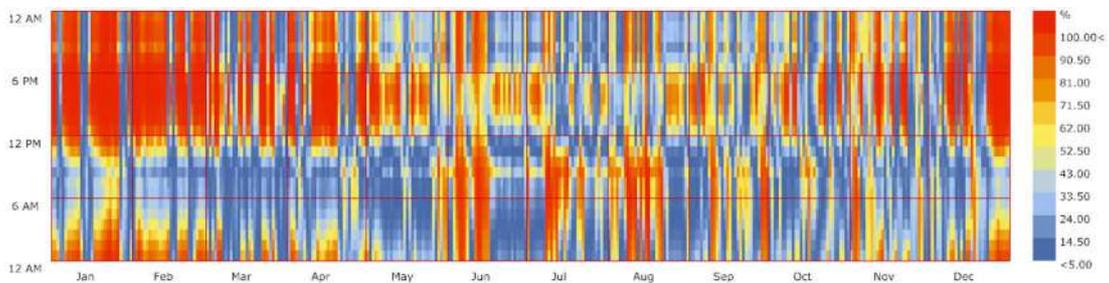
Código de Obras



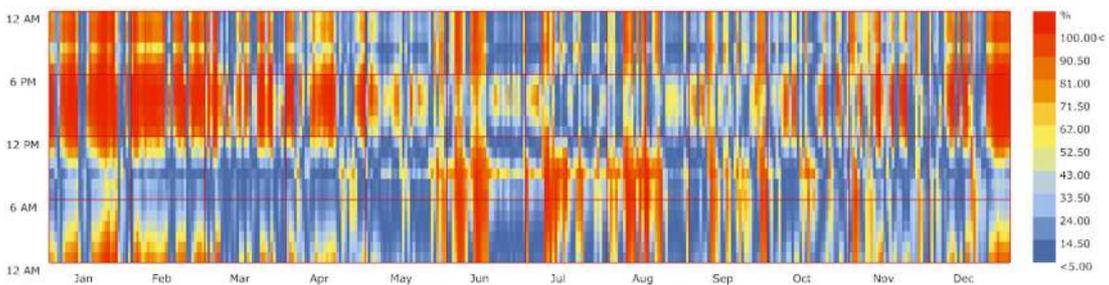
NBR 15.575



RTQ-R



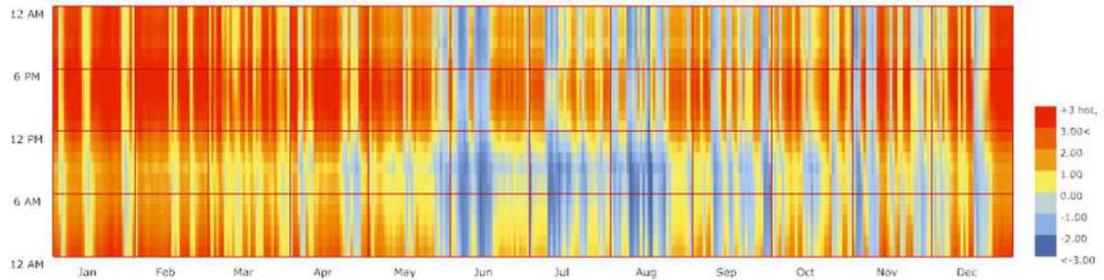
Galapagos



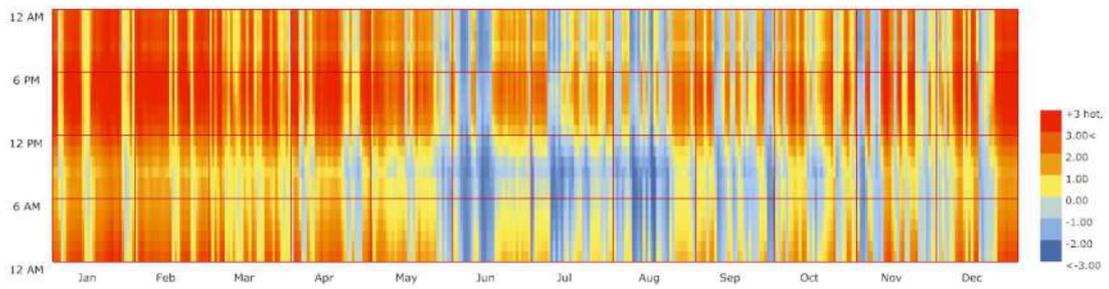
AMBIENTE – GRÁFICO DE VOTO MÉDIO PREVISTO – NORTE

+3 hot, +2 warm, +1 slightly warm, 0 neutral, -1 slightly cool, -2 cool, -3 cold

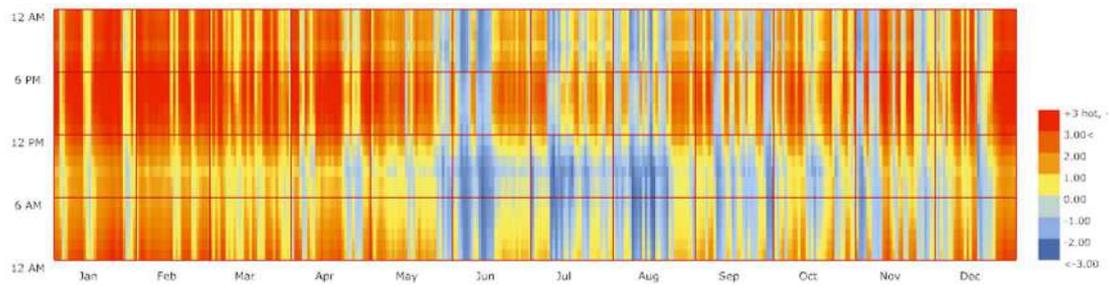
Código de Obras



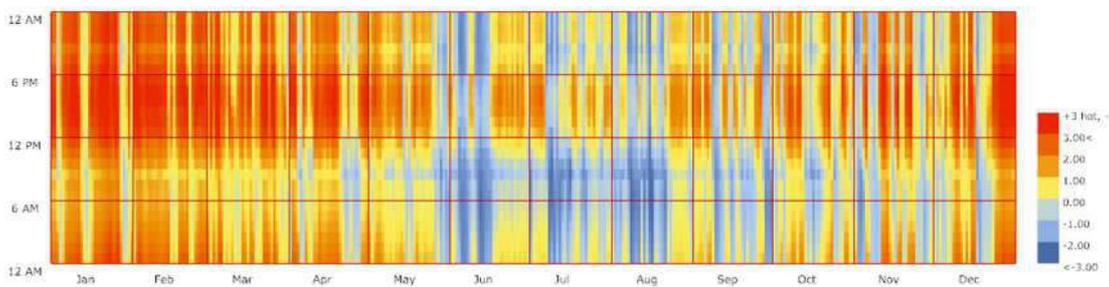
NBR 15.575

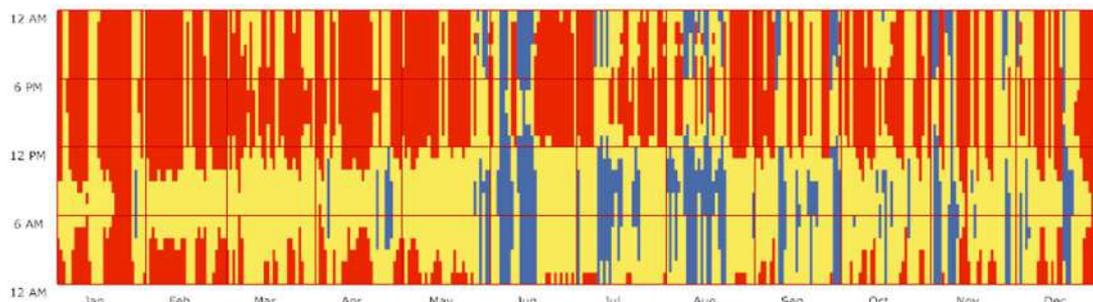
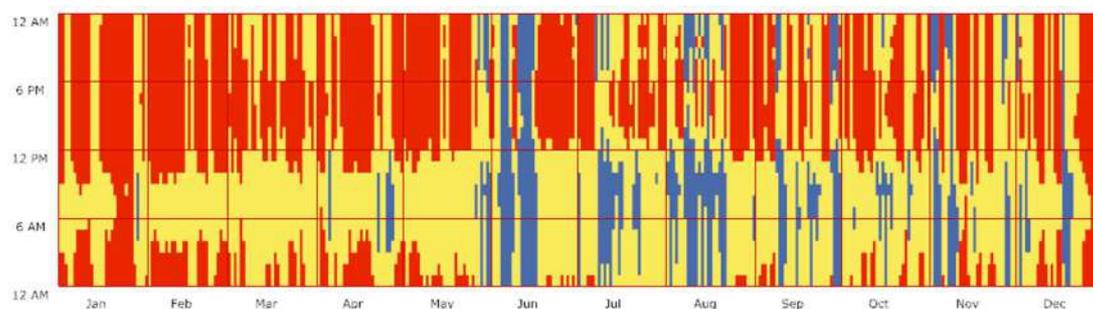
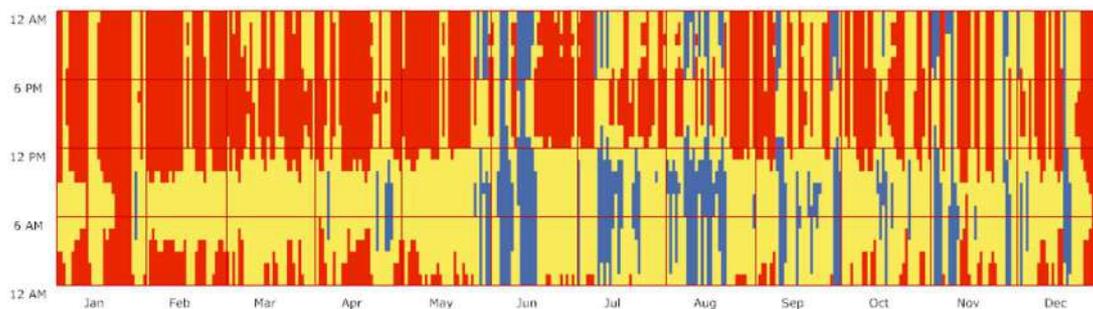
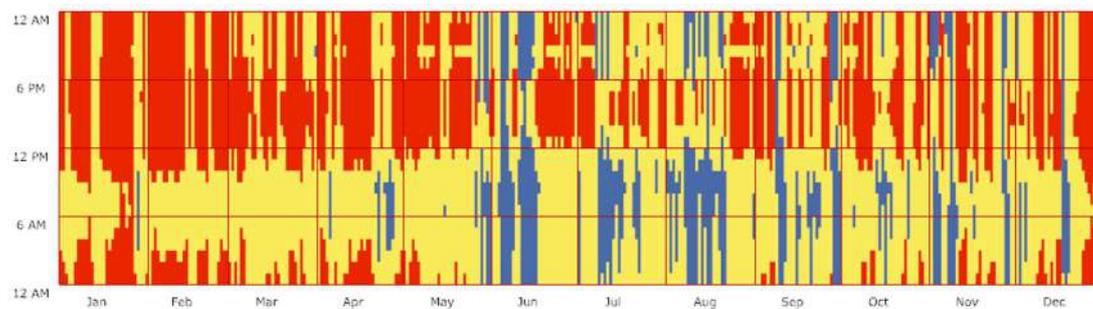


RTQ-R



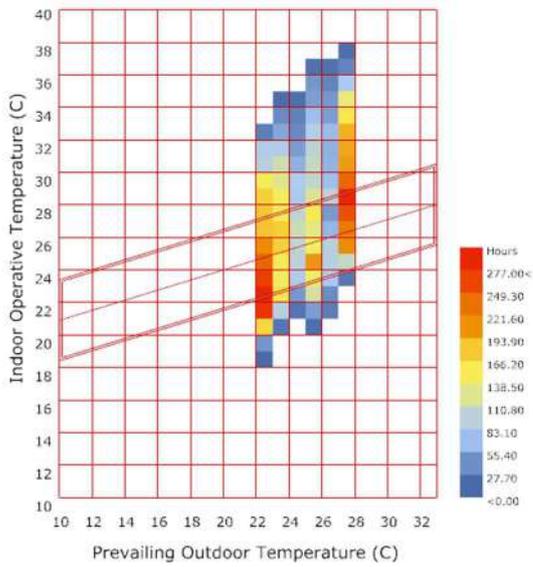
Galapagos



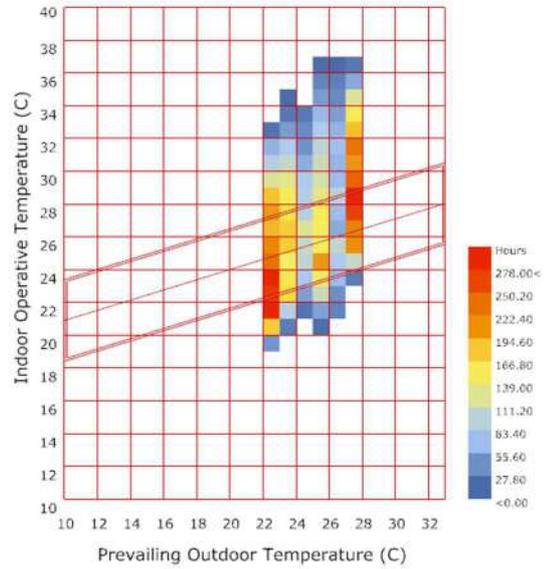
AMBIENTE – GRÁFICO DE CONDIÇÃO DA PESSOA – OESTE**Código de Obras****NBR 15.575****RTQ-R****Galapagos**

AMBIENTE – QUADRO DE CONFORTO ADAPTATIVO – OESTE

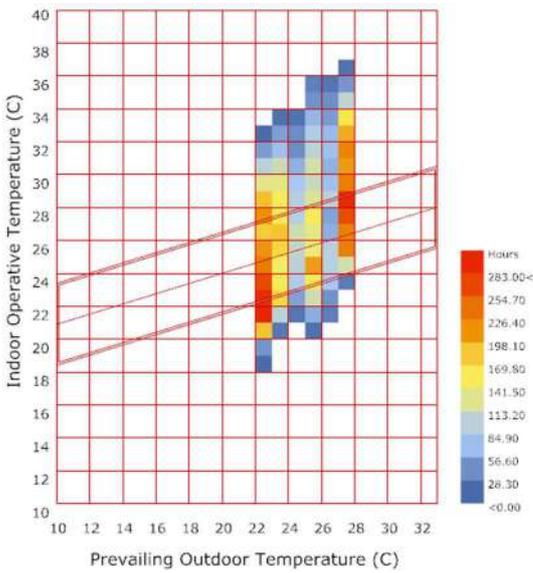
Código de Obras



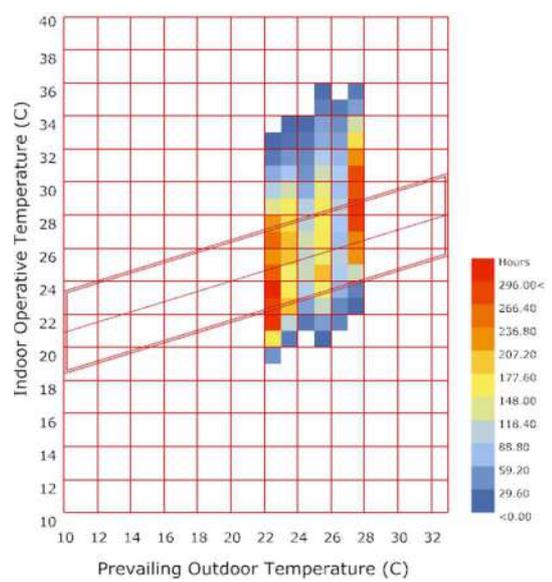
RTQ-R

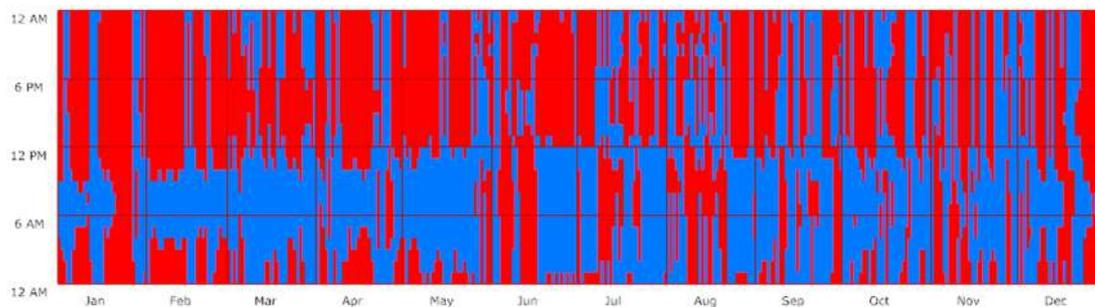
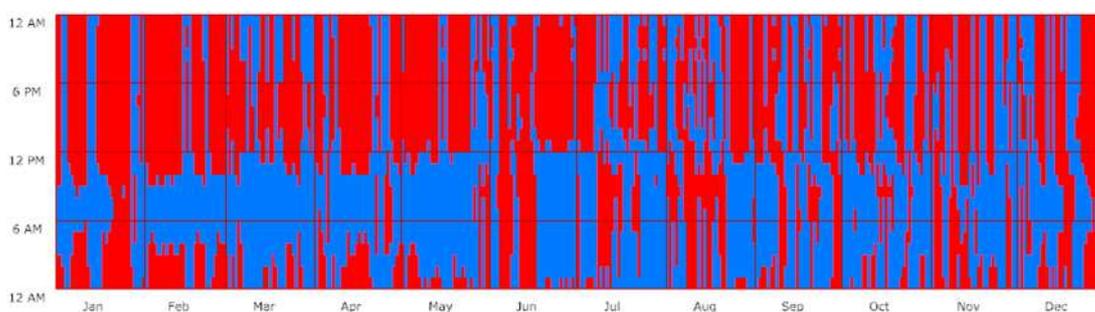
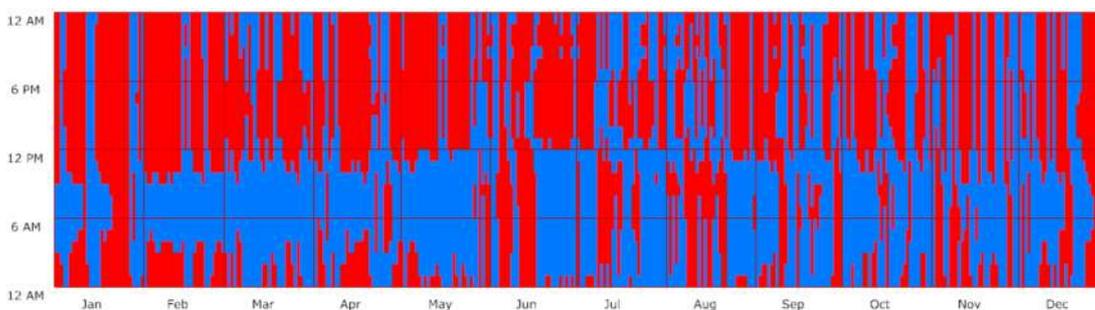
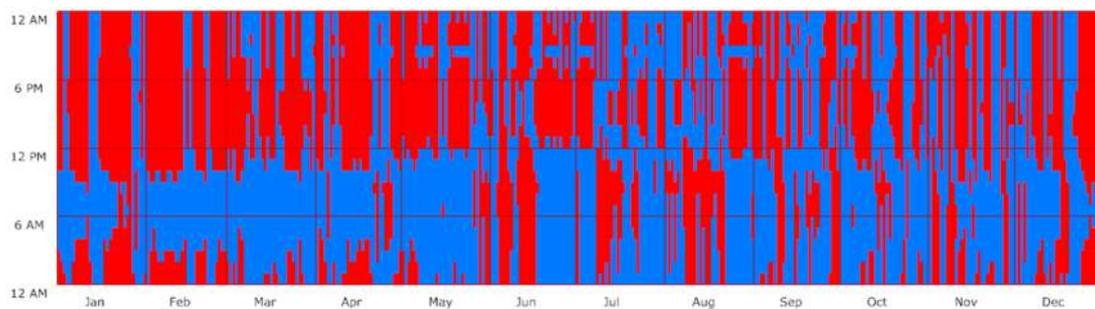


NBR 15.575



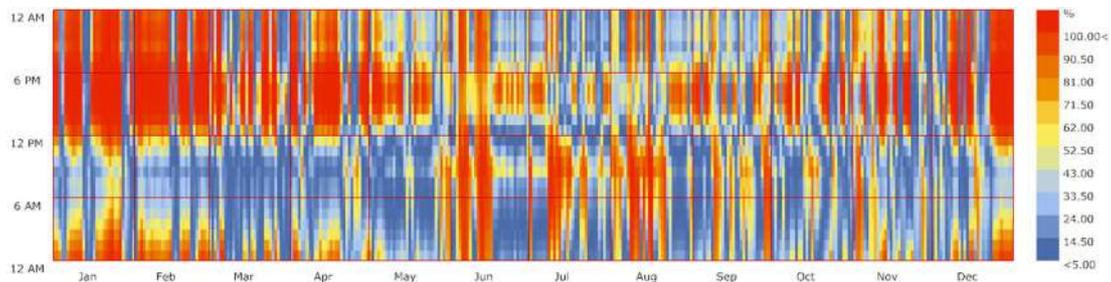
Galapagos



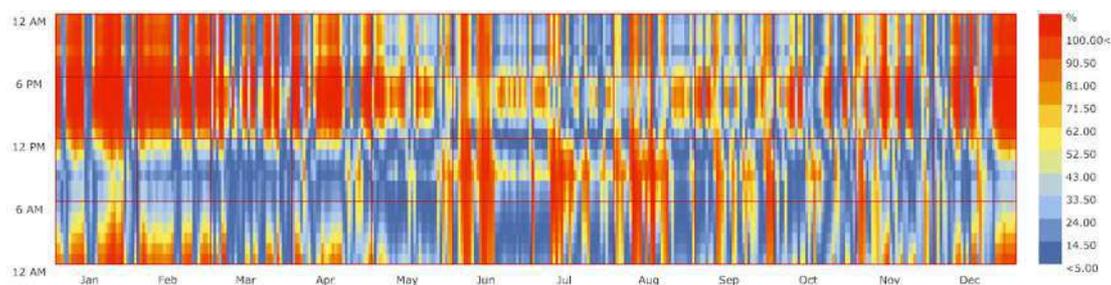
AMBIENTE – GRÁFICO SENSAÇÃO DE CONFORTÁVEL OU NÃO - OESTE**Código de Obras****NBR 15.575****RTQ-R****Galapagos**

AMBIENTE – GRÁFICO DE PERCENTUAL DE PESSOAS INSATISFEITAS – OESTE

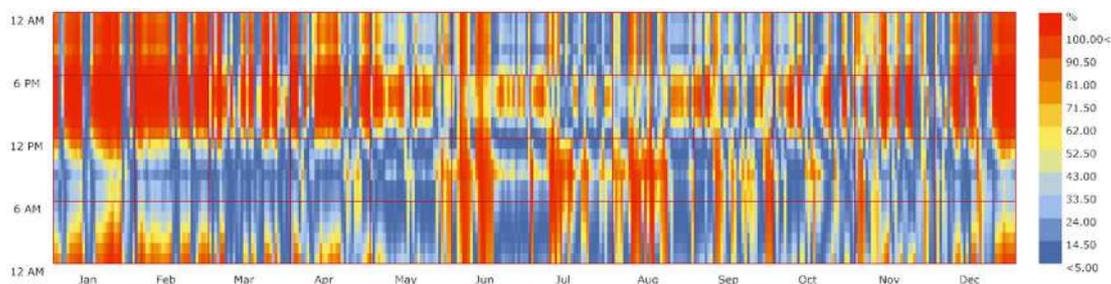
Código de Obras



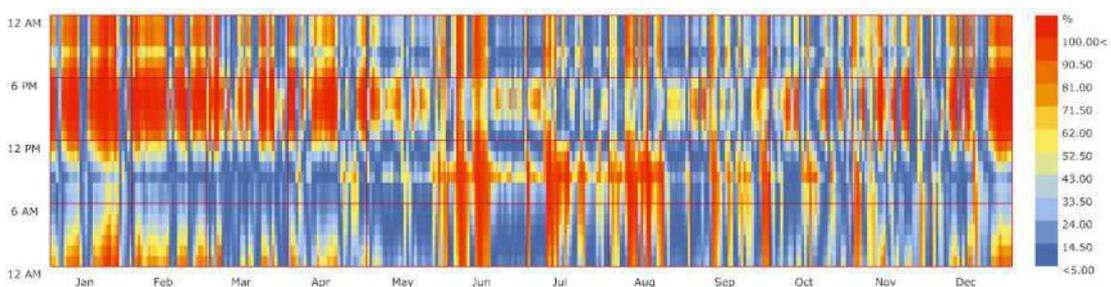
NBR 15.575



RTQ-R



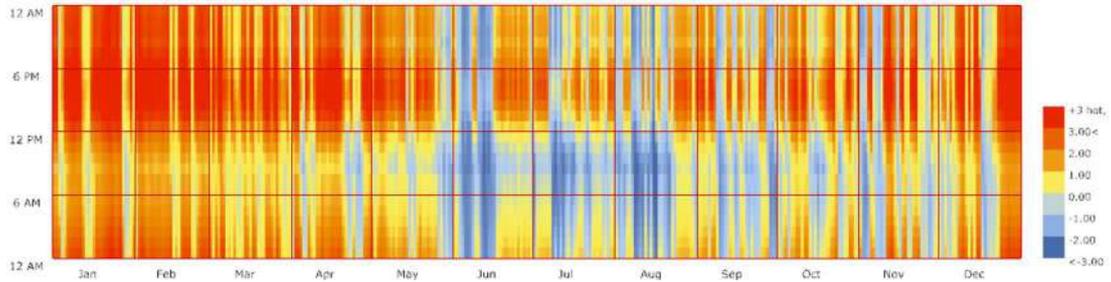
Galapagos



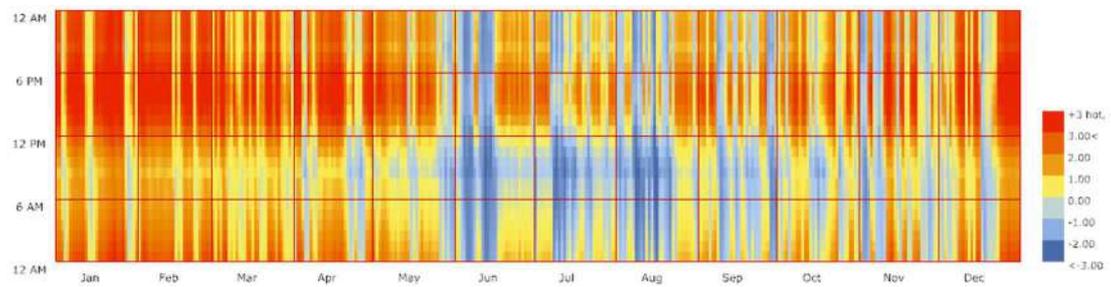
AMBIENTE – GRÁFICO DE VOTO MÉDIO PREVISTO – OESTE

+3 hot, +2 warm, +1 slightly warm, 0 neutral, -1 slightly cool, -2 cool, -3 cold

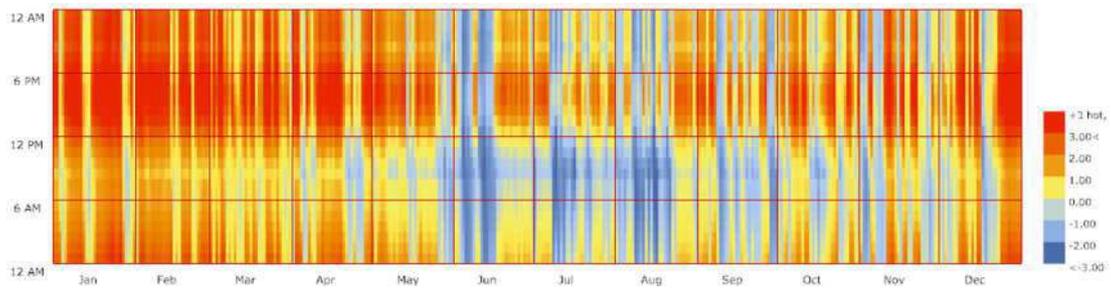
Código de Obras



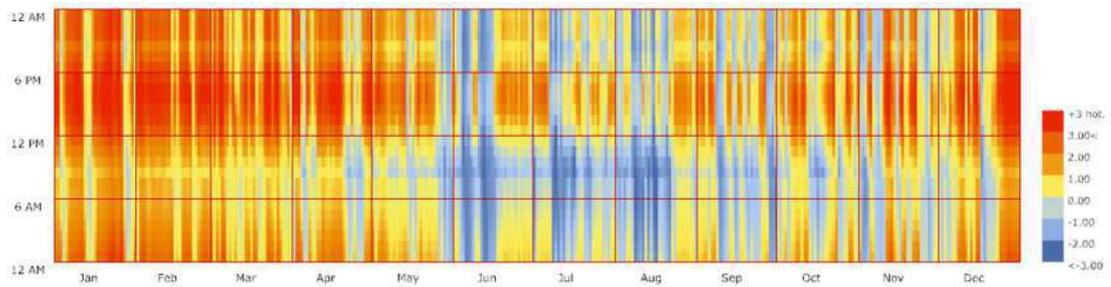
NBR 15.575

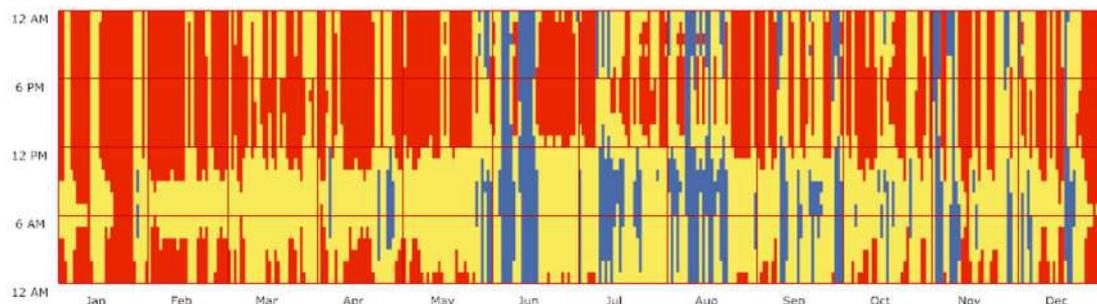
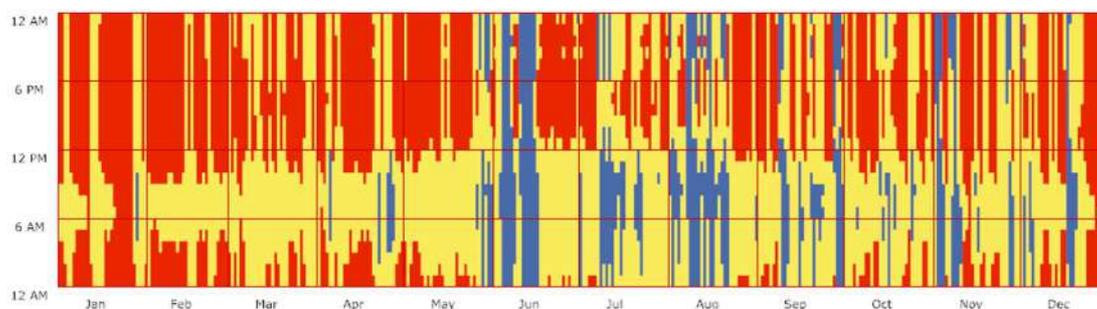
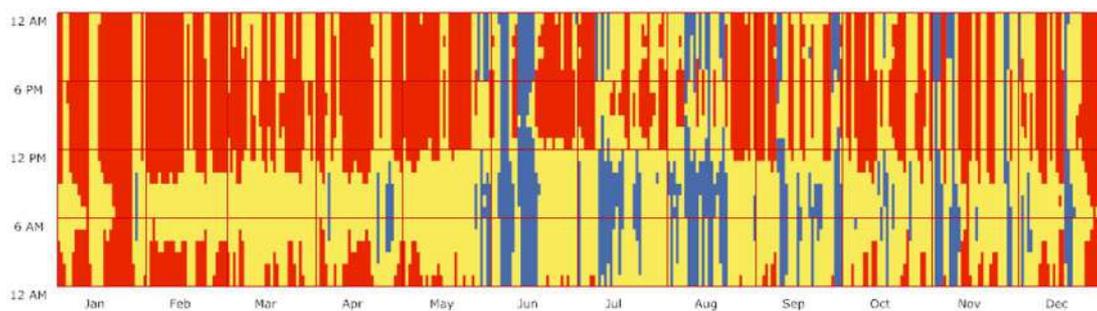
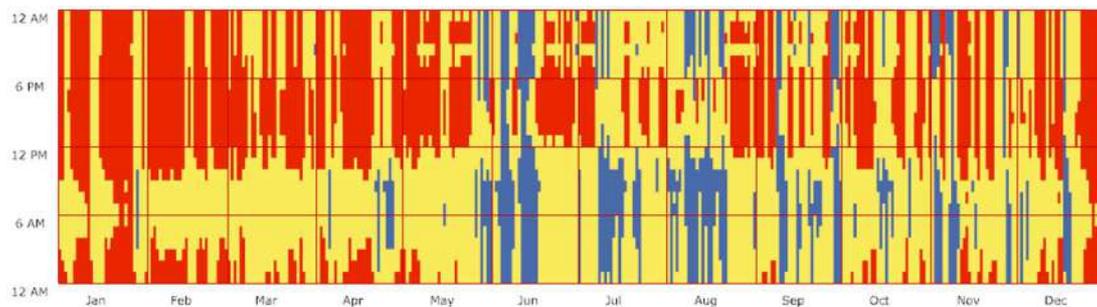


RTQ-R



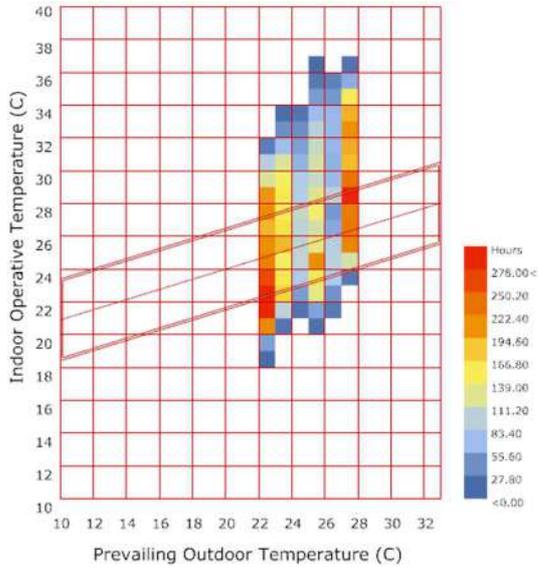
Galapagos



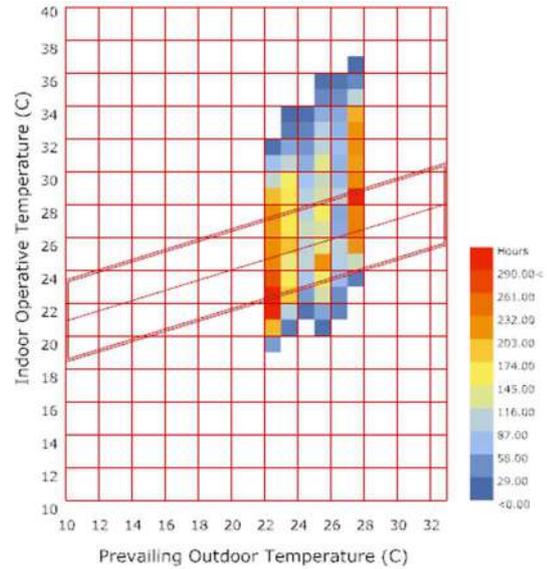
AMBIENTE – GRÁFICO DE CONDIÇÃO DA PESSOA – SUL**Código de Obras****NBR 15.575****RTQ-R****Galapagos**

AMBIENTE – QUADRO DE CONFORTO ADAPTATIVO – SUL

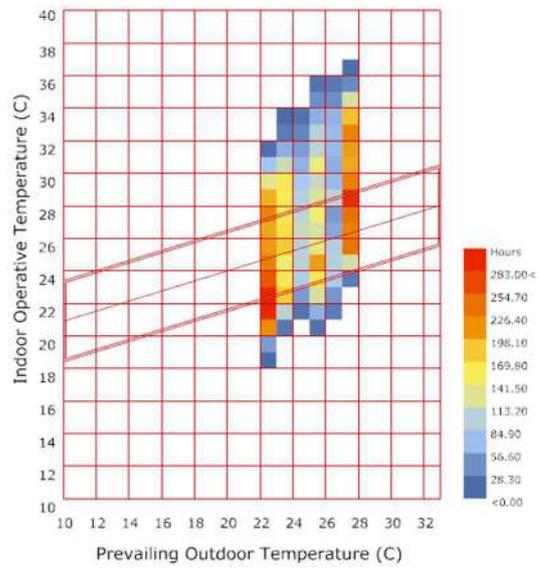
Código de Obras



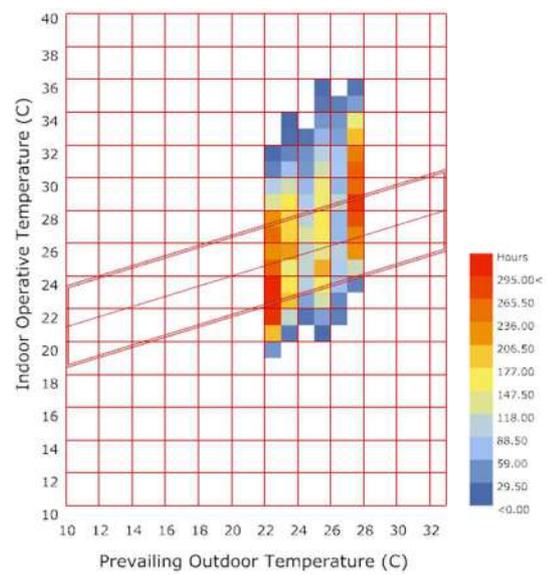
RTQ-R



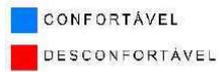
NBR 15.575



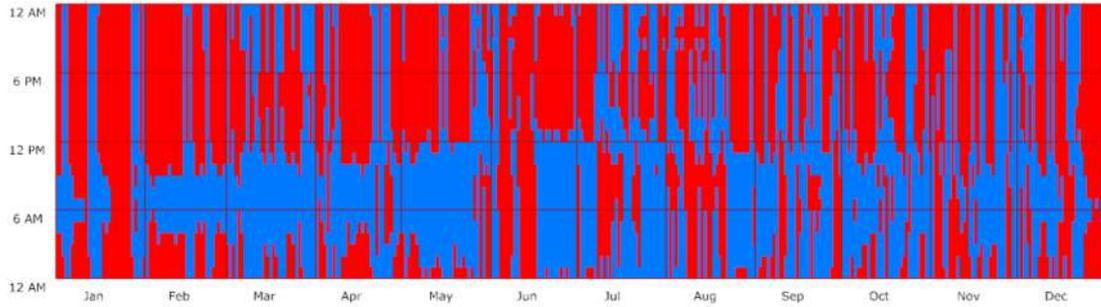
Galapagos



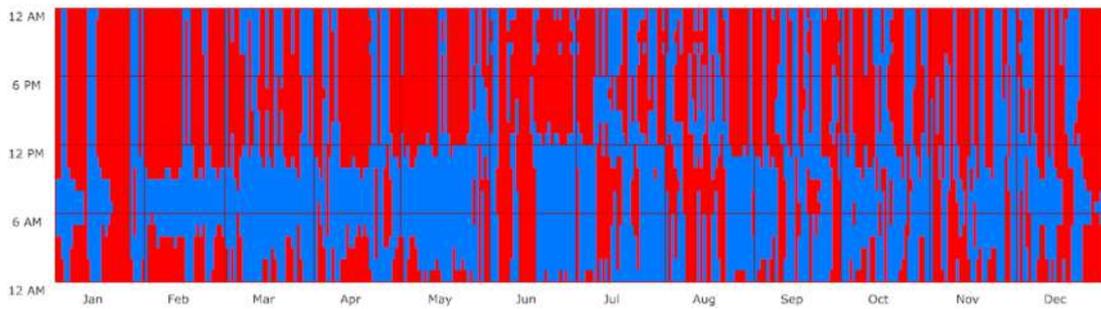
AMBIENTE – GRÁFICO SENSAÇÃO DE CONFORTÁVEL OU NÃO - SUL



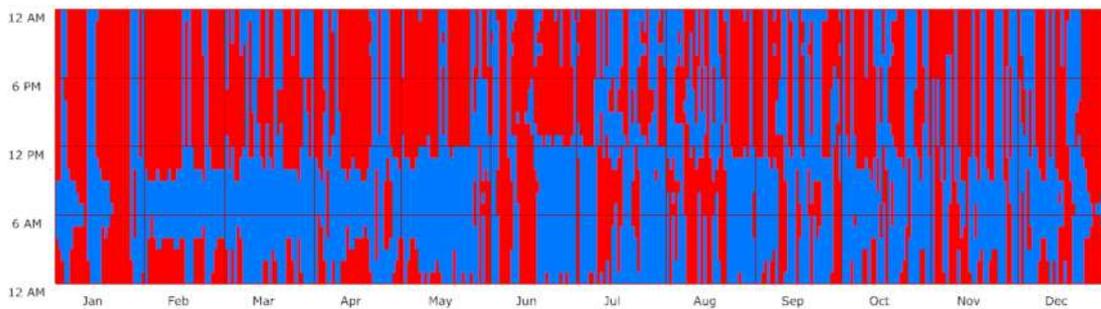
Código de Obras



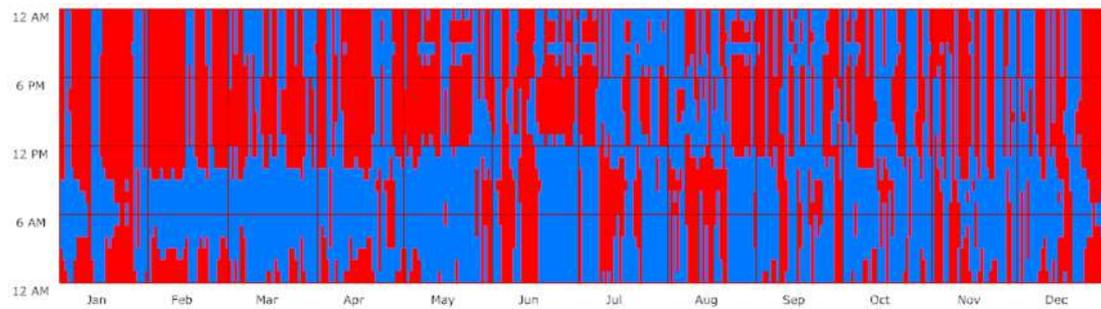
NBR 15.575



RTQ-R

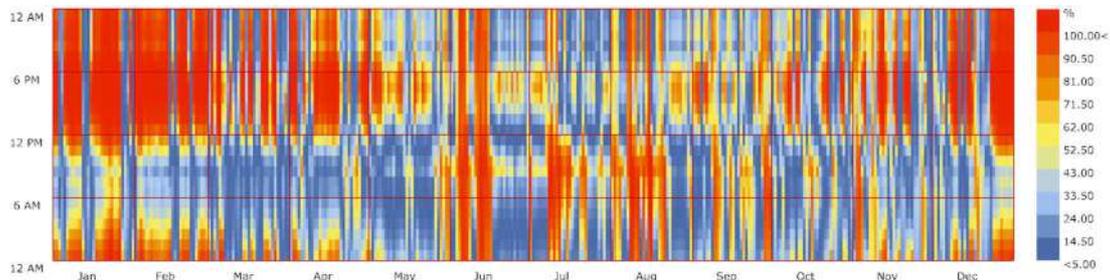


Galapagos

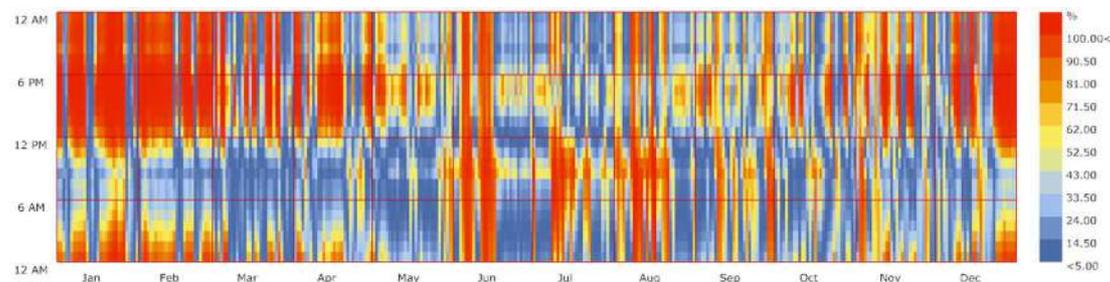


AMBIENTE – GRÁFICO DE PERCENTUAL DE PESSOAS INSATISFEITAS – SUL

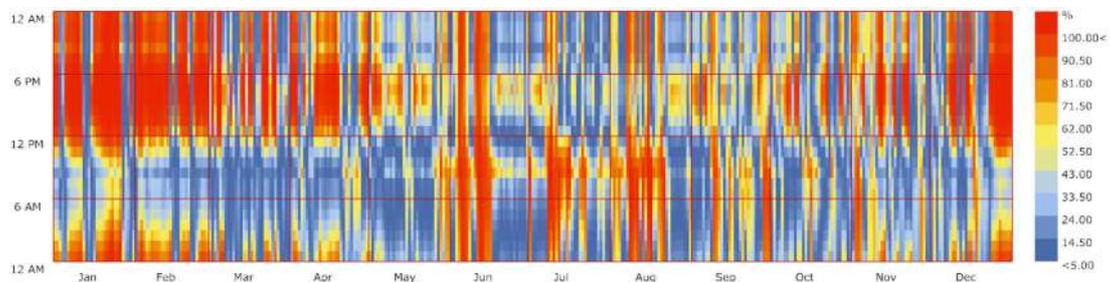
Código de Obras



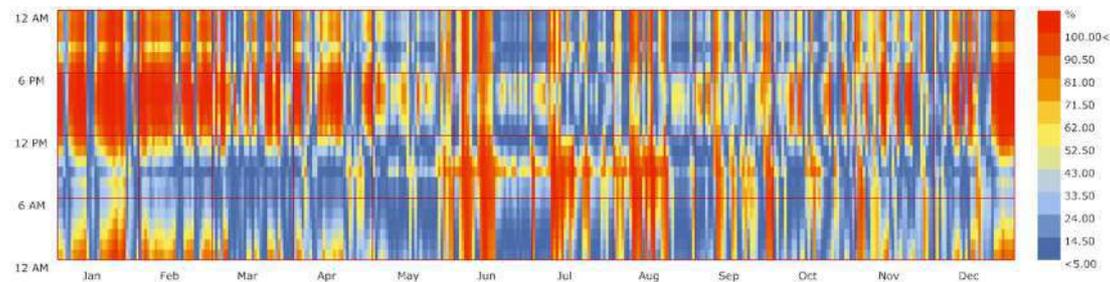
NBR 15.575



RTQ-R



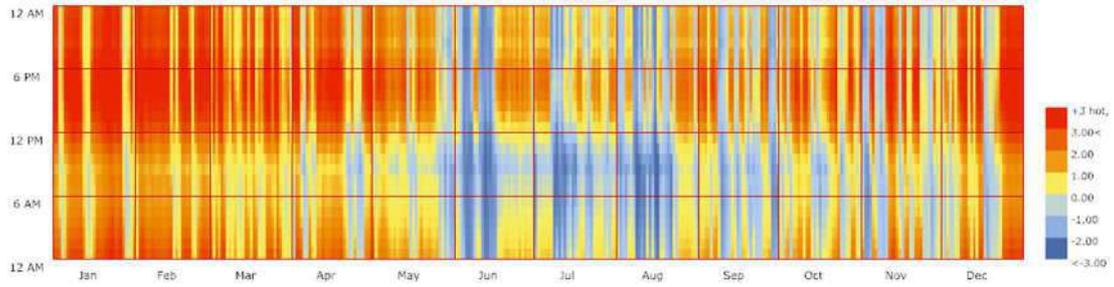
Galapagos



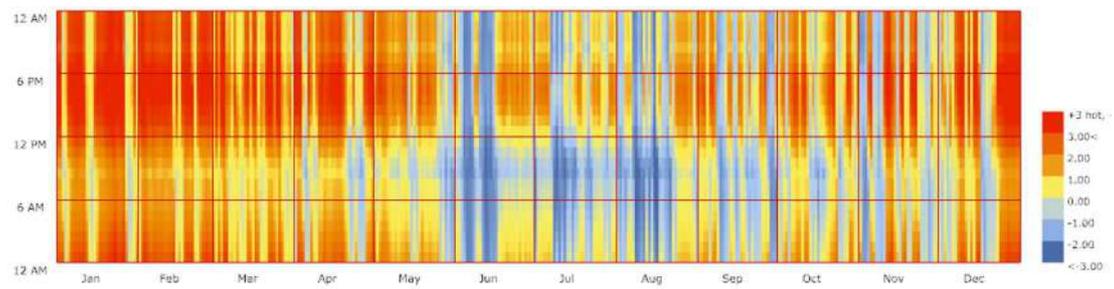
AMBIENTE – GRÁFICO DE VOTO MÉDIO PREVISTO – SUL

+3 hot, +2 warm, +1 slightly warm, 0 neutral, -1 slightly cool, -2 cool, -3 cold

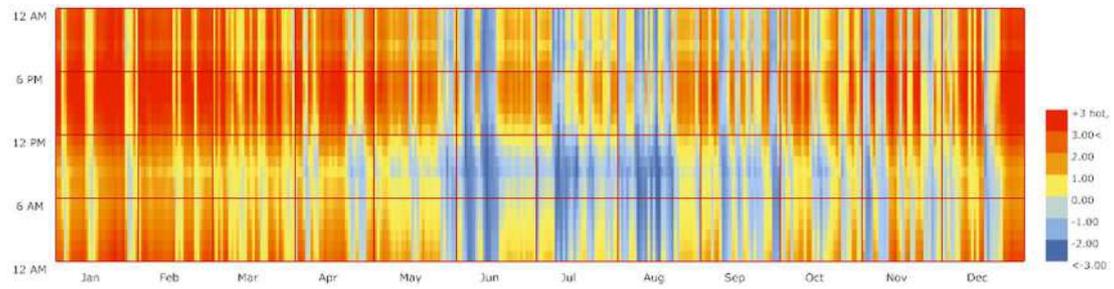
Código de Obras



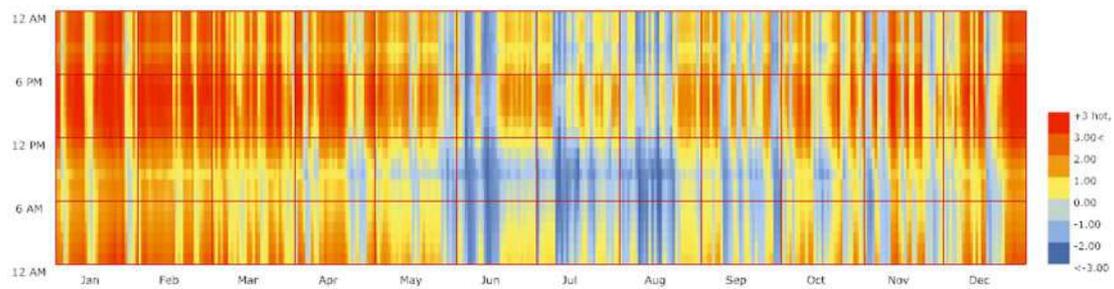
NBR 15.575

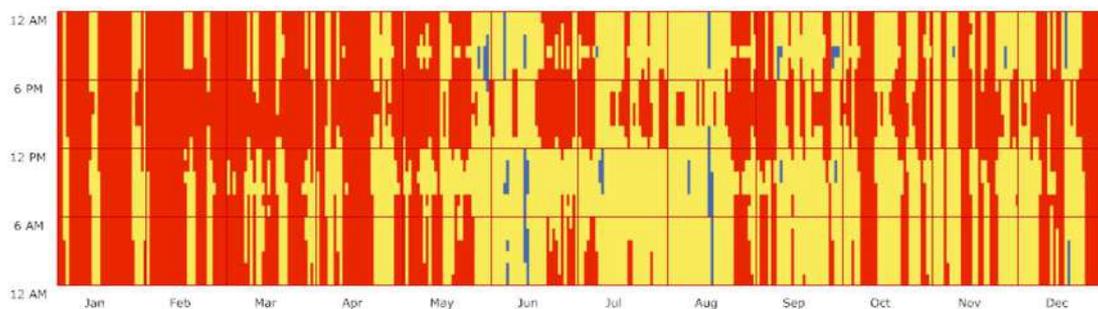
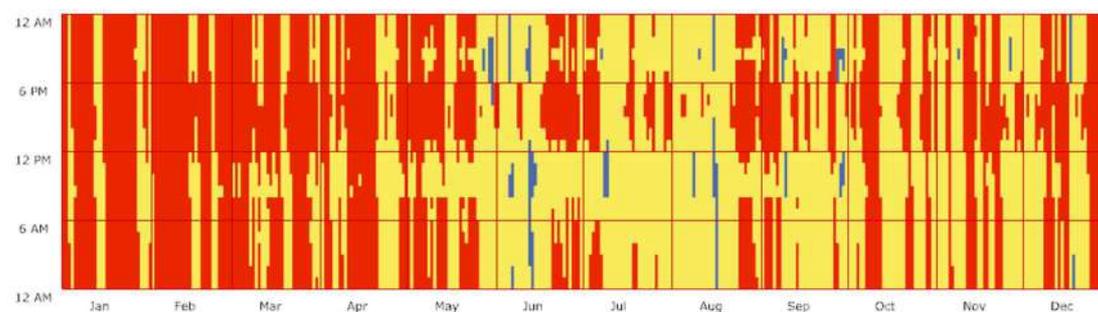
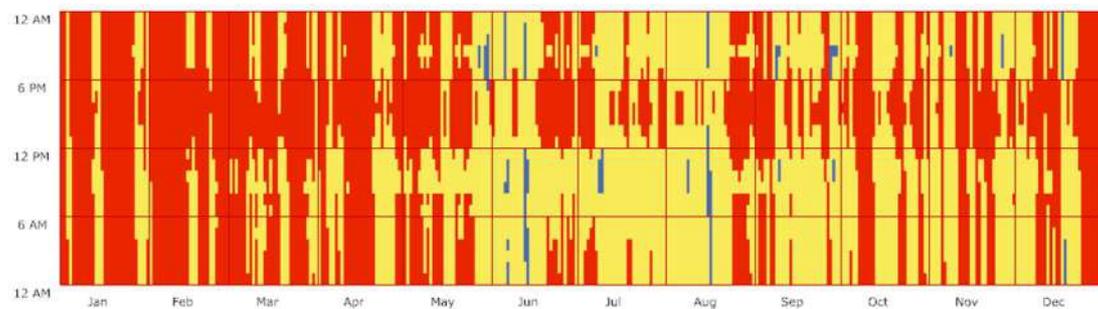


RTQ-R



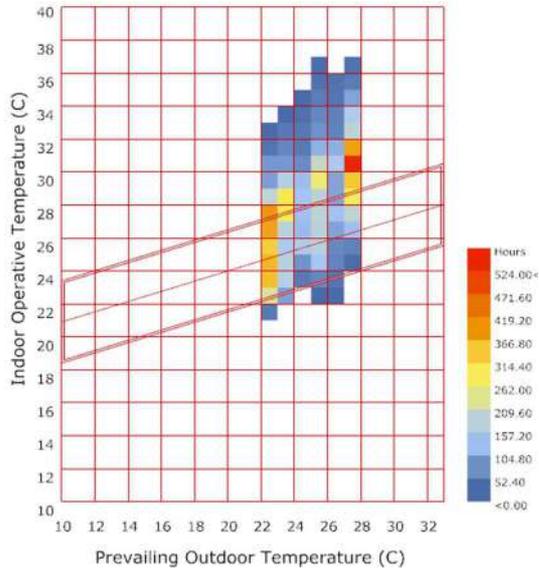
Galapagos



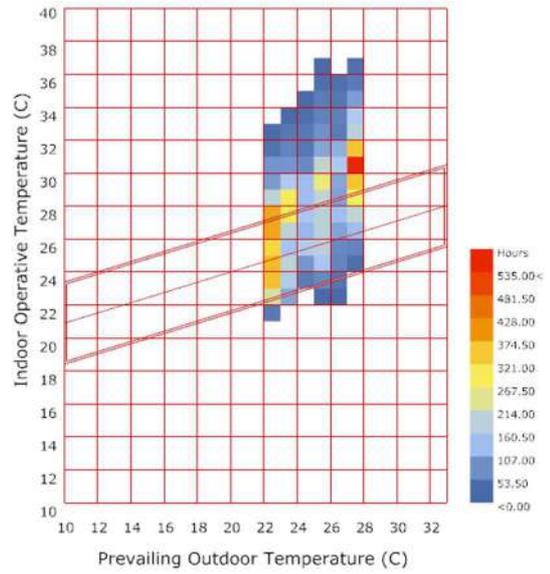
PRIMEIRO ANDAR – GRÁFICO DE CONDIÇÃO DA PESSOA – OESTE**Código de Obras****NBR 15.575****RTQ-R**

PRIMEIRO ANDAR – QUADRO DE CONFORTO ADAPTATIVO – OESTE

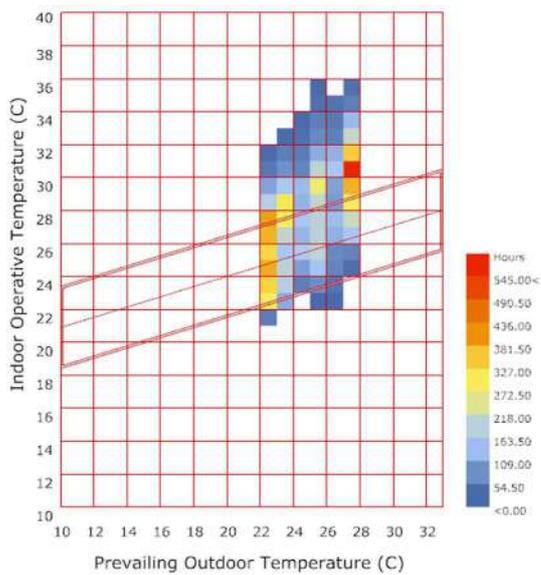
Código de Obras



RTQ-R



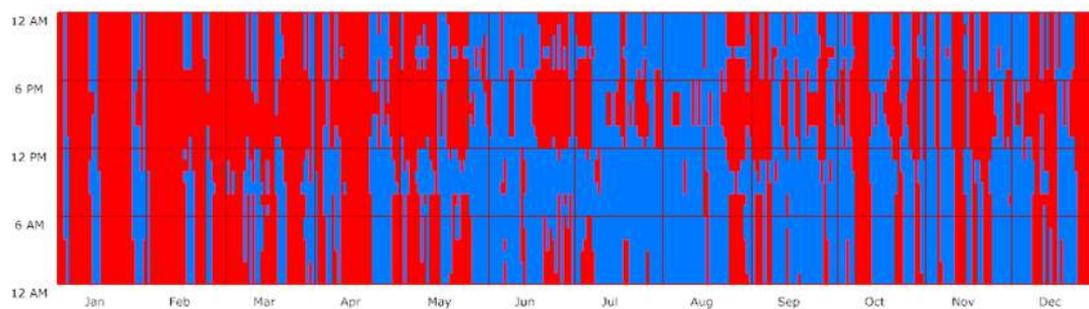
NBR 15.575



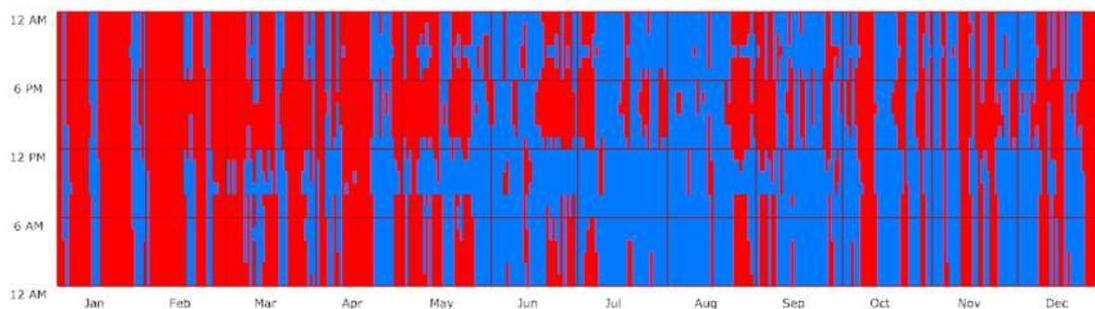
PRIMEIRO ANDAR – GRÁFICO SENSACÃO DE CONFORTÁVEL OU NÃO - OESTE



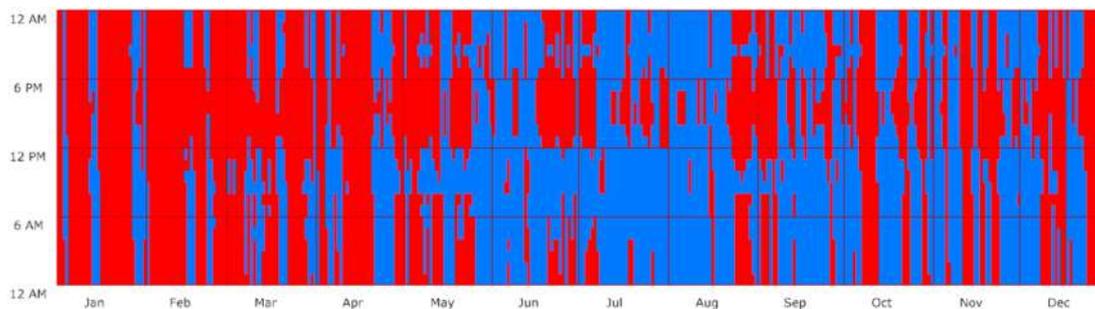
Código de Obras



NBR 15.575

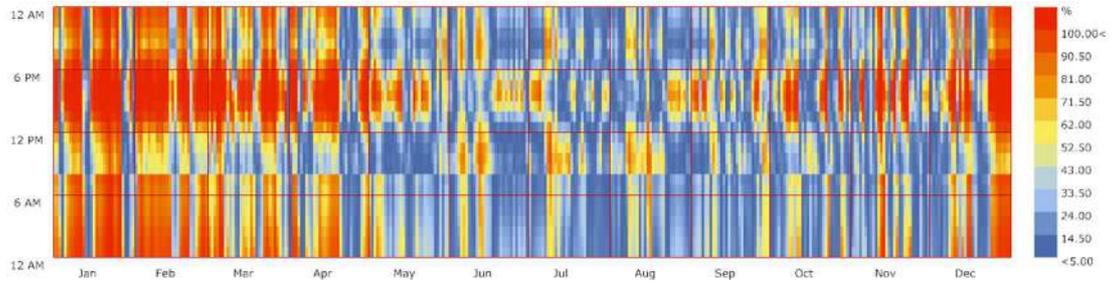


RTQ-R

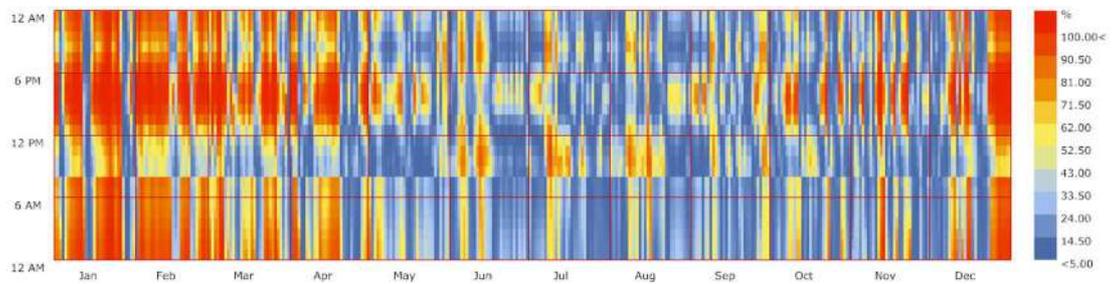


PRIMEIRO ANDAR – GRÁFICO DE PERCENTUAL DE PESSOAS INSATISFEITAS – OESTE

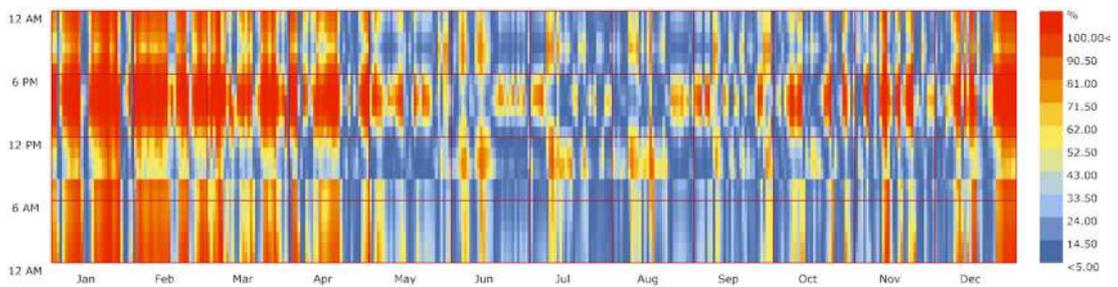
Código de Obras



NBR 15.575



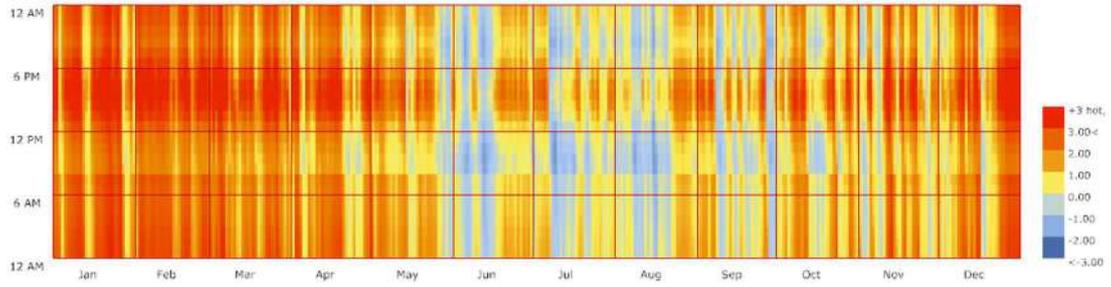
RTQ-R



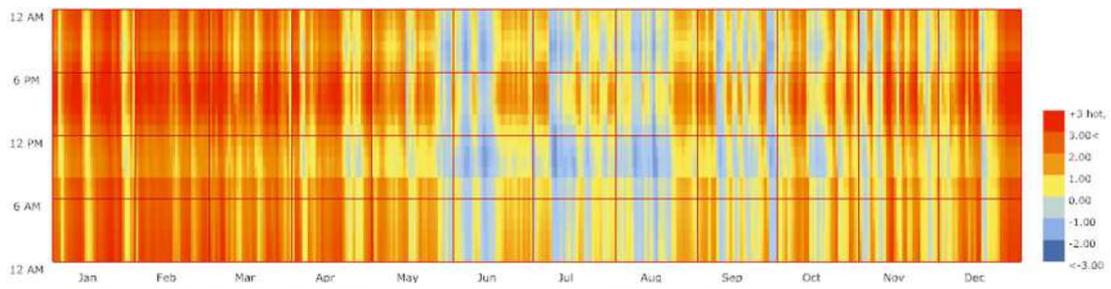
PRIMEIRO ANDAR – GRÁFICO DE VOTO MÉDIO PREVISTO – OESTE

+3 hot, +2 warm, +1 slightly warm, 0 neutral, -1 slightly cool, -2 cool, -3 cold

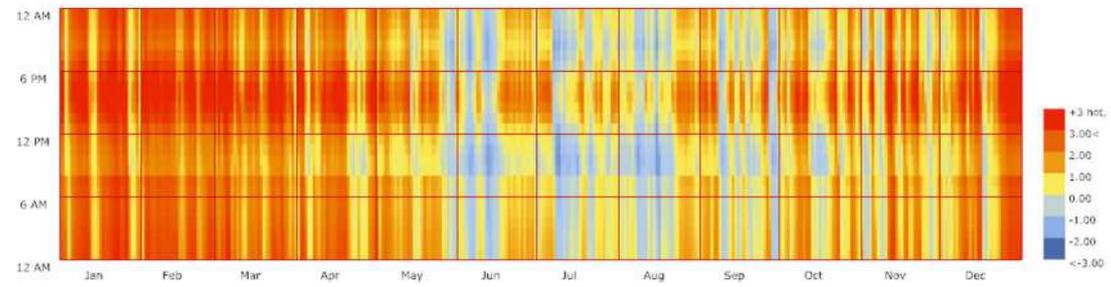
Código de Obras

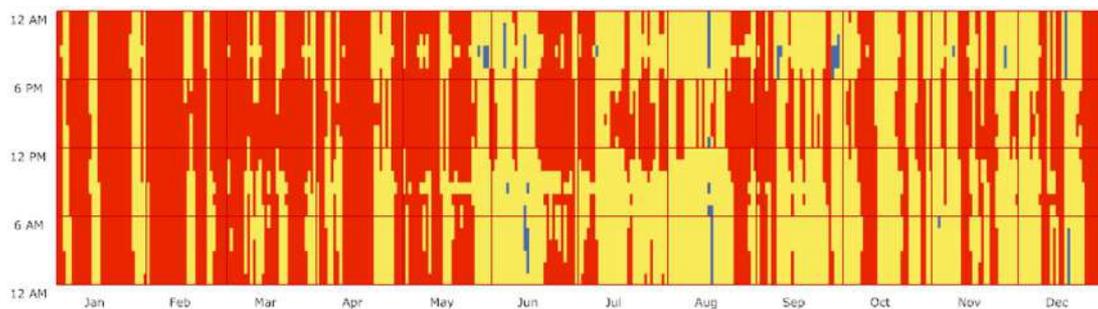
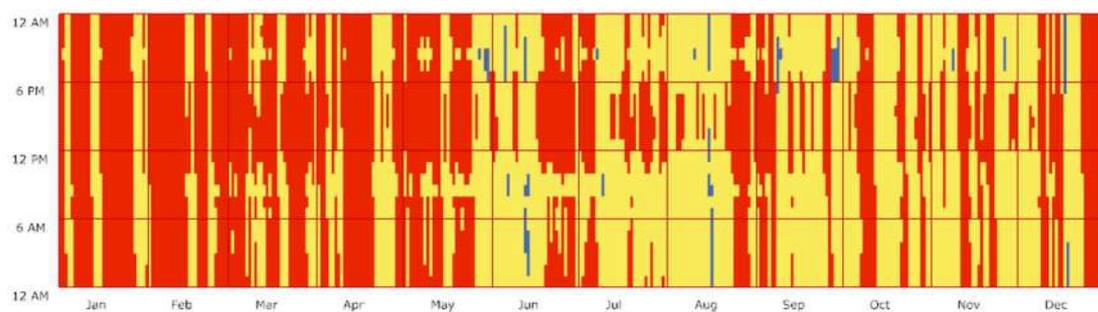
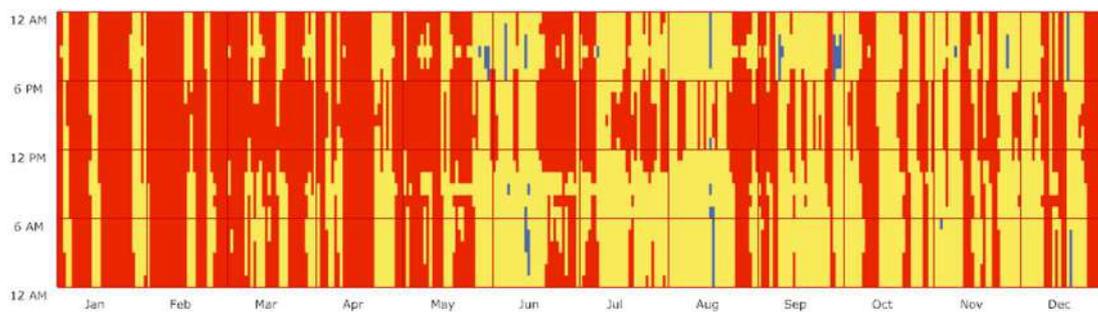


NBR 15.575



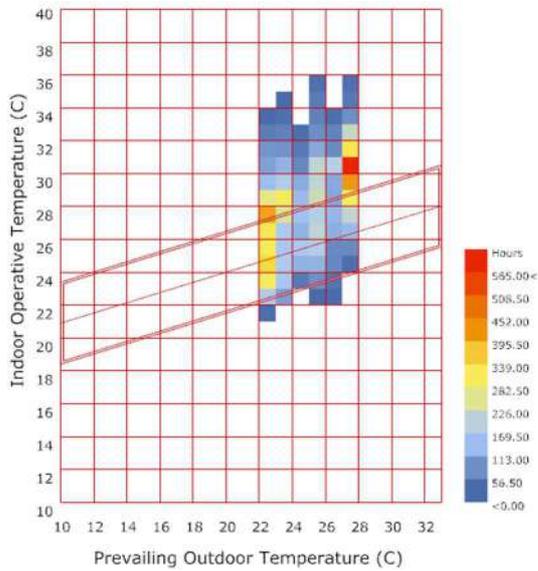
RTQ-R



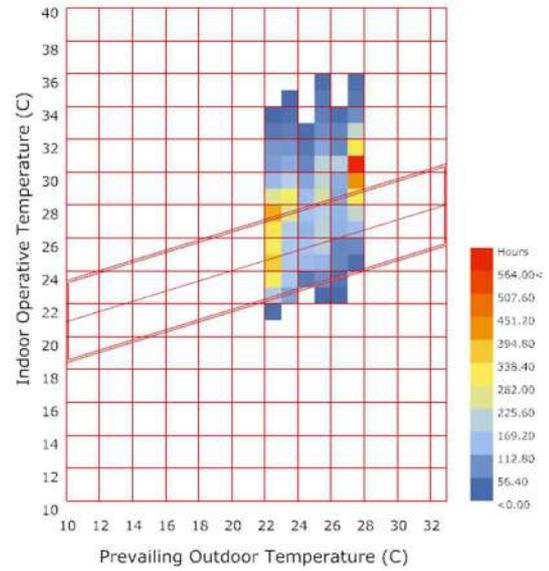
PRIMEIRO ANDAR – GRÁFICO DE CONDIÇÃO DA PESSOA – SUL**Código de Obras****NBR 15.575****RTQ-R**

PRIMEIRO ANDAR – QUADRO DE CONFORTO ADAPTATIVO – SUL

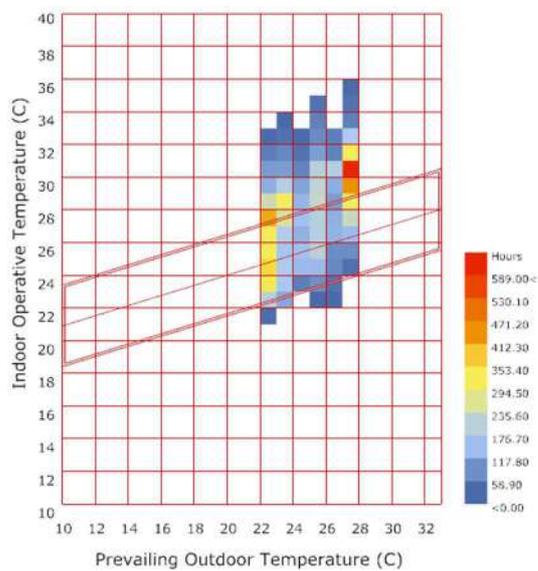
Código de Obras



RTQ-R



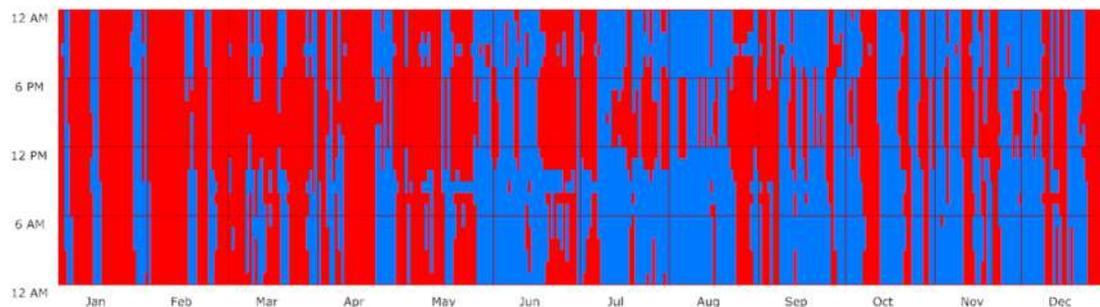
NBR 15.575



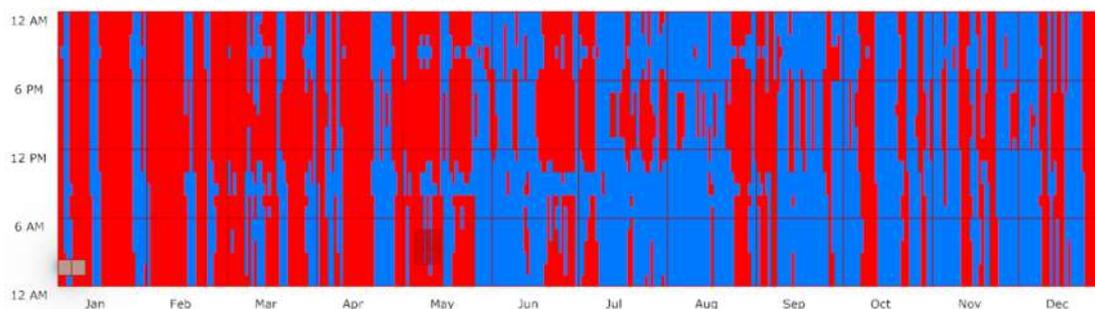
PRIMEIRO ANDAR – GRÁFICO SENSAÇÃO DE CONFORTÁVEL OU NÃO - SUL



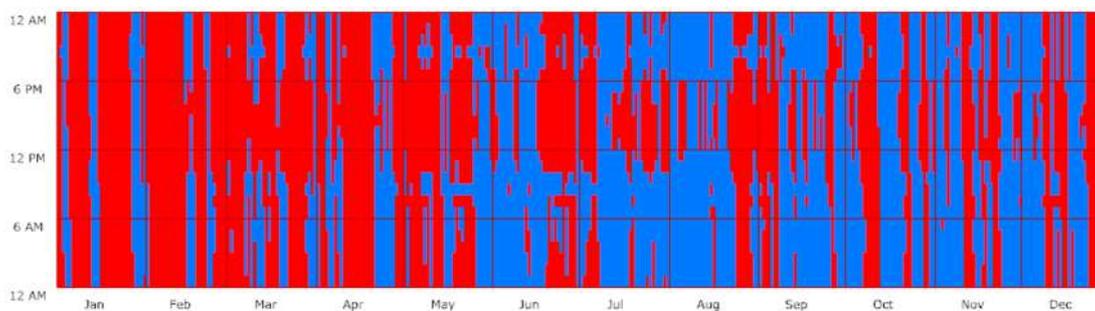
Código de Obras



NBR 15.575

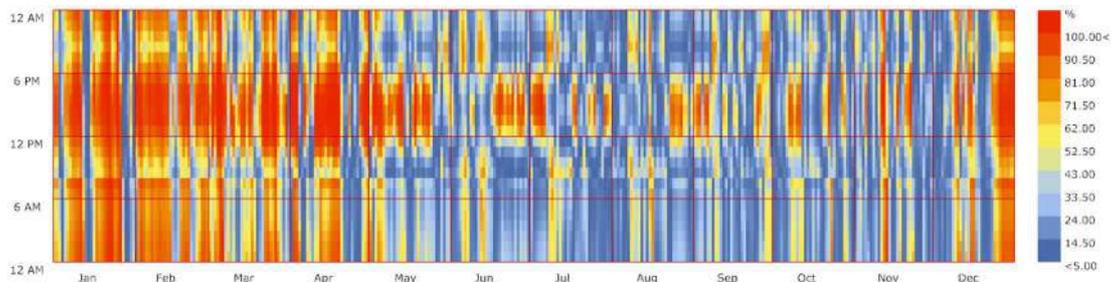


RTQ-R

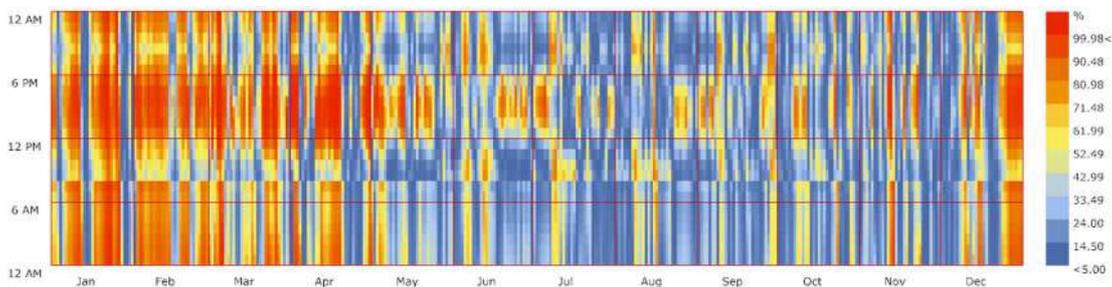


PRIMEIRO ANDAR – GRÁFICO DE PERCENTUAL DE PESSOAS INSATISFEITAS – SUL

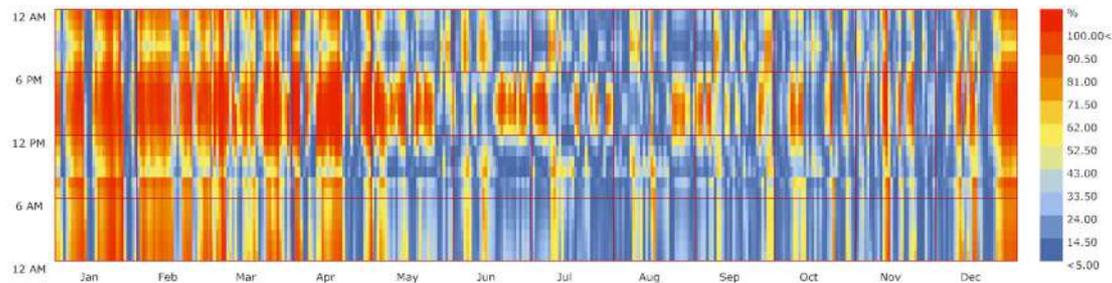
Código de Obras



NBR 15.575



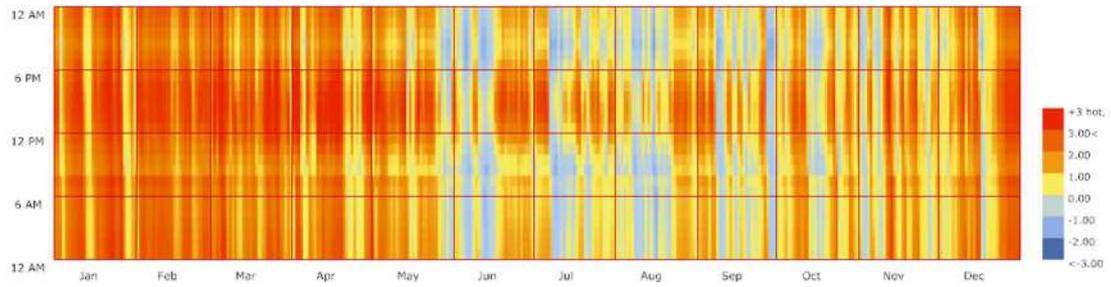
RTQ-R



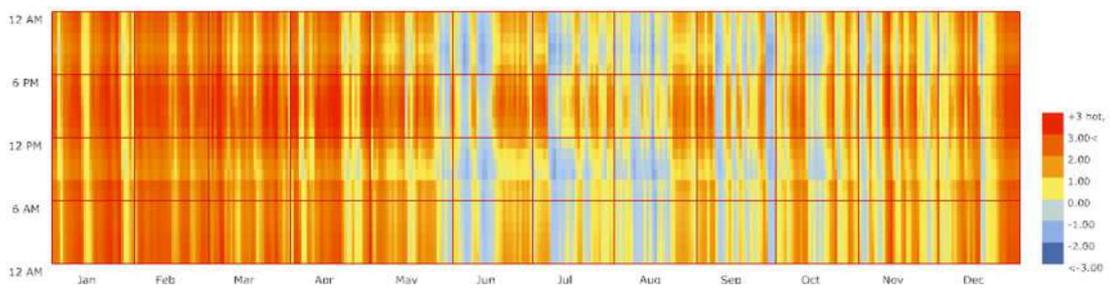
PRIMEIRO ANDAR – GRÁFICO DE VOTO MÉDIO PREVISTO – SUL

+3 hot, +2 warm, +1 slightly warm, 0 neutral, -1 slightly cool, -2 cool, -3 cold

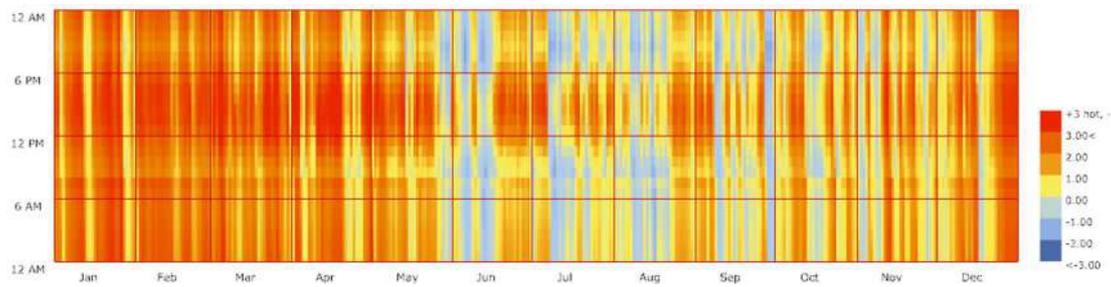
Código de Obras

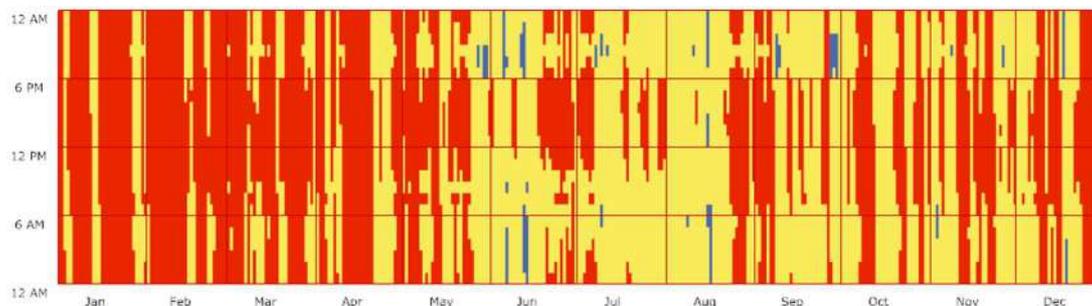
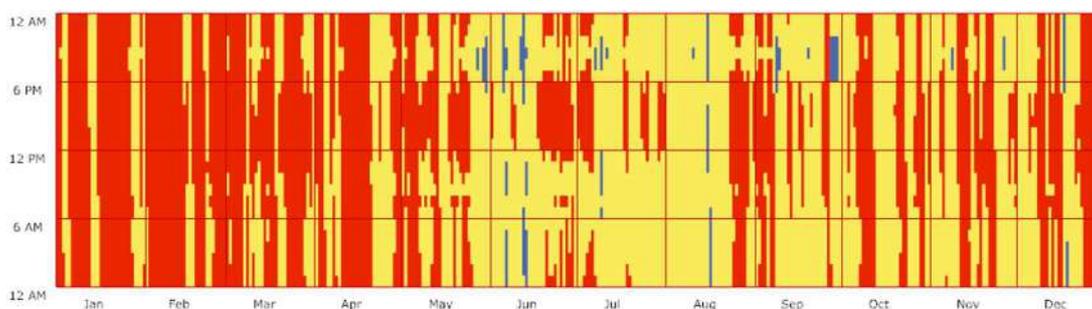
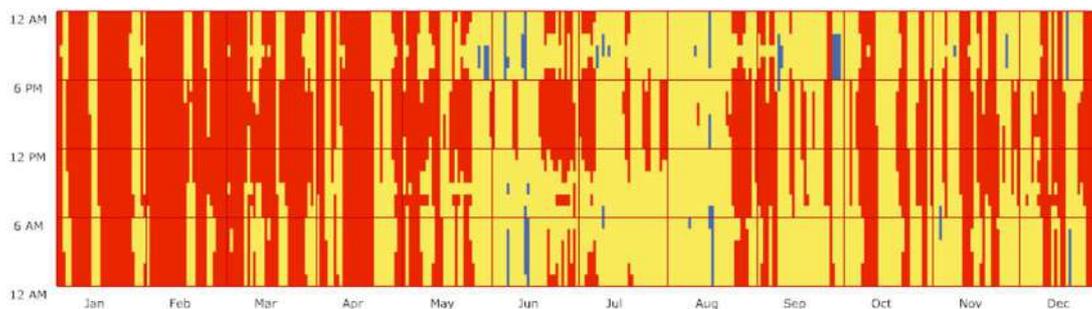


NBR 15.575



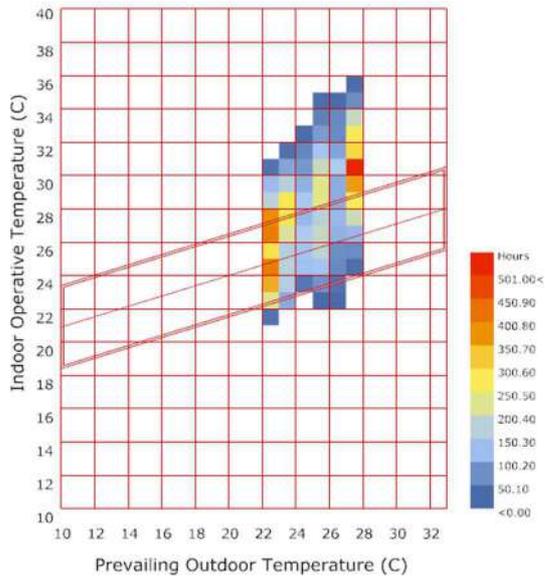
RTQ-R



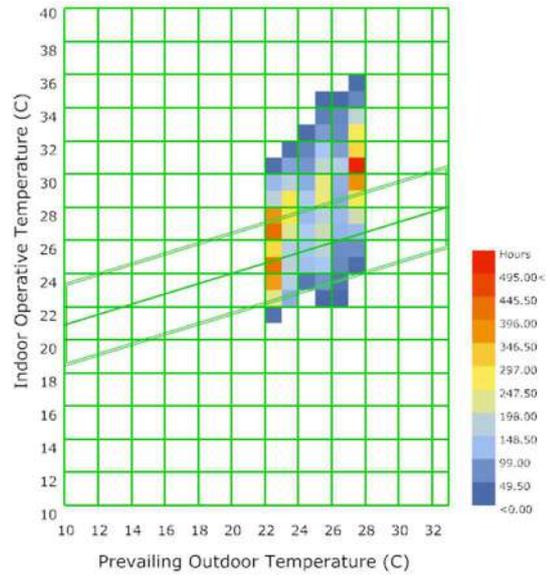
PRIMEIRO ANDAR – GRÁFICO DE CONDIÇÃO DA PESSOA – LESTE**Código de Obras****NBR 15.575****RTQ-R**

PRIMEIRO ANDAR – QUADRO DE CONFORTO ADAPTATIVO – LESTE

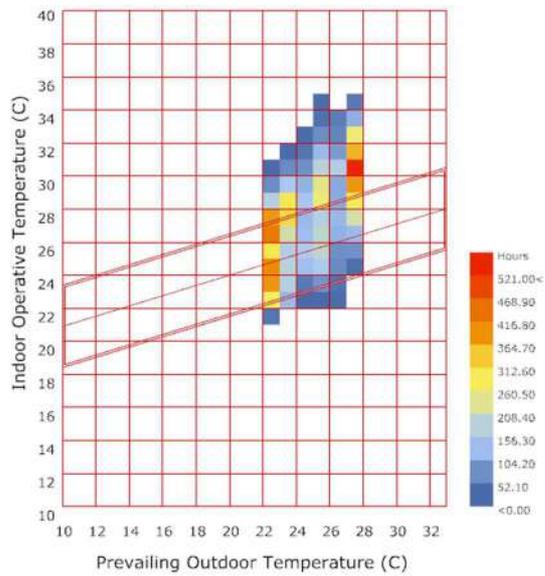
Código de Obras



RTQ-R



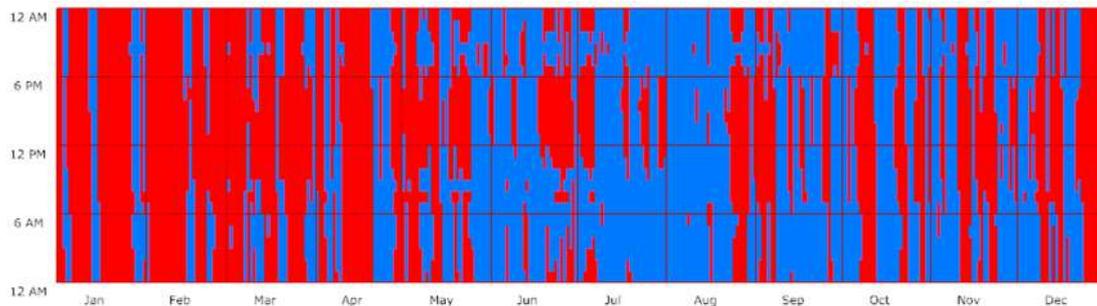
NBR 15.575



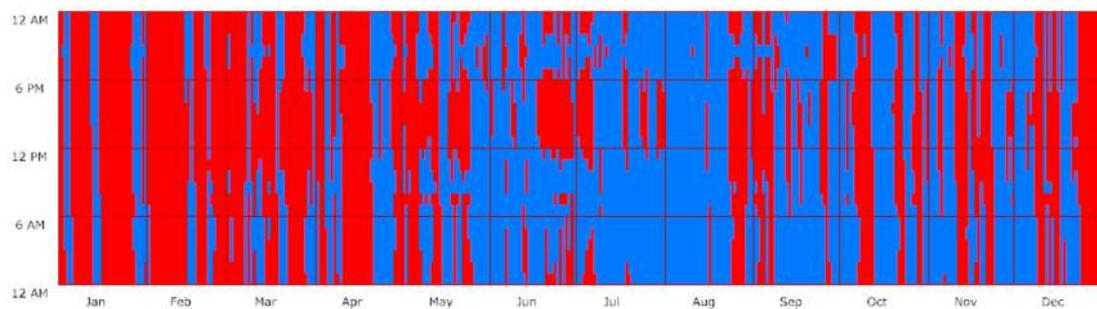
PRIMEIRO ANDAR – GRÁFICO SENSACÃO DE CONFORTÁVEL OU NÃO - LESTE



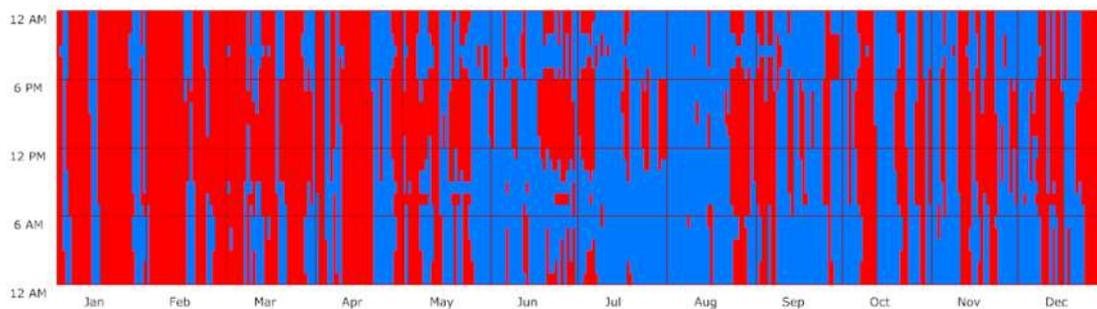
Código de Obras



NBR 15.575

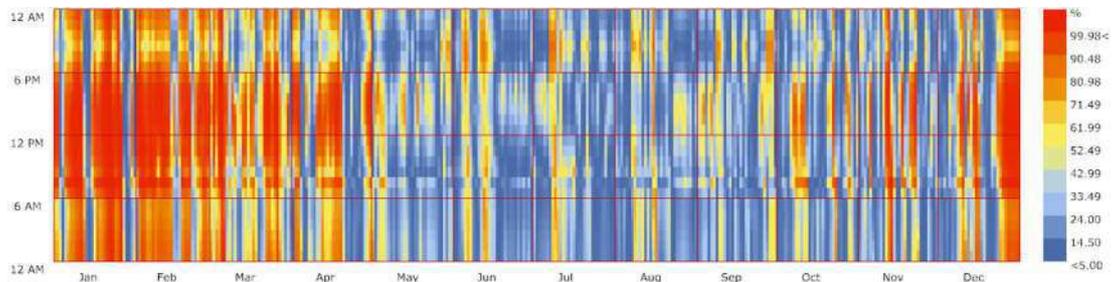


RTQ-R

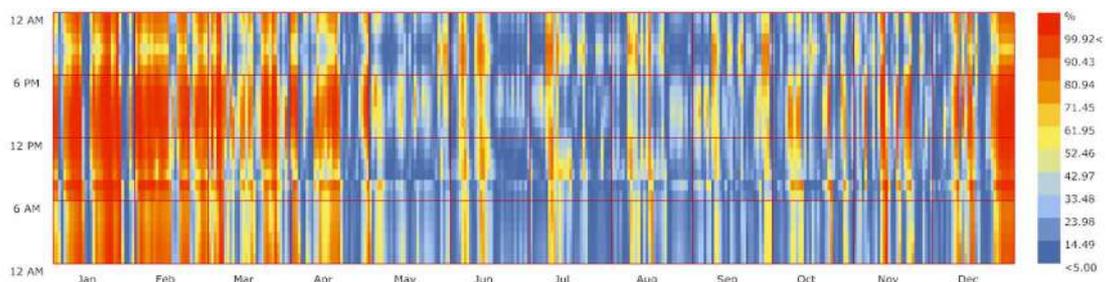


PRIMEIRO ANDAR – GRÁFICO DE PERCENTUAL DE PESSOAS INSATISFEITAS – LESTE

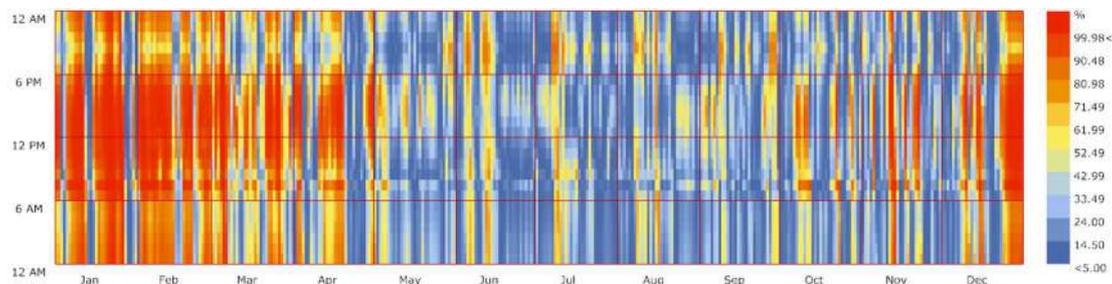
Código de Obras



NBR 15.575



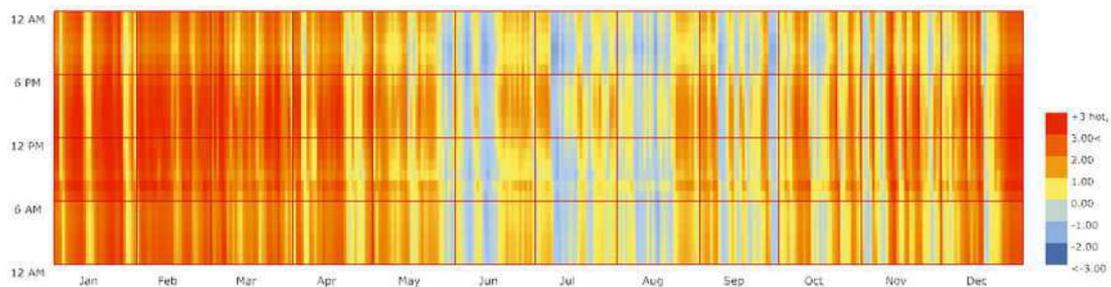
RTQ-R



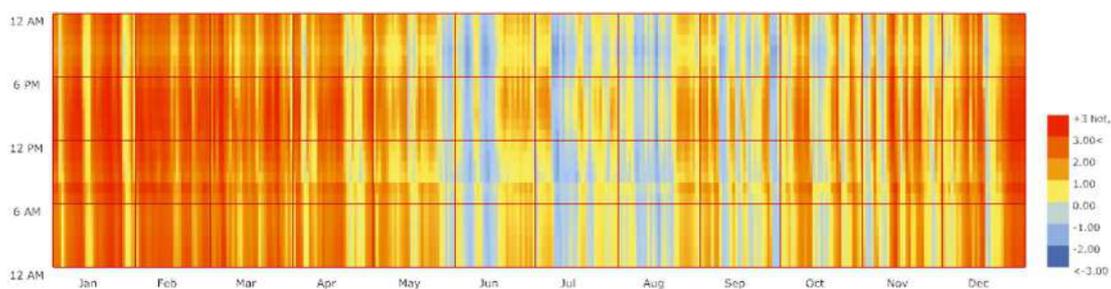
PRIMEIRO ANDAR – GRÁFICO DE VOTO MÉDIO PREVISTO – LESTE

+3 hot, +2 warm, +1 slightly warm, 0 neutral, -1 slightly cool, -2 cool, -3 cold

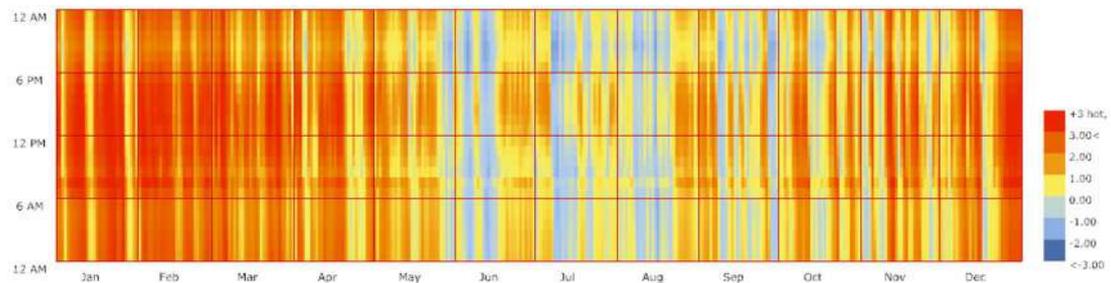
Código de Obras

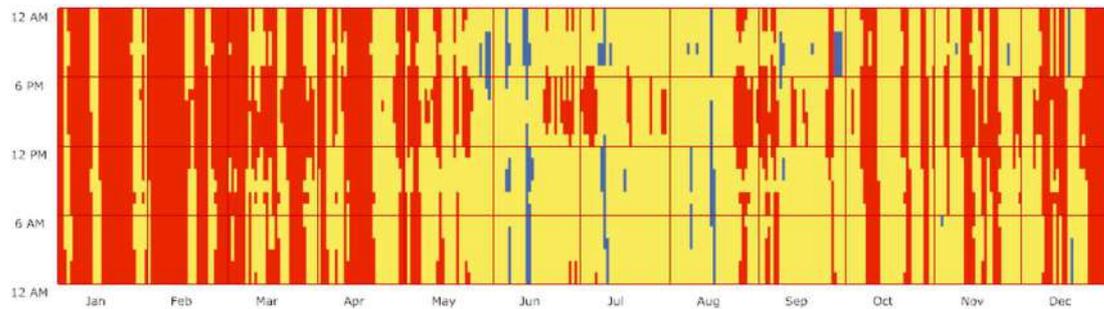
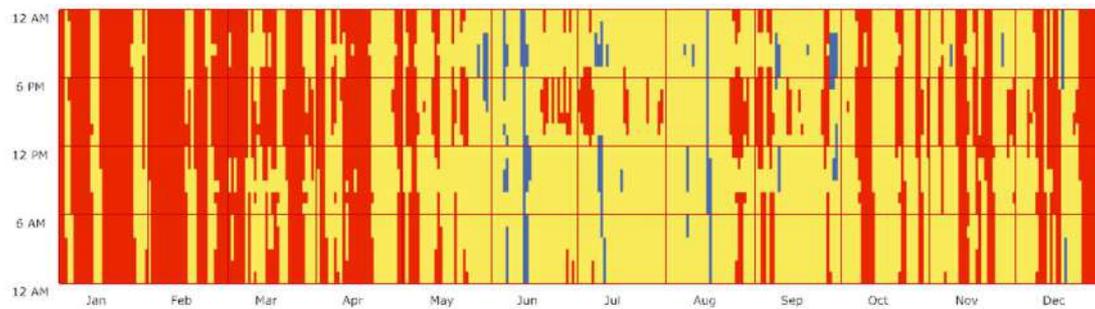
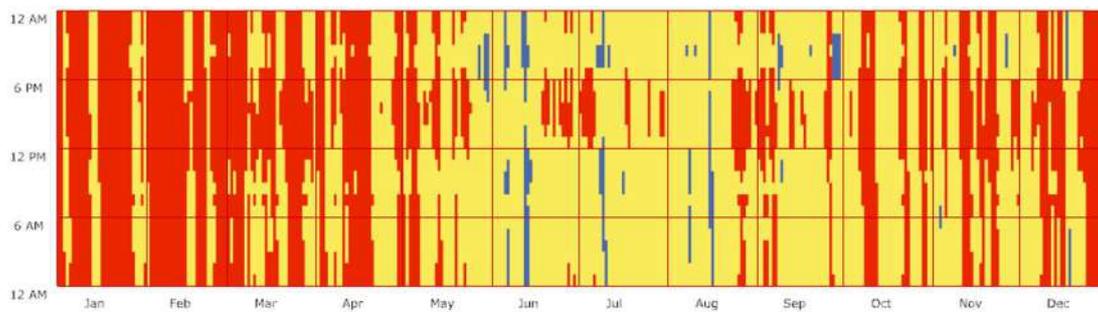


NBR 15.575



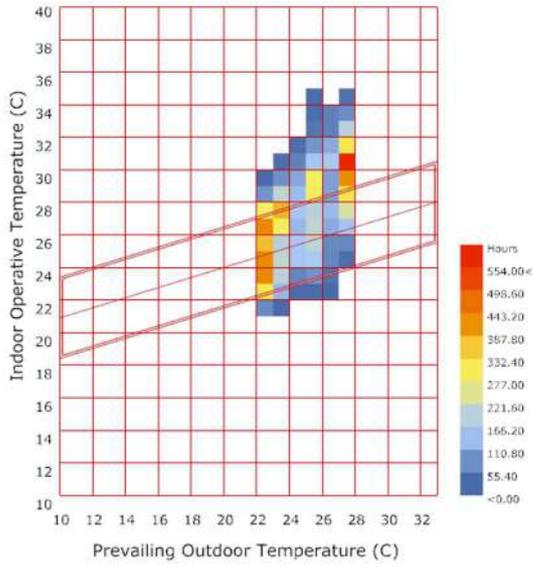
RTQ-R



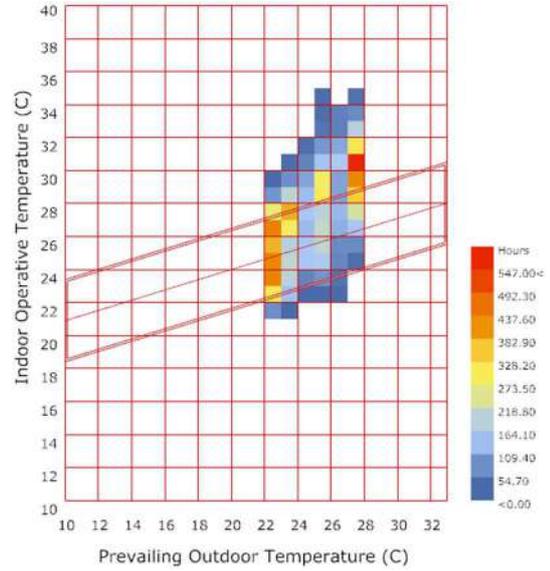
PRIMEIRO ANDAR – GRÁFICO DE CONDIÇÃO DA PESSOA – NORTE**Código de Obras****NBR 15.575****RTQ-R**

PRIMEIRO ANDAR – QUADRO DE CONFORTO ADAPTATIVO – NORTE

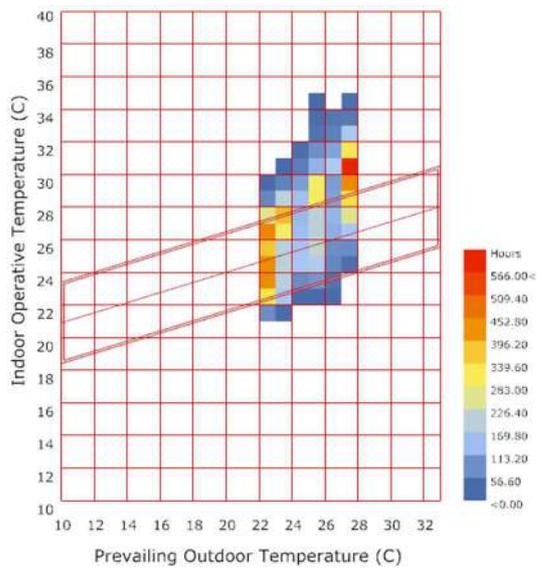
Código de Obras



RTQ-R



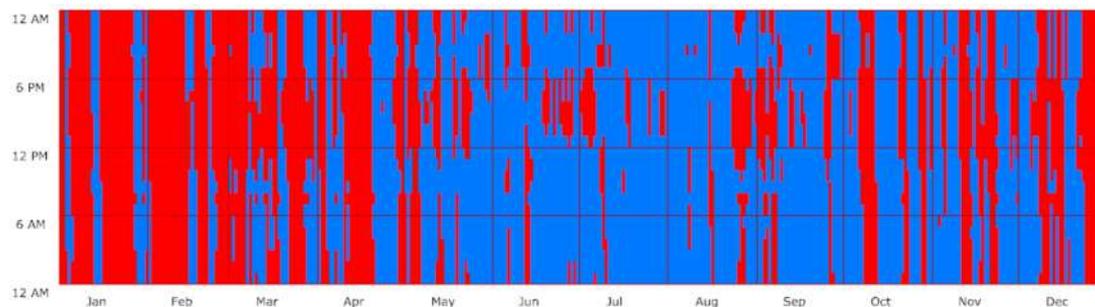
NBR 15.575



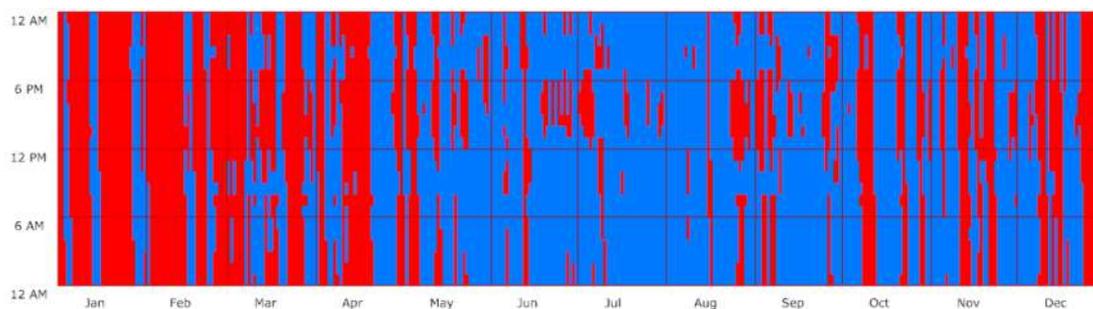
PRIMEIRO ANDAR – GRÁFICO SENSAÇÃO DE CONFORTÁVEL OU NÃO - NORTE



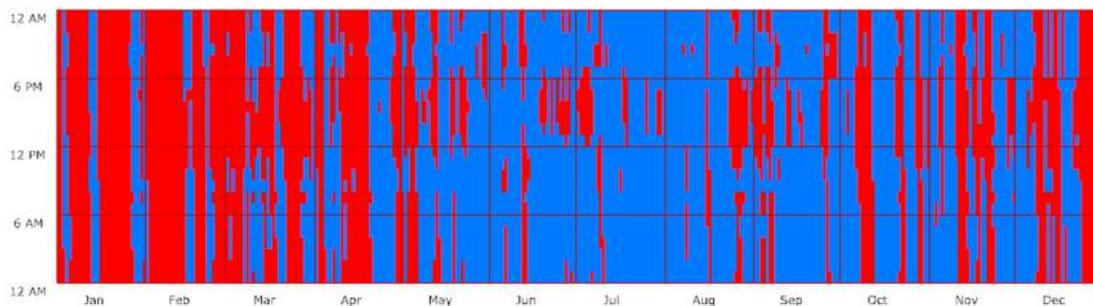
Código de Obras



NBR 15.575

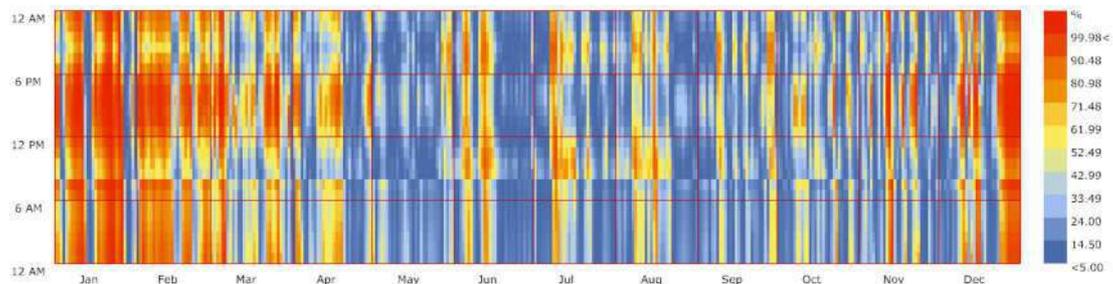


RTQ-R

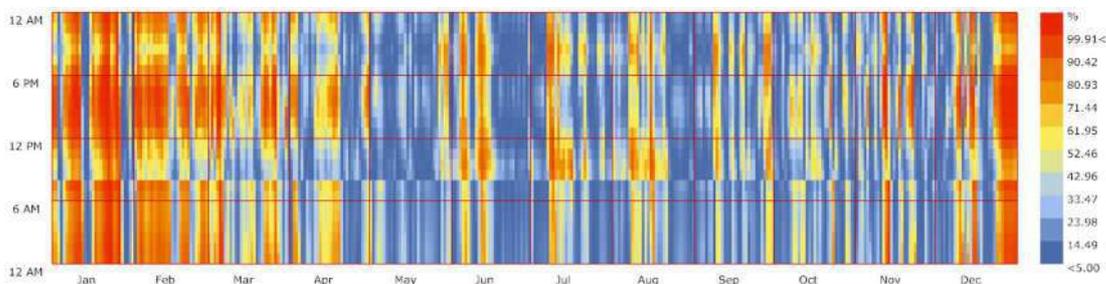


PRIMEIRO ANDAR – GRÁFICO DE PERCENTUAL DE PESSOAS INSATISFEITAS – NORTE

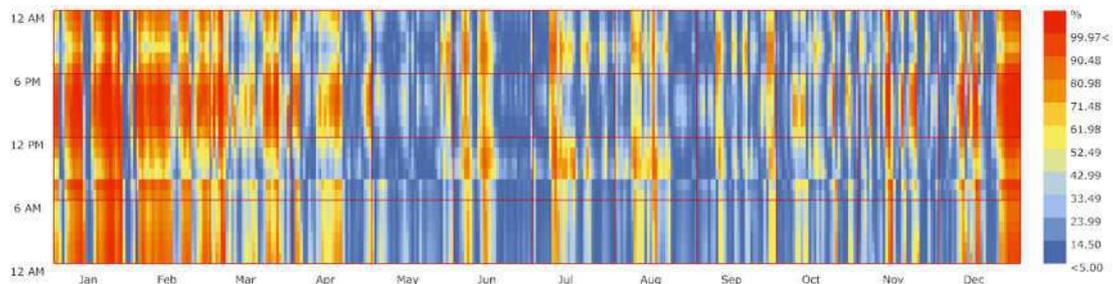
Código de Obras



NBR 15.575



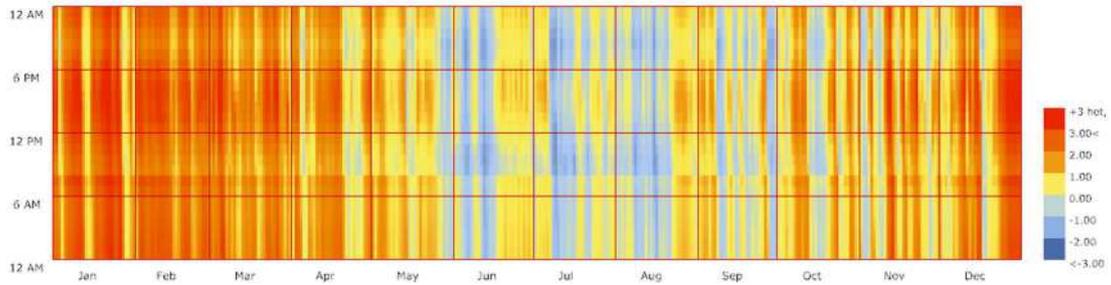
RTQ-R



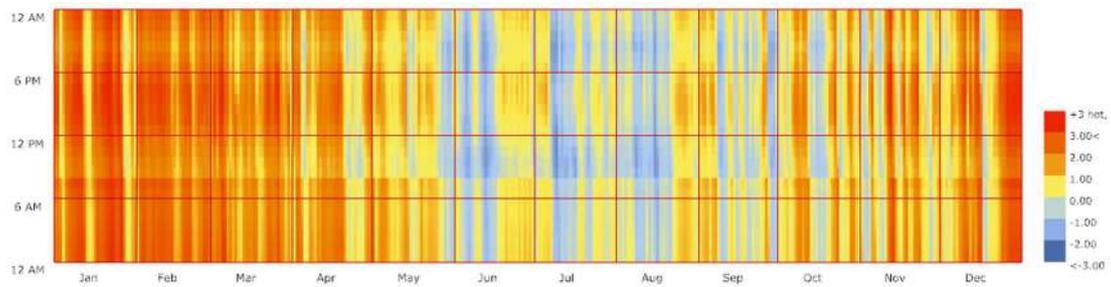
PRIMEIRO ANDAR – GRÁFICO DE VOTO MÉDIO PREVISTO – NORTE

+3 hot, +2 warm, +1 slightly warm, 0 neutral, -1 slightly cool, -2 cool, -3 cold

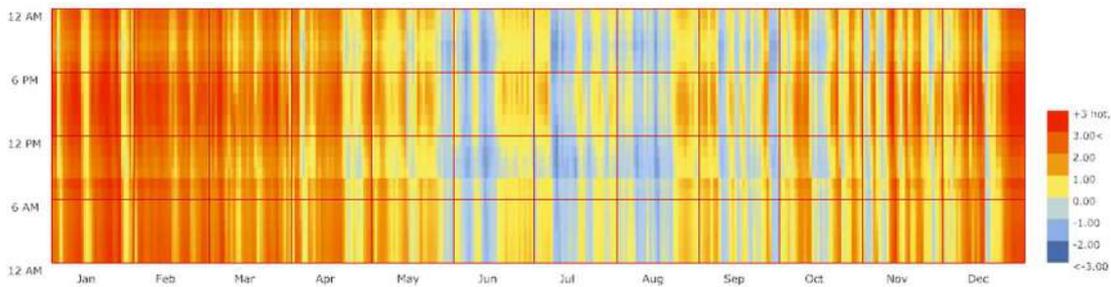
Código de Obras



NBR 15.575



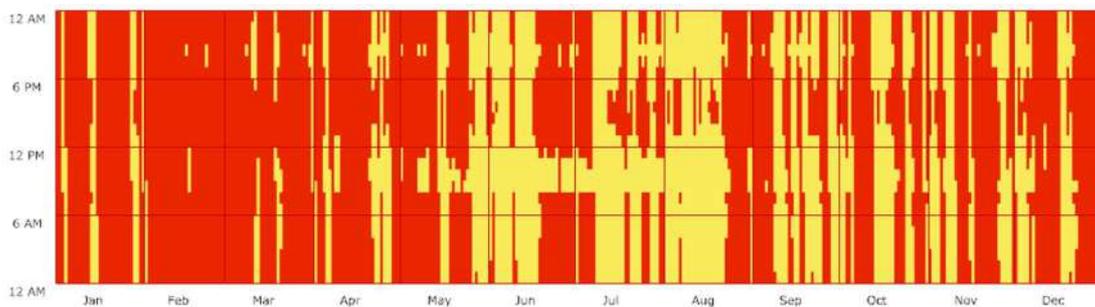
RTQ-R



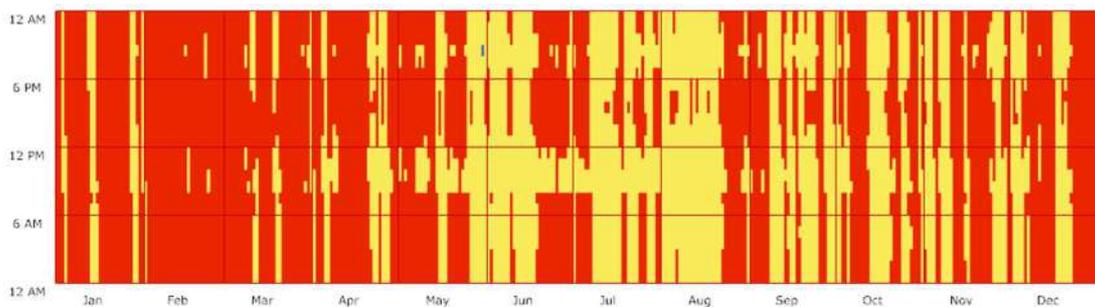
TERCEIRO ANDAR – GRÁFICO DE CONDIÇÃO DA PESSOA – OESTE



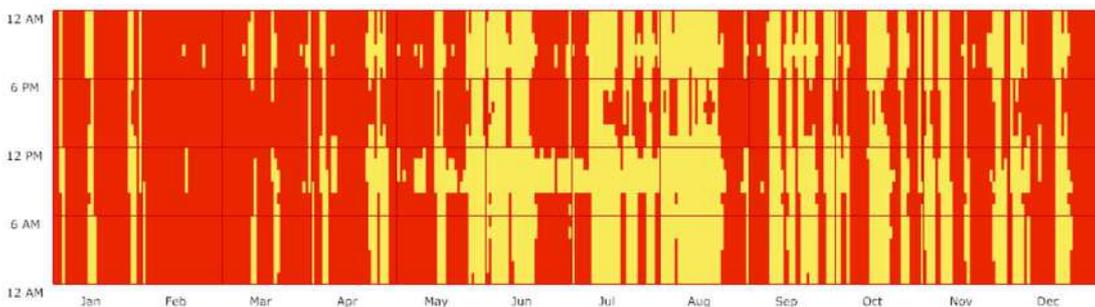
Código de Obras



NBR 15.575

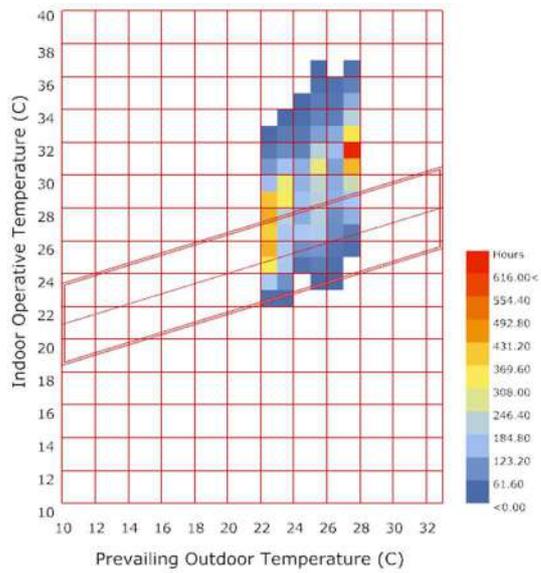


RTQ-R

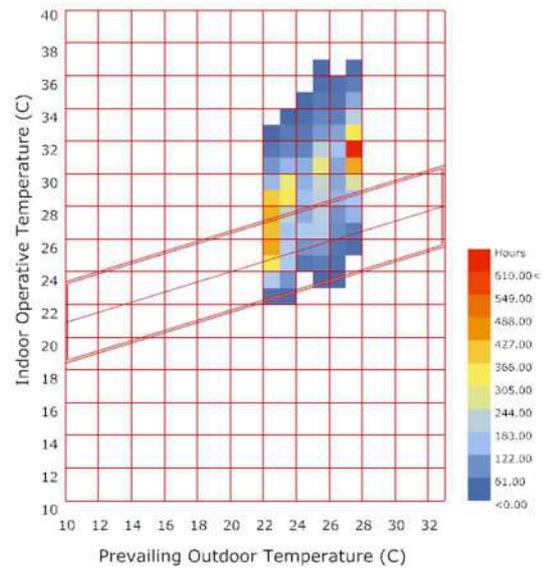


TERCEIRO ANDAR – QUADRO DE CONFORTO ADAPTATIVO – OESTE

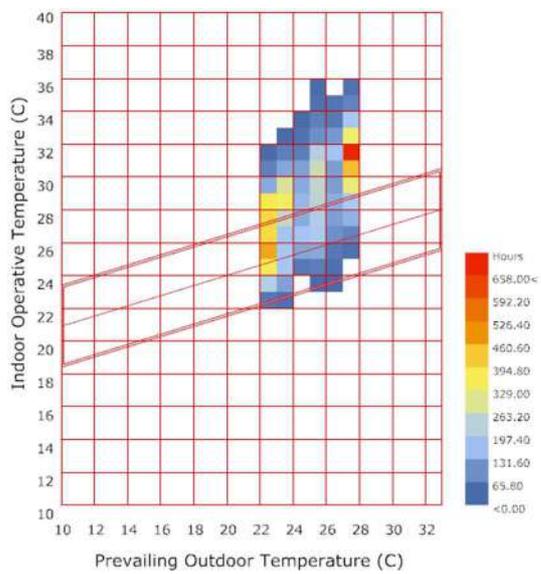
Código de Obras



RTQ-R



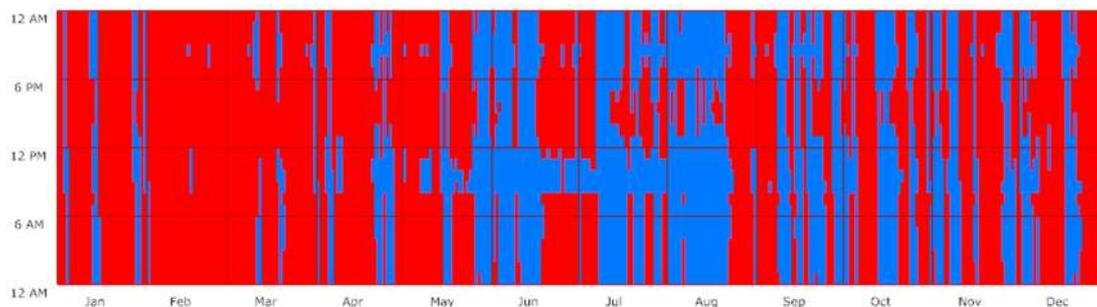
NBR 15.575



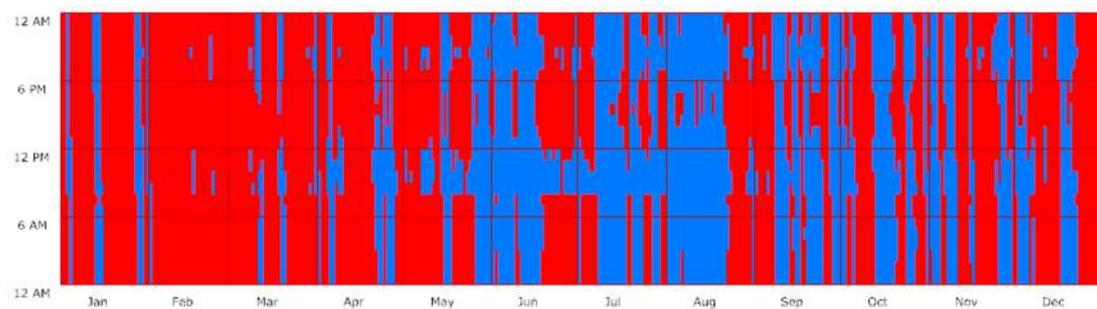
TERCEIRO ANDAR – GRÁFICO SENSAÇÃO DE CONFORTÁVEL OU NÃO - OESTE

■ CONFORTÁVEL
■ DESCONFORTÁVEL

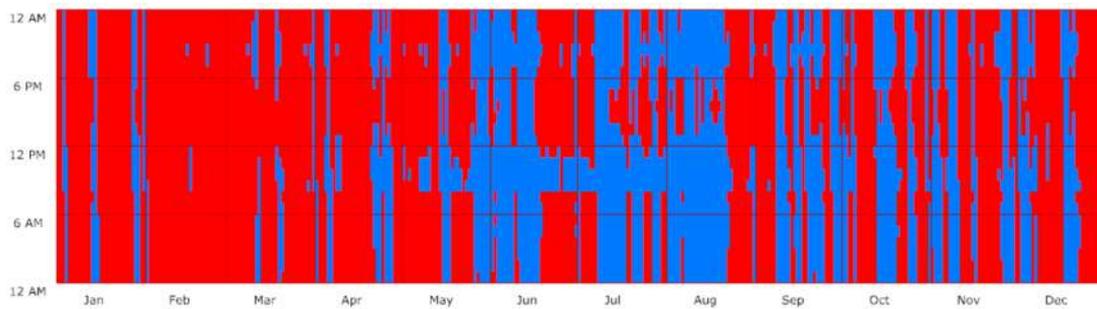
Código de Obras



NBR 15.575

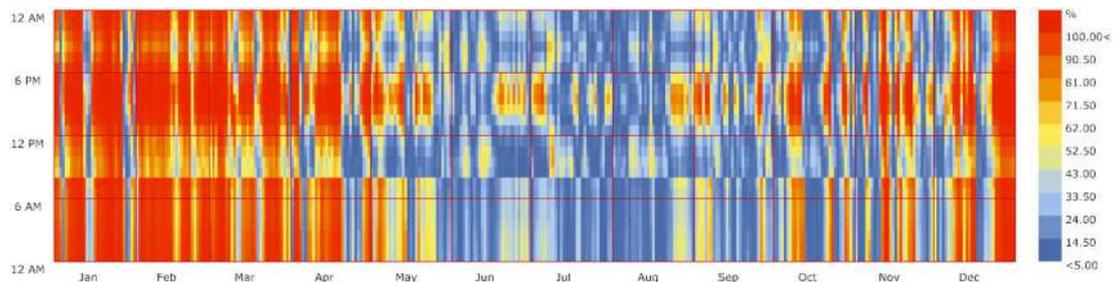


RTQ-R

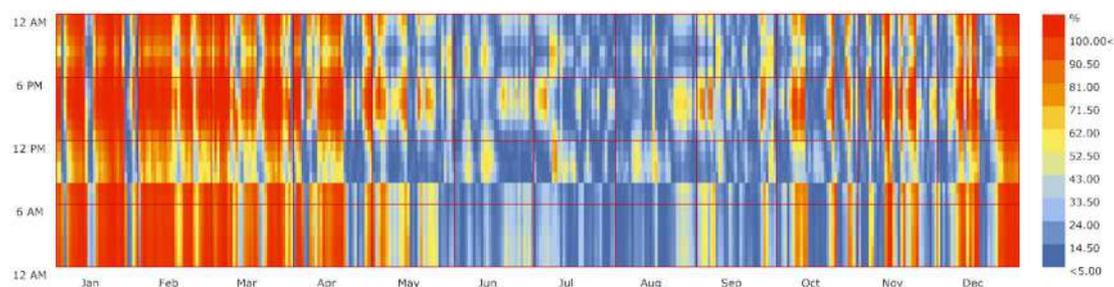


TERCEIRO ANDAR – GRÁFICO DE PERCENTUAL DE PESSOAS INSATISFEITAS – OESTE

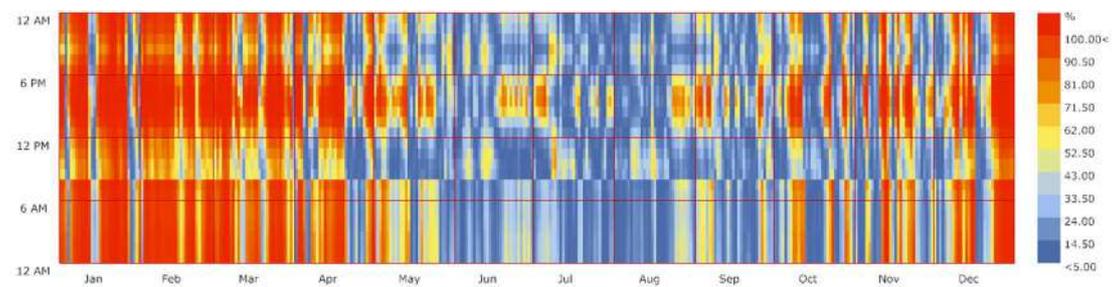
Código de Obras



NBR 15.575



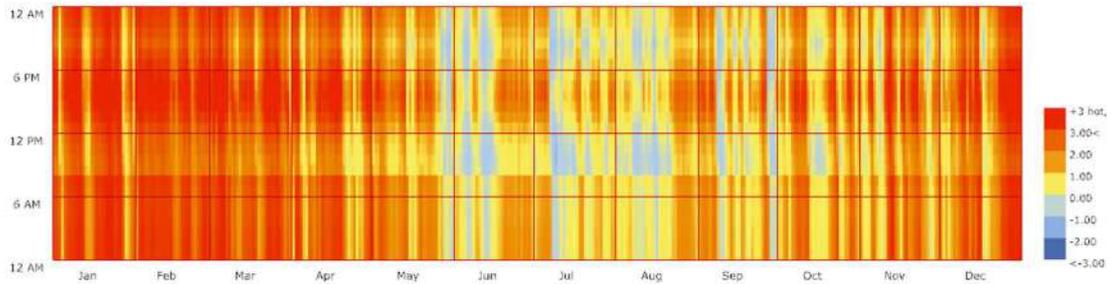
RTQ-R



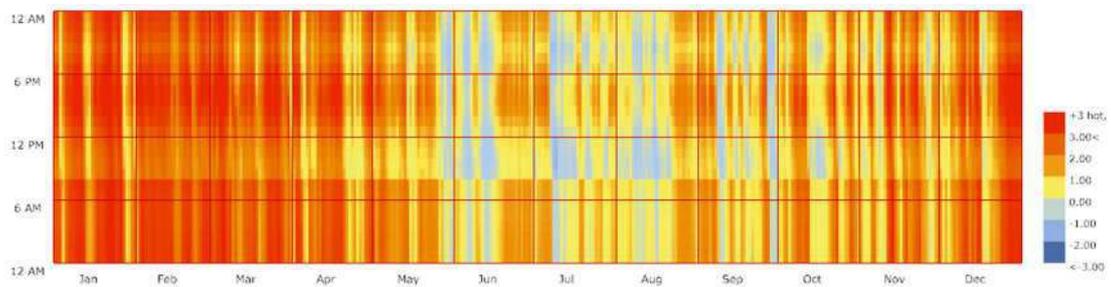
TERCEIRO ANDAR – GRÁFICO DE VOTO MÉDIO PREVISTO – OESTE

+3 hot, +2 warm, +1 slightly warm, 0 neutral, -1 slightly cool, -2 cool, -3 cold

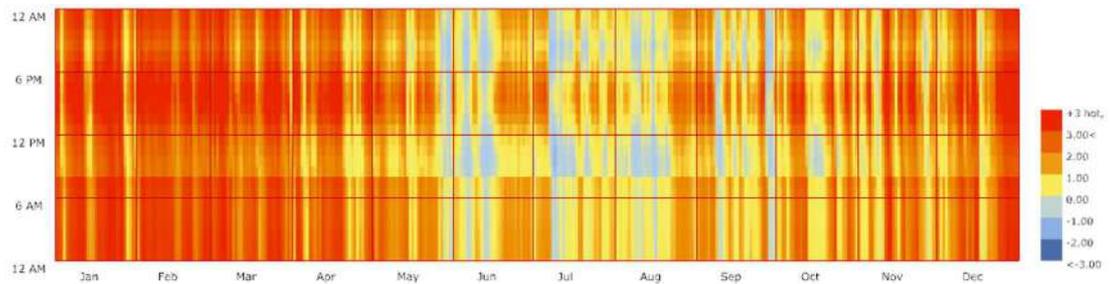
Código de Obras



NBR 15.575



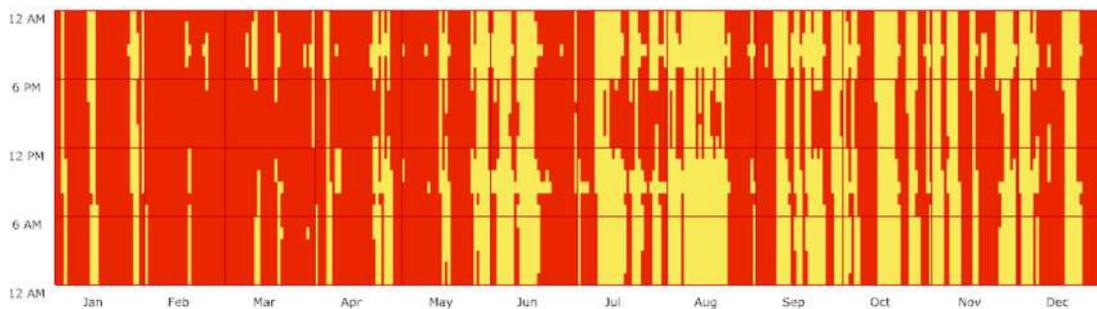
RTQ-R



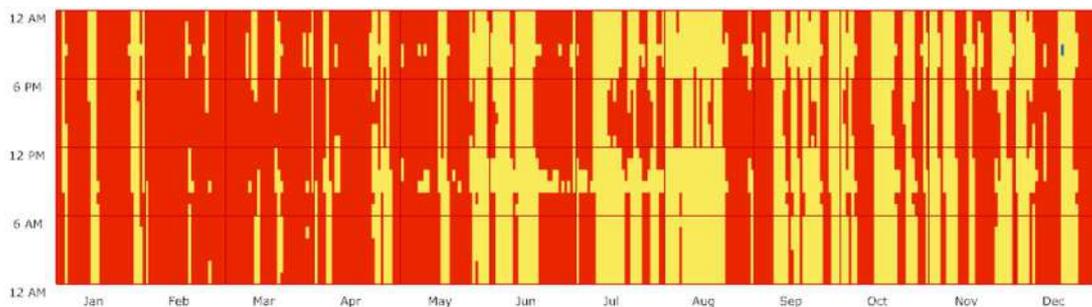
TERCEIRO ANDAR – GRÁFICO DE CONDIÇÃO DA PESSOA – SUL



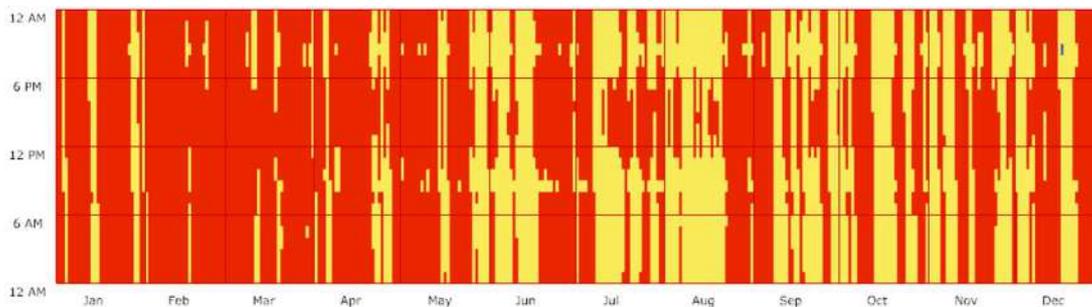
Código de Obras



NBR 15.575

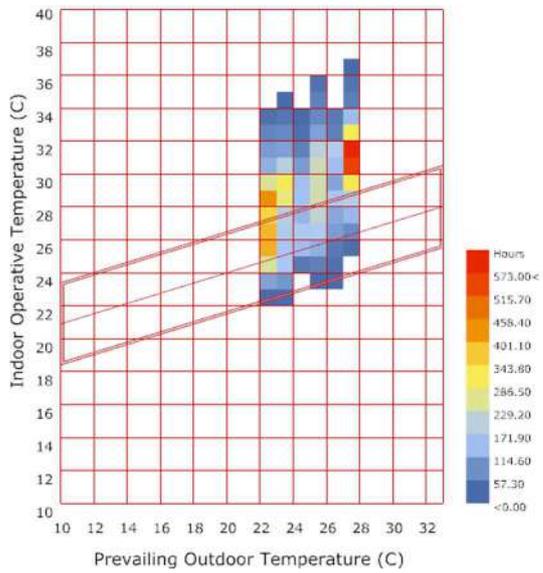


RTQ-R

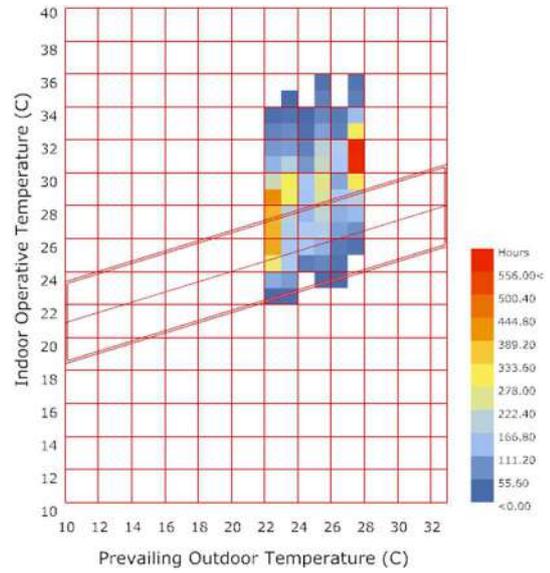


TERCEIRO ANDAR – QUADRO DE CONFORTO ADAPTATIVO – SUL

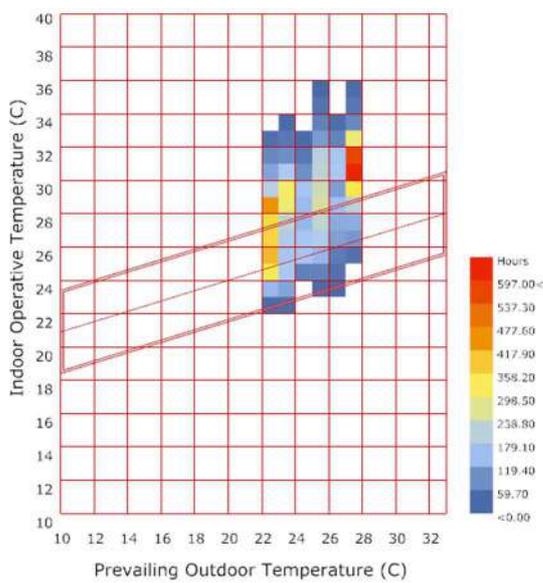
Código de Obras



RTQ-R



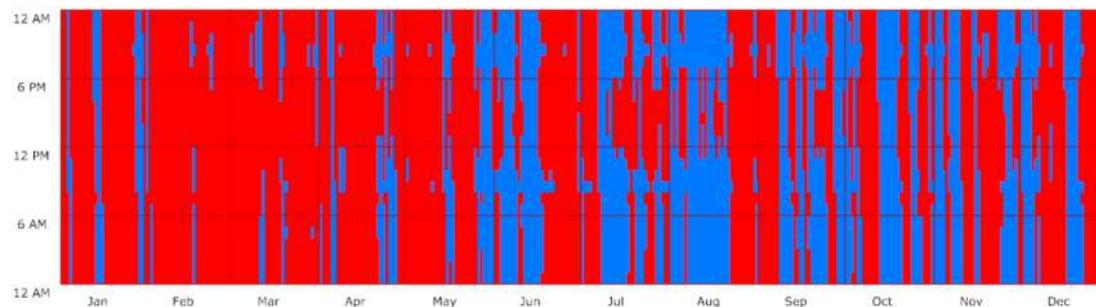
NBR 15.575



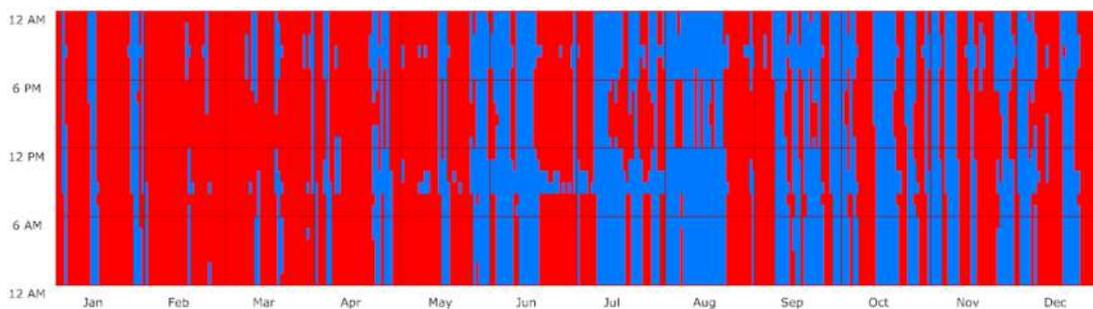
TERCEIRO ANDAR – GRÁFICO SENSÇÃO DE CONFORTÁVEL OU NÃO - SUL



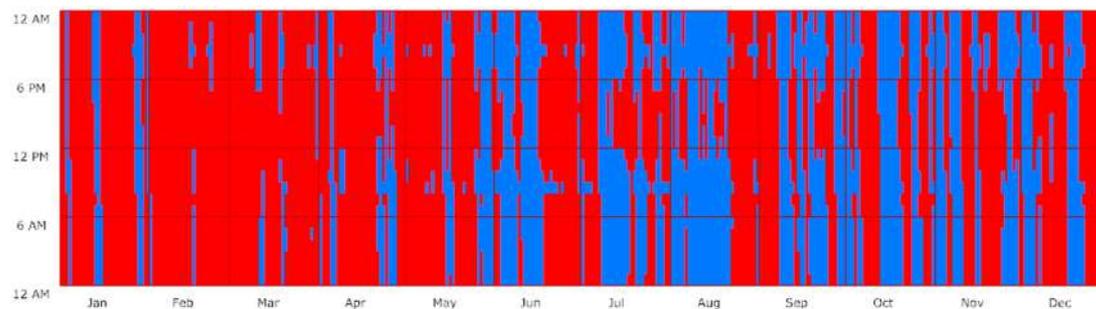
Código de Obras



NBR 15.575

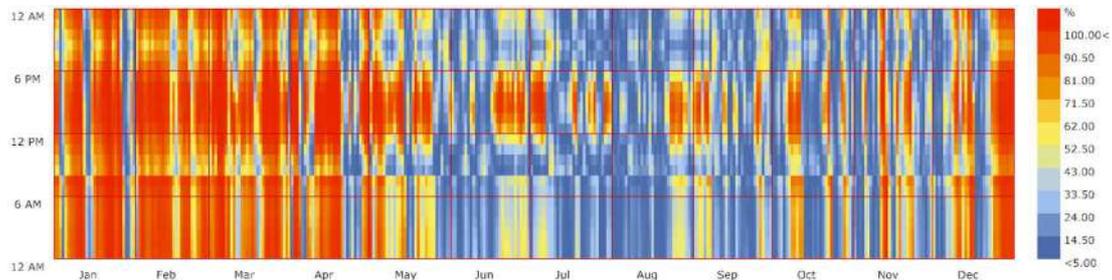


RTQ-R

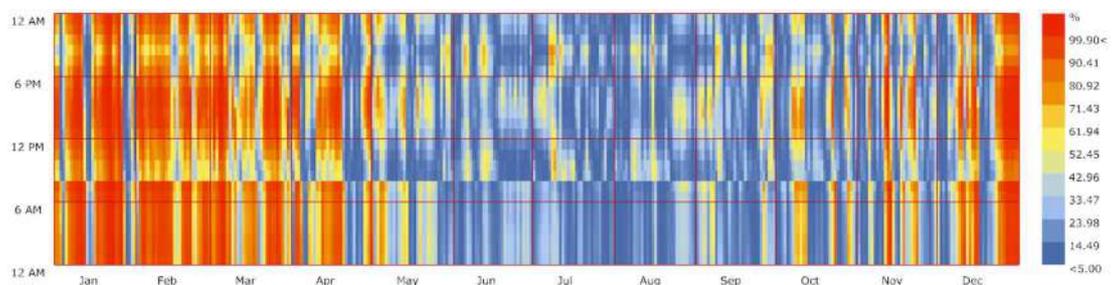


TERCEIRO ANDAR – GRÁFICO DE PERCENTUAL DE PESSOAS INSATISFEITAS – SUL

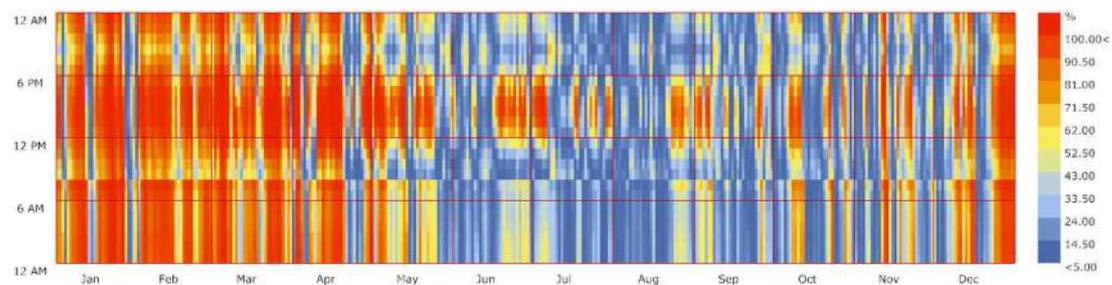
Código de Obras



NBR 15.575



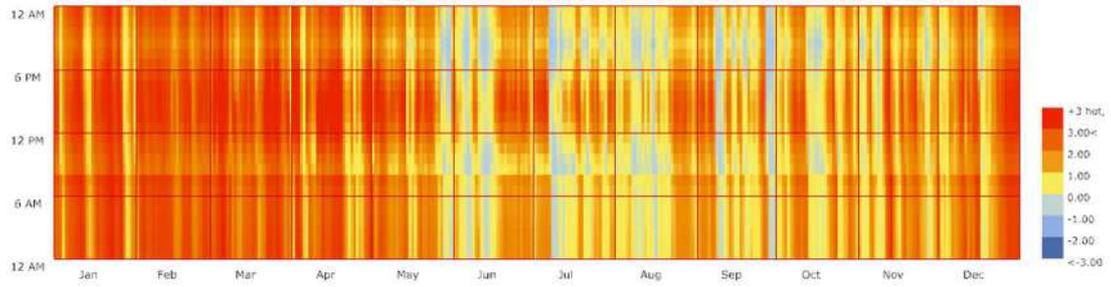
RTQ-R



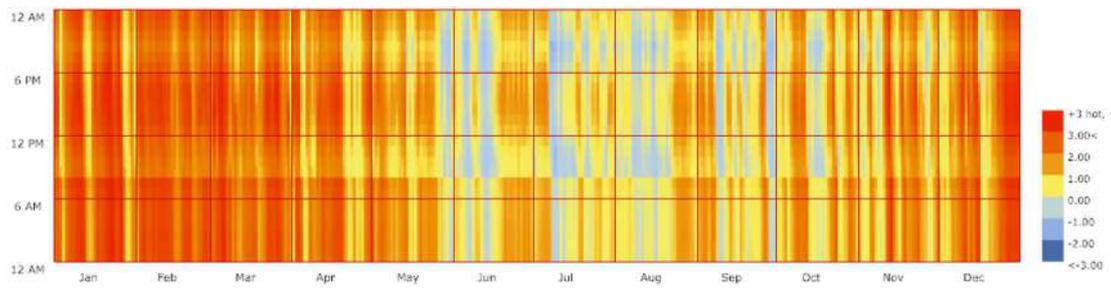
TERCEIRO ANDAR – GRÁFICO DE VOTO MÉDIO PREVISTO – SUL

+3 hot, +2 warm, +1 slightly warm, 0 neutral, -1 slightly cool, -2 cool, -3 cold

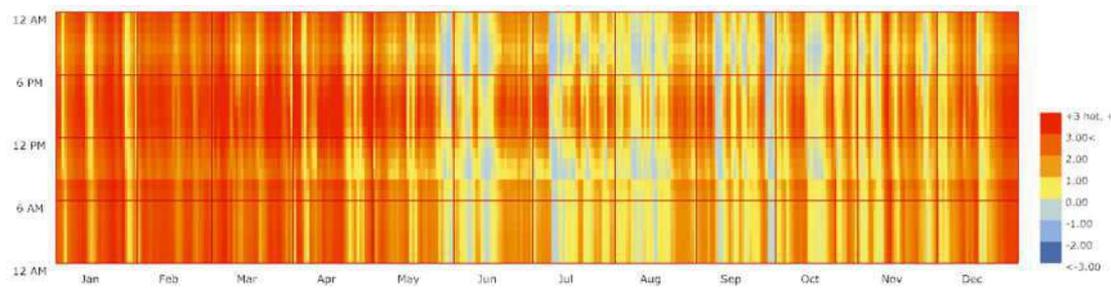
Código de Obras



NBR 15.575



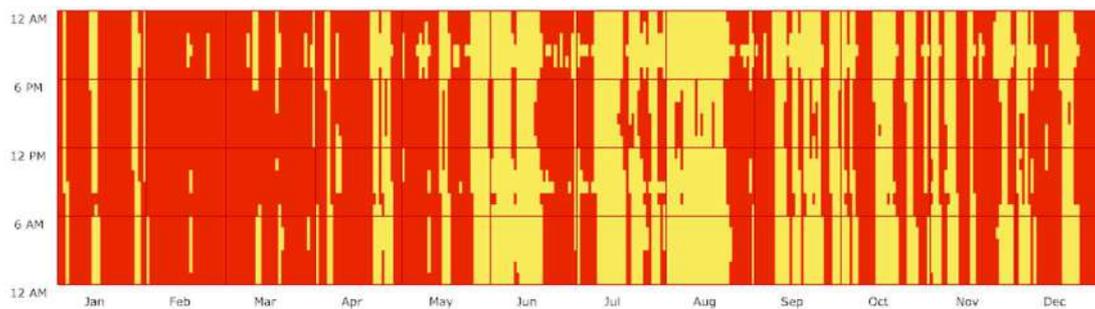
RTQ-R



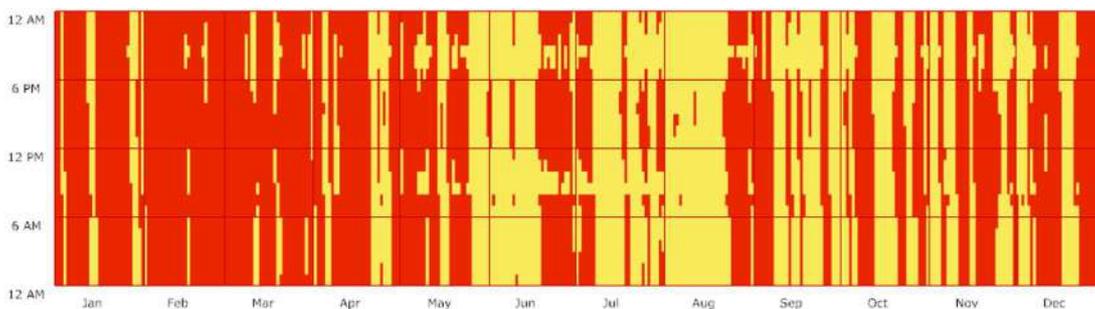
TERCEIRO ANDAR – GRÁFICO DE CONDIÇÃO DA PESSOA – LESTE



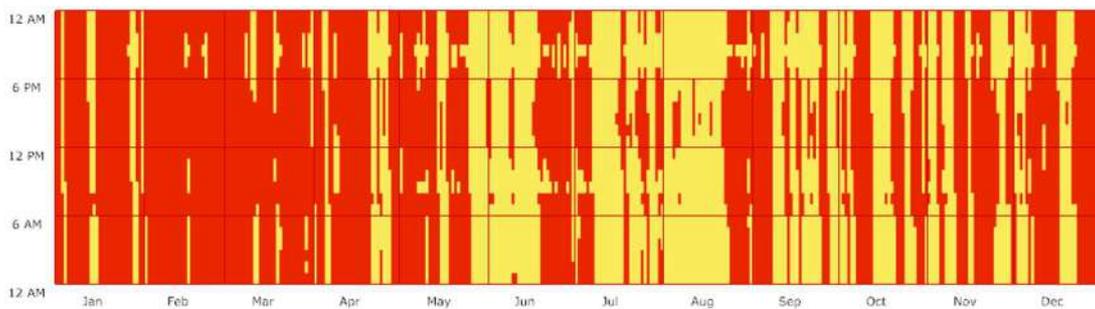
Código de Obras



NBR 15.575

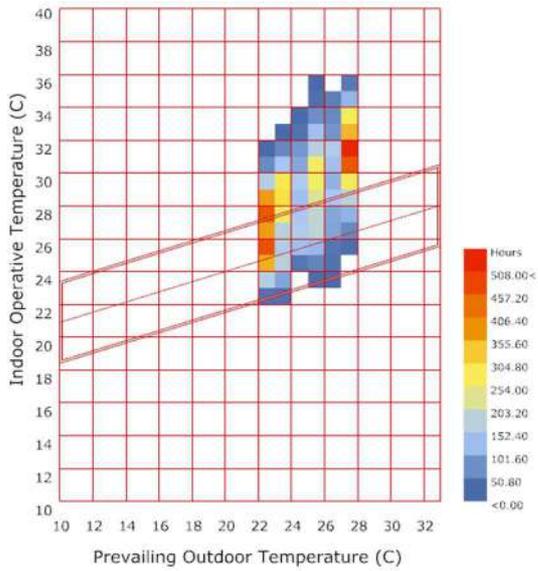


RTQ-R

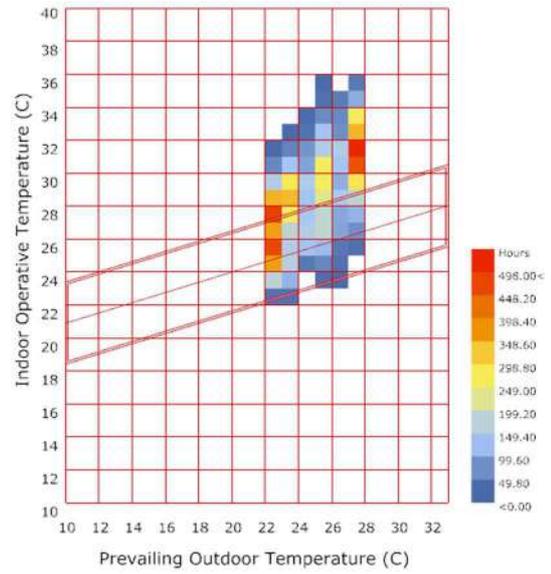


TERCEIRO ANDAR – QUADRO DE CONFORTO ADAPTATIVO – LESTE

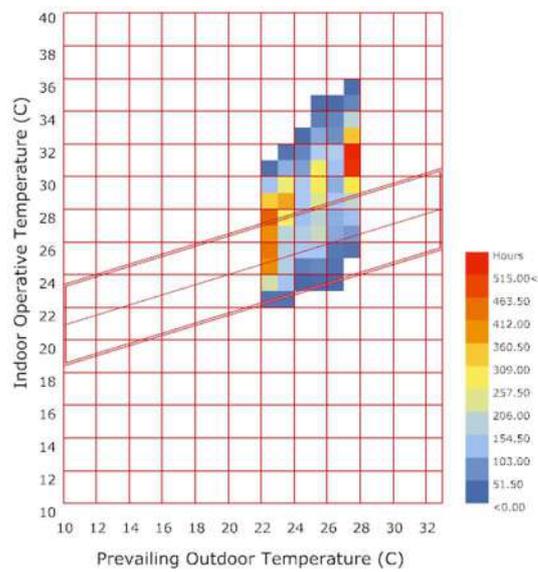
Código de Obras



RTQ-R



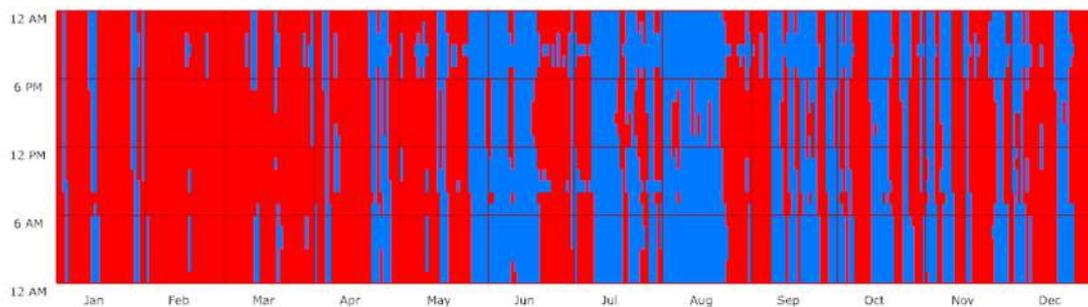
NBR 15.575



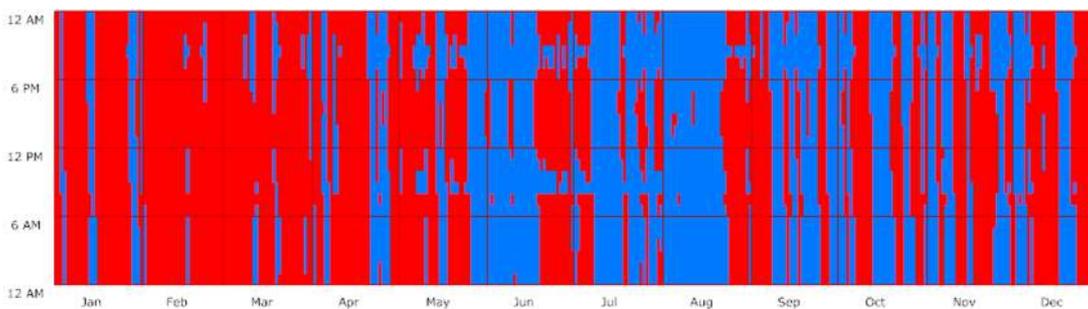
TERCEIRO ANDAR – GRÁFICO SENSACÃO DE CONFORTÁVEL OU NÃO - LESTE



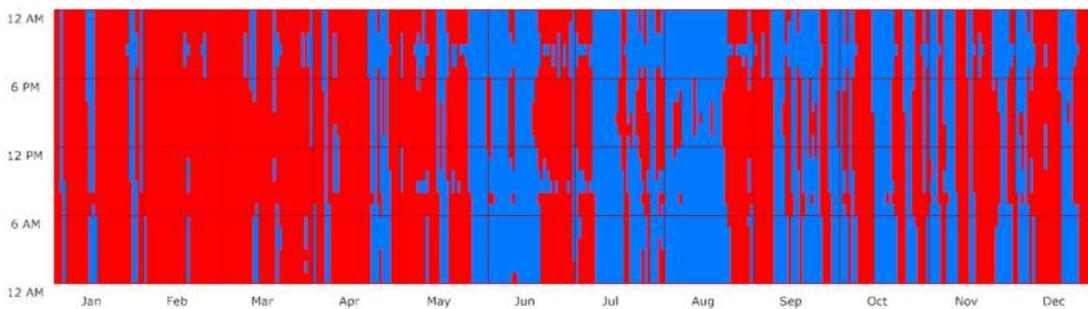
Código de Obras



NBR 15.575

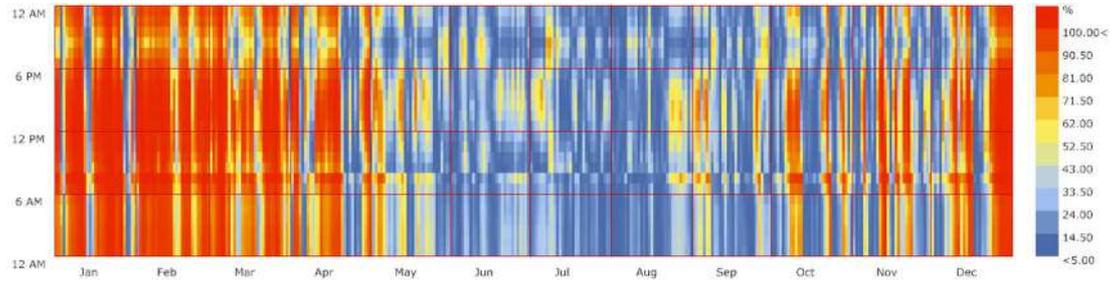


RTQ-R

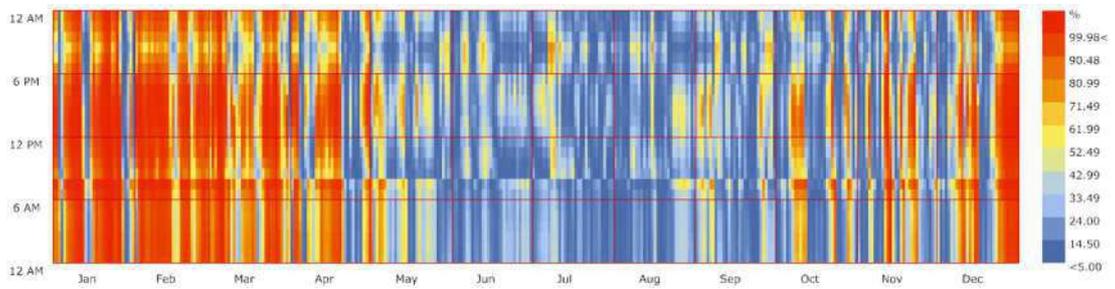


TERCEIRO ANDAR – GRÁFICO DE PERCENTUAL DE PESSOAS INSATISFEITAS – LESTE

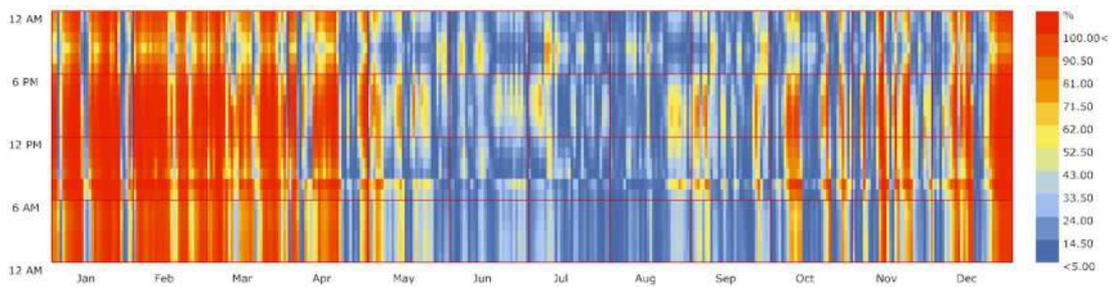
Código de Obras



NBR 15.575



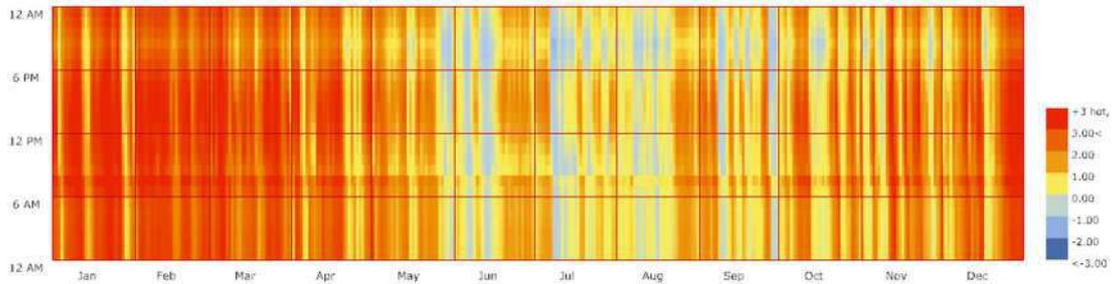
RTQ-R



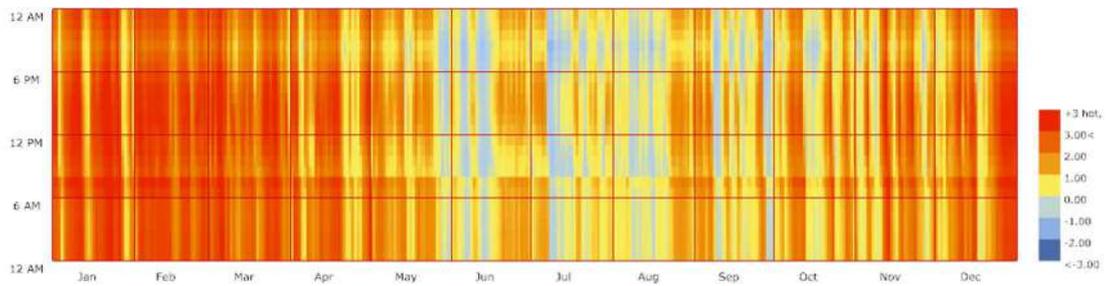
TERCEIRO ANDAR – GRÁFICO DE VOTO MÉDIO PREVISTO – LESTE

+3 hot, +2 warm, +1 slightly warm, 0 neutral, -1 slightly cool, -2 cool, -3 cold

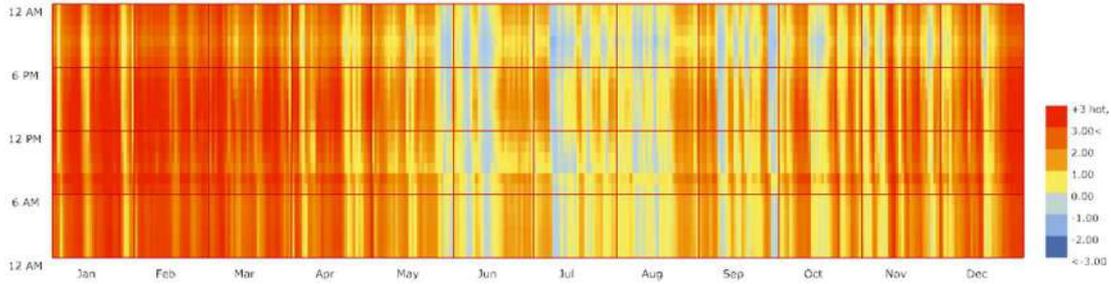
Código de Obras



NBR 15.575



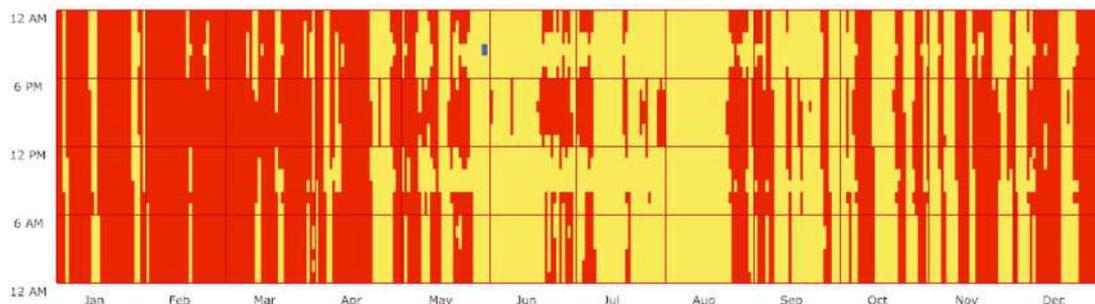
RTQ-R



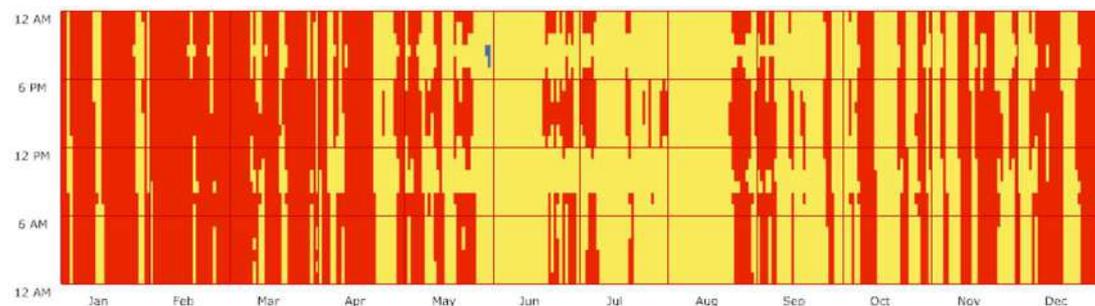
TERCEIRO ANDAR – GRÁFICO DE CONDIÇÃO DA PESSOA – NORTE



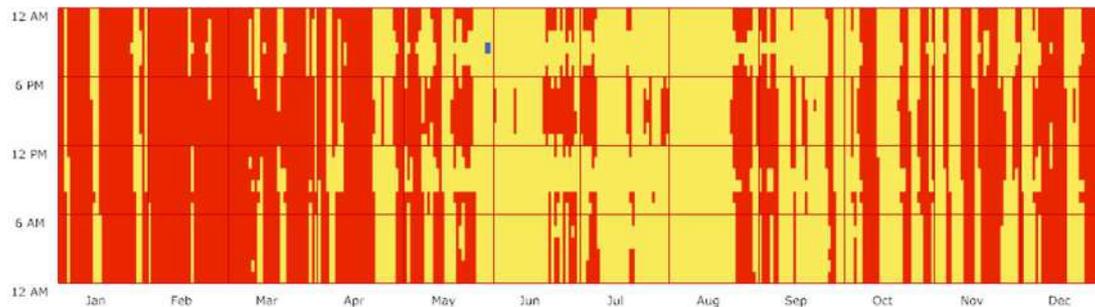
Código de Obras



NBR 15.575

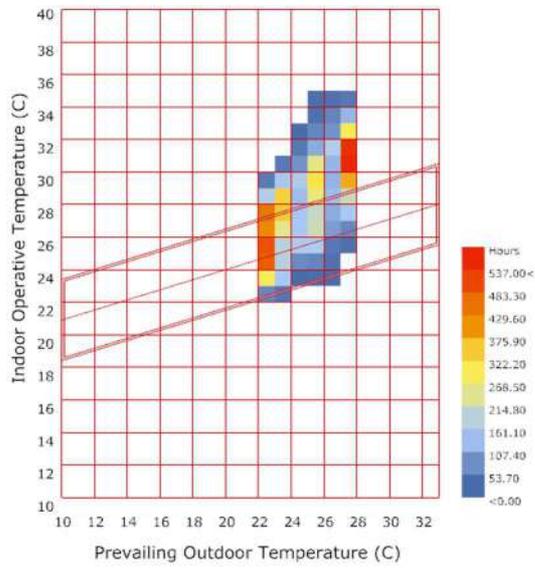


RTQ-R

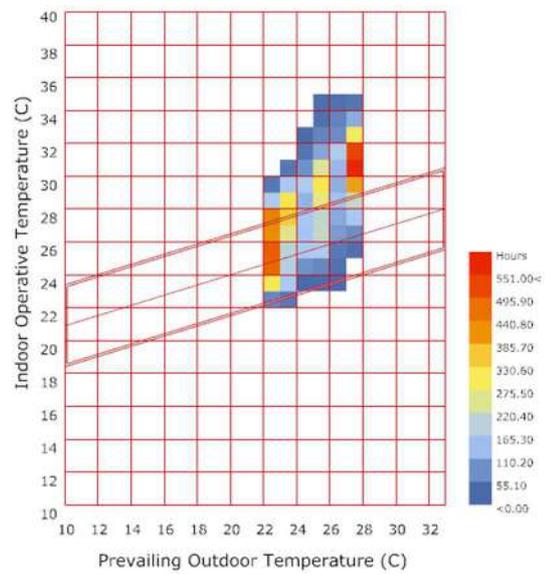


TERCEIRO ANDAR – QUADRO DE CONFORTO ADAPTATIVO – NORTE

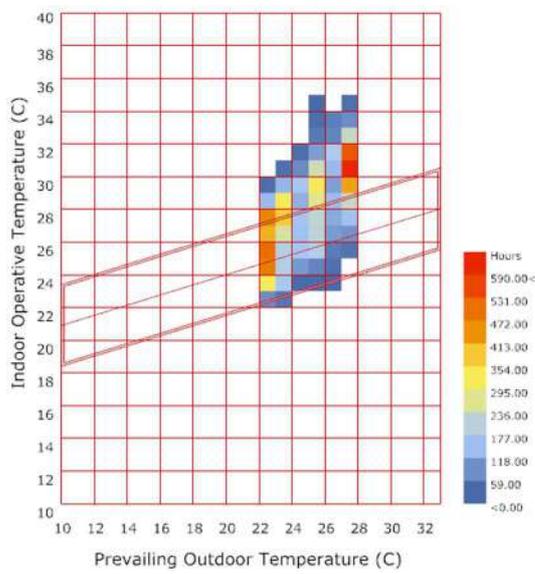
Código de Obras



RTQ-R



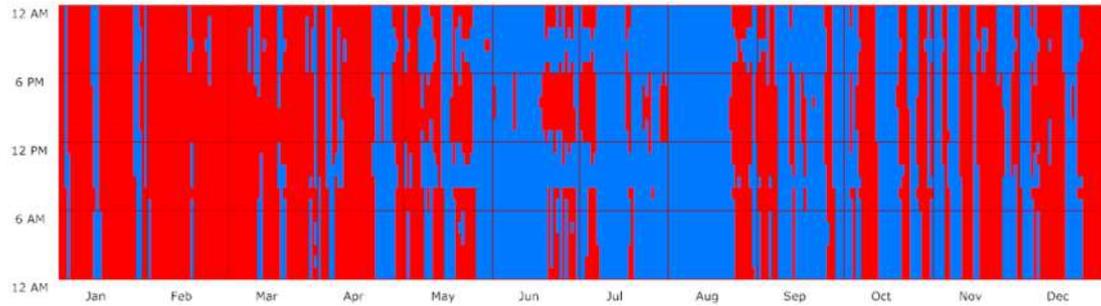
NBR 15.575



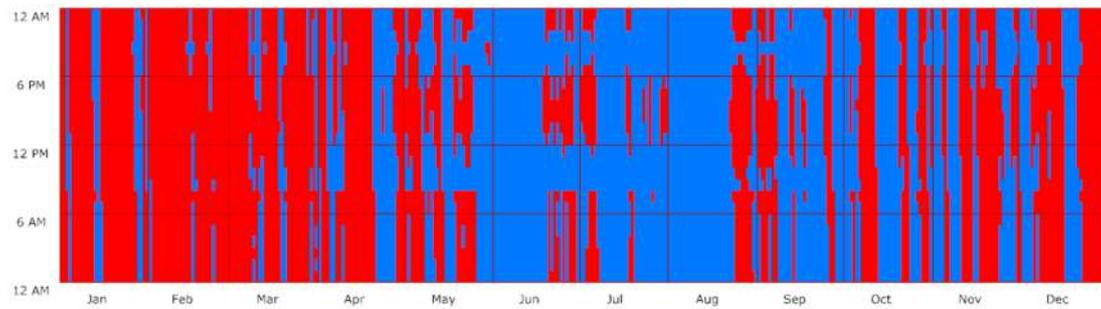
TERCEIRO ANDAR – GRÁFICO SENSACÃO DE CONFORTÁVEL OU NÃO - NORTE



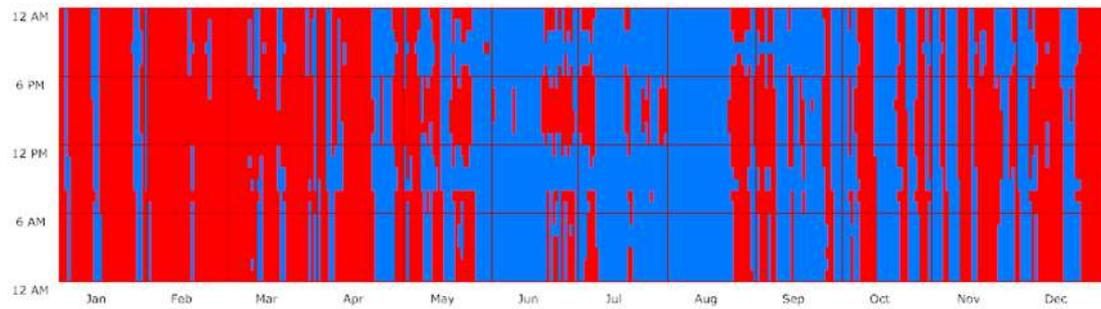
Código de Obras



NBR 15.575

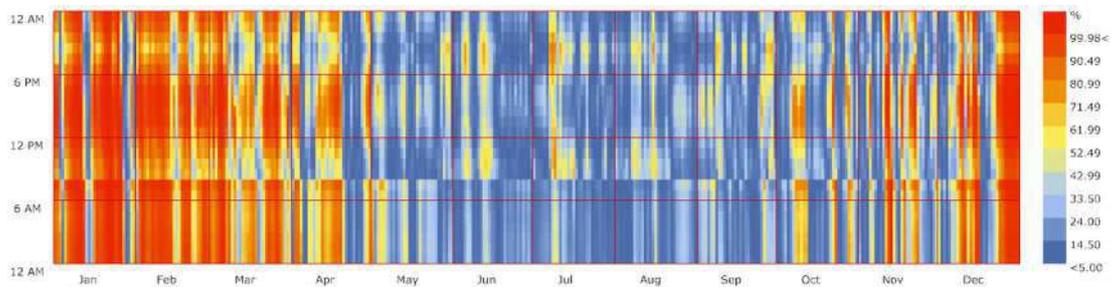


RTQ-R

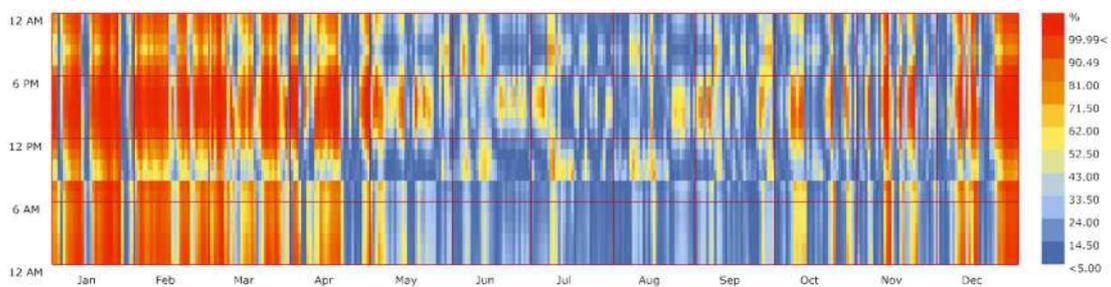


TERCEIRO ANDAR – GRÁFICO DE PERCENTUAL DE PESSOAS INSATISFEITAS – NORTE

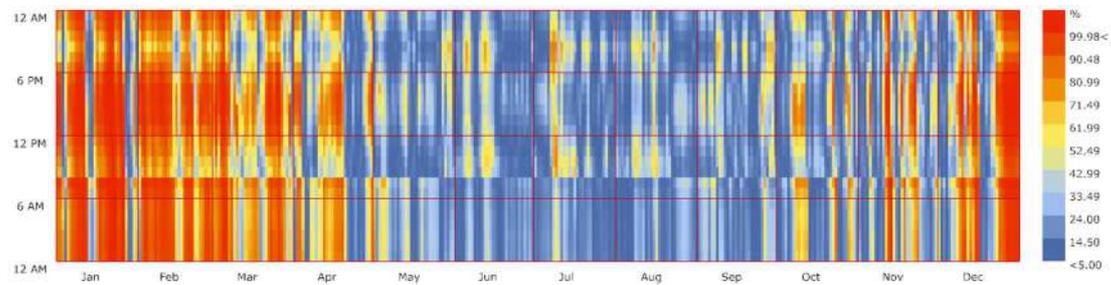
Código de Obras



NBR 15.575



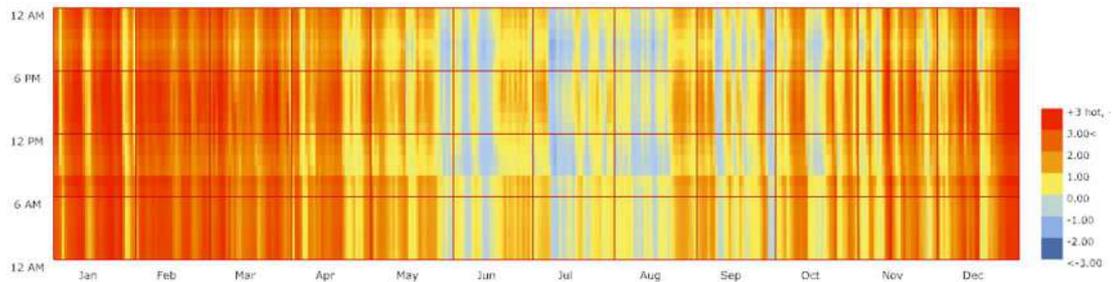
RTQ-R



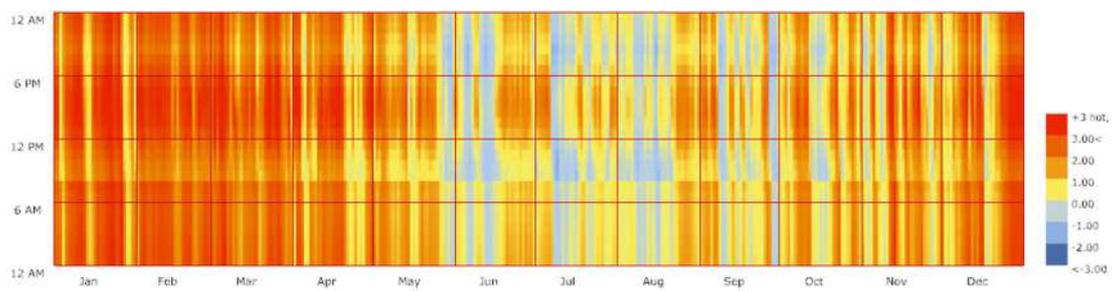
TERCEIRO ANDAR – GRÁFICO DE VOTO MÉDIO PREVISTO – NORTE

+3 hot, +2 warm, +1 slightly warm, 0 neutral, -1 slightly cool, -2 cool, -3 cold

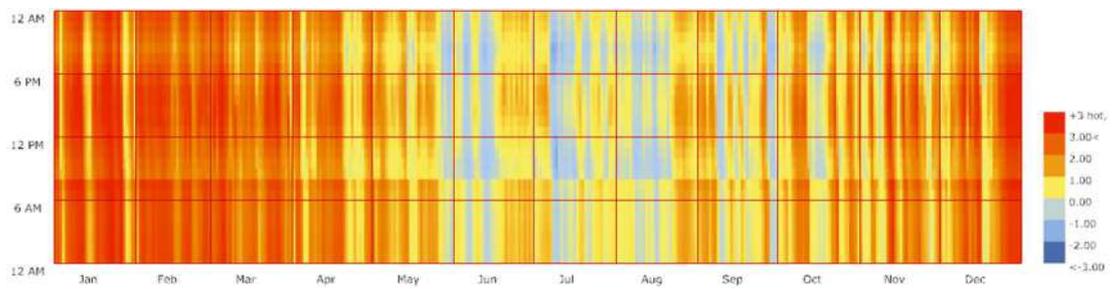
Código de Obras



NBR 15.575



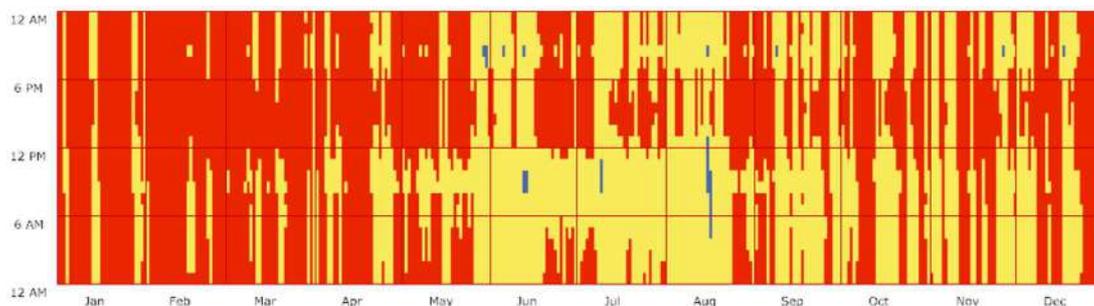
RTQ-R



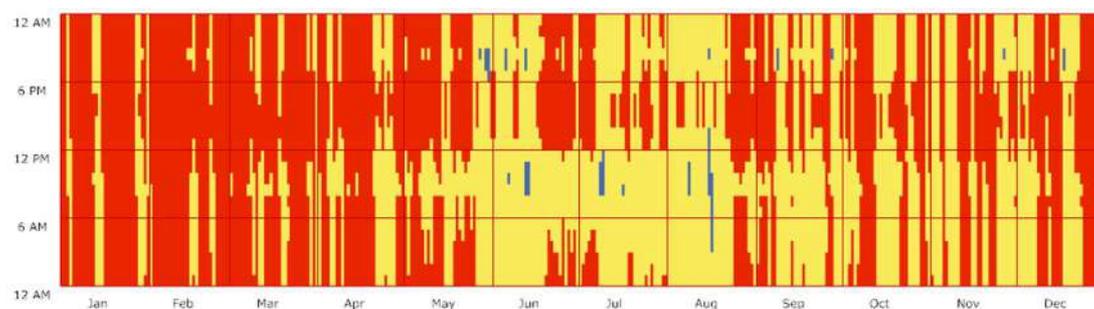
QUINTO ANDAR – GRÁFICO DE CONDIÇÃO DA PESSOA – OESTE



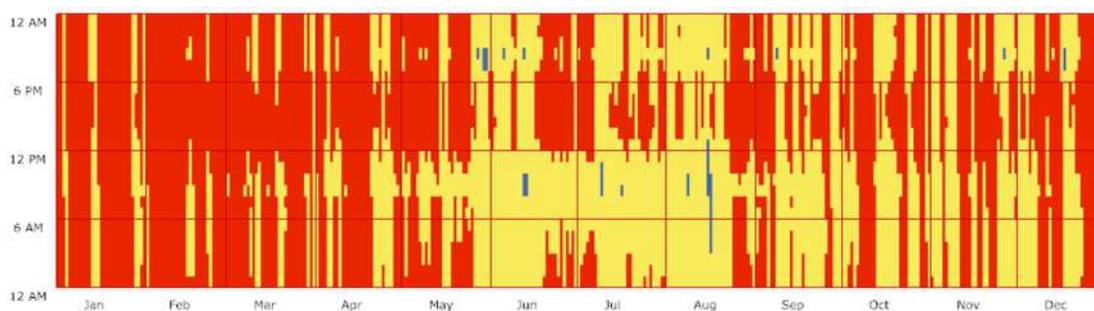
Código de Obras



NBR 15.575

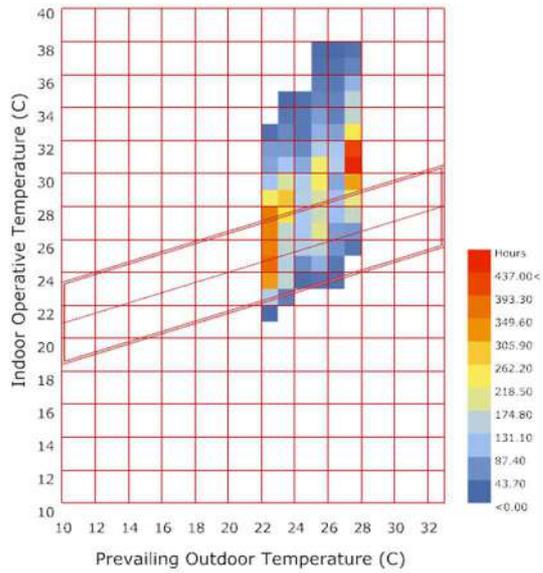


RTQ-R

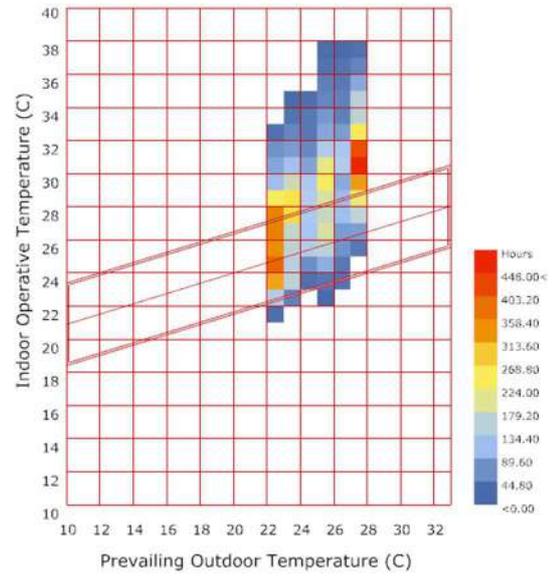


QUINTO ANDAR – QUADRO DE CONFORTO ADAPTATIVO – OESTE

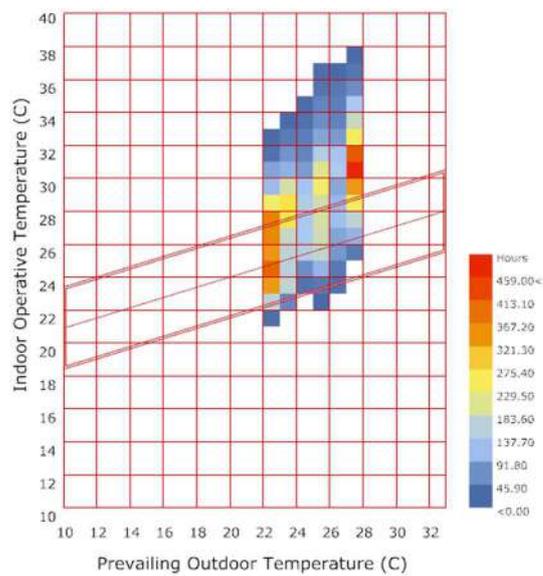
Código de Obras



RTQ-R



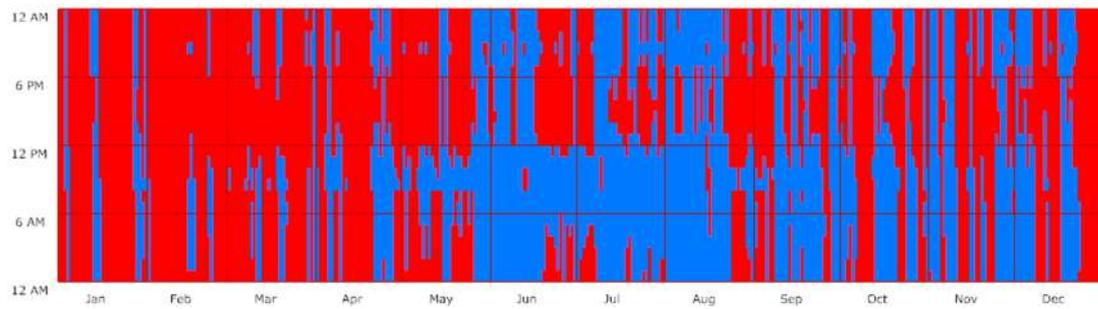
NBR 15.575



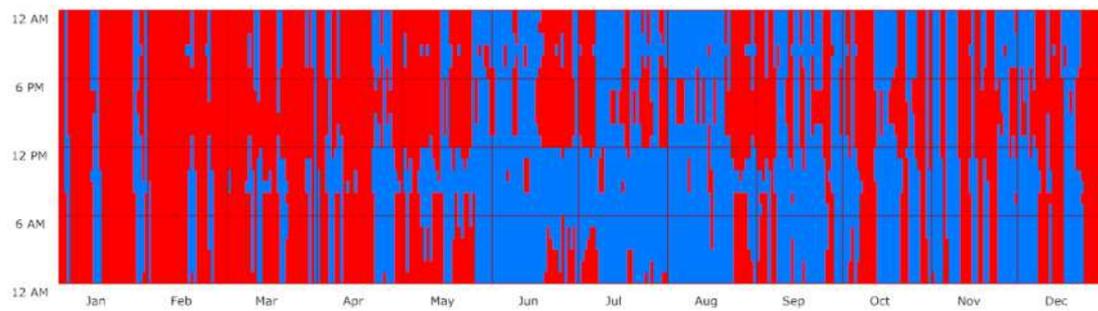
QUINTO ANDAR – GRÁFICO SENSAÇÃO DE CONFORTÁVEL OU NÃO - OESTE



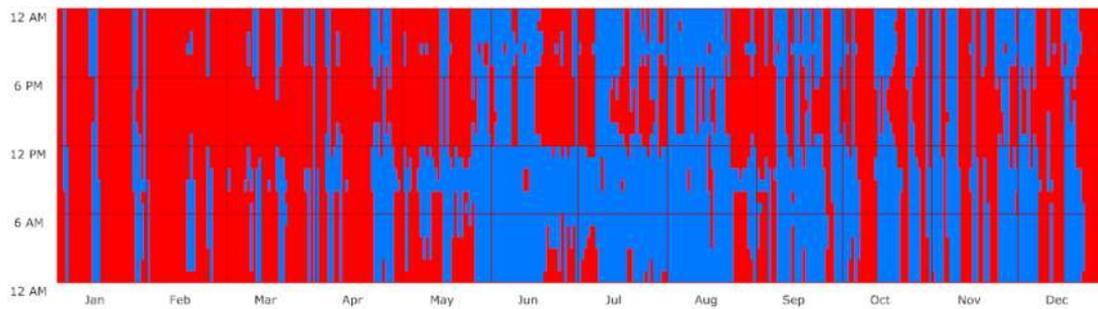
Código de Obras



NBR 15.575

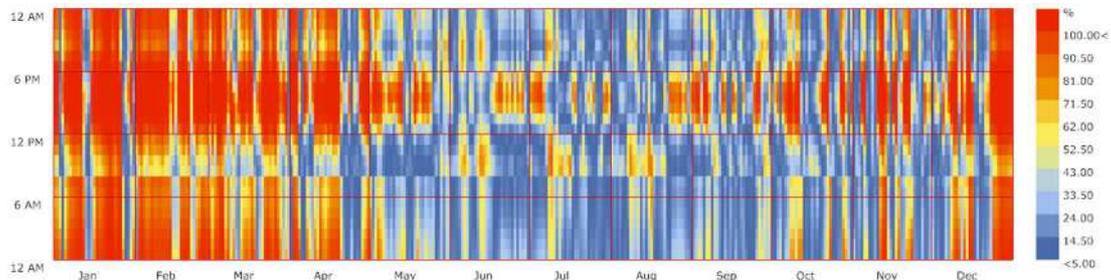


RTQ-R

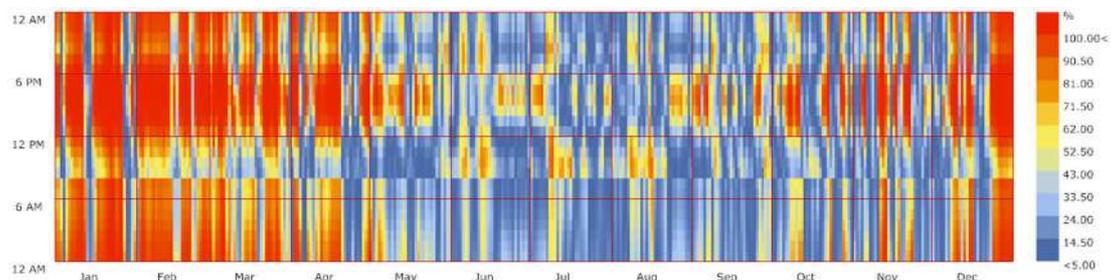


QUINTO ANDAR – GRÁFICO DE PERCENTUAL DE PESSOAS INSATISFEITAS – OESTE

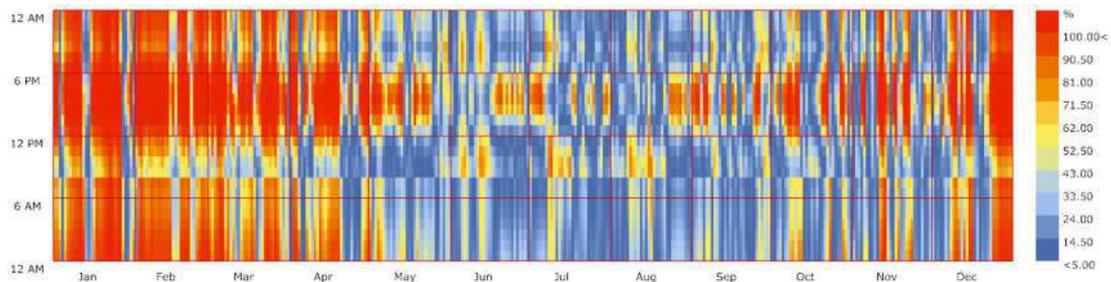
Código de Obras



NBR 15.575



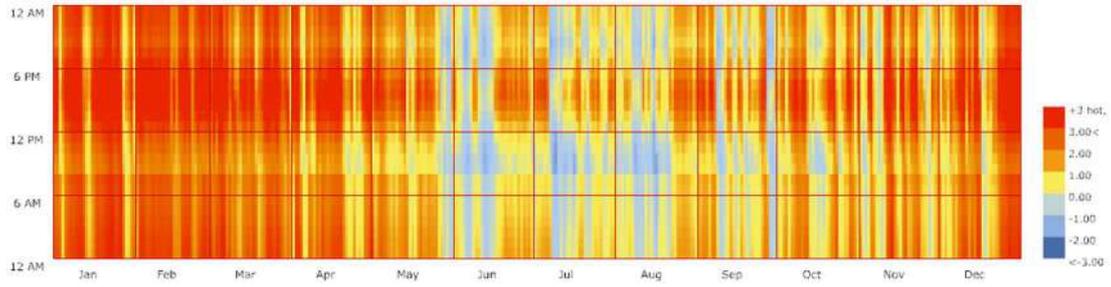
RTQ-R



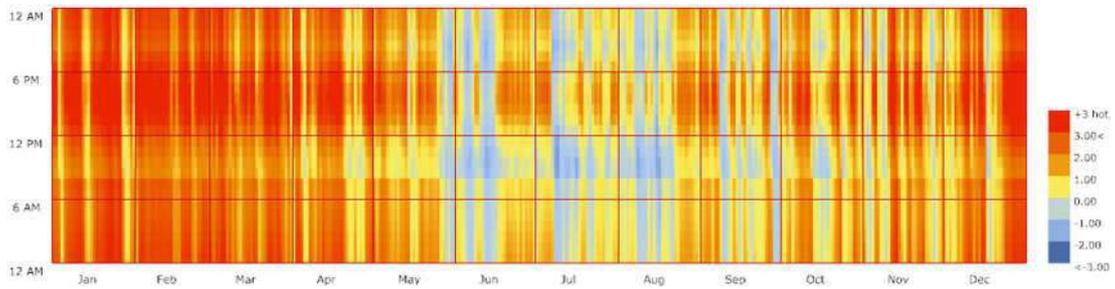
QUINTO ANDAR – GRÁFICO DE VOTO MÉDIO PREVISTO – OESTE

+3 hot, +2 warm, +1 slightly warm, 0 neutral, -1 slightly cool, -2 cool, -3 cold

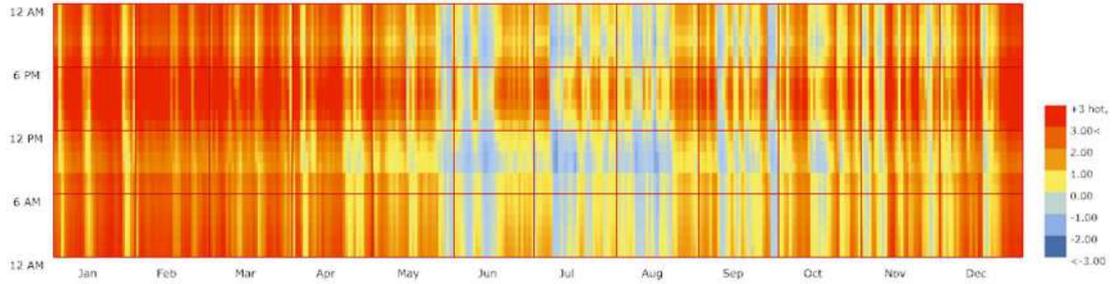
Código de Obras



NBR 15.575



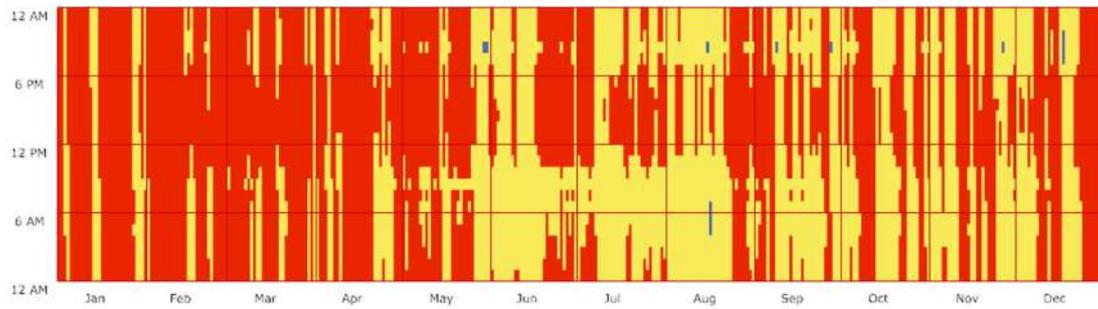
RTQ-R



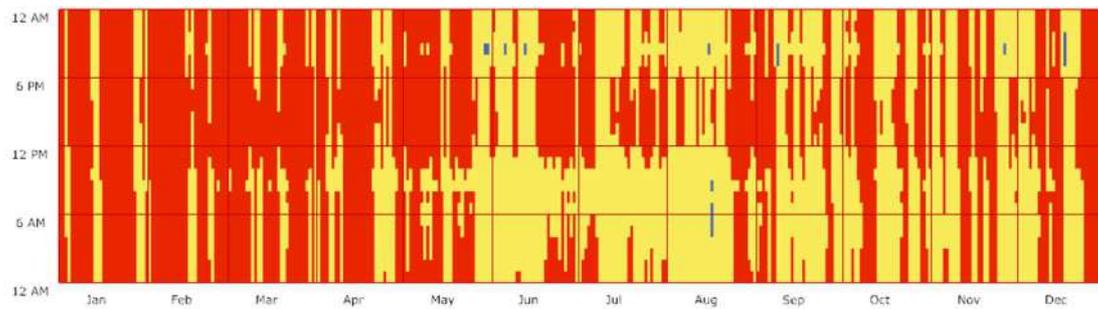
QUINTO ANDAR – GRÁFICO DE CONDIÇÃO DA PESSOA – SUL



Código de Obras



NBR 15.575

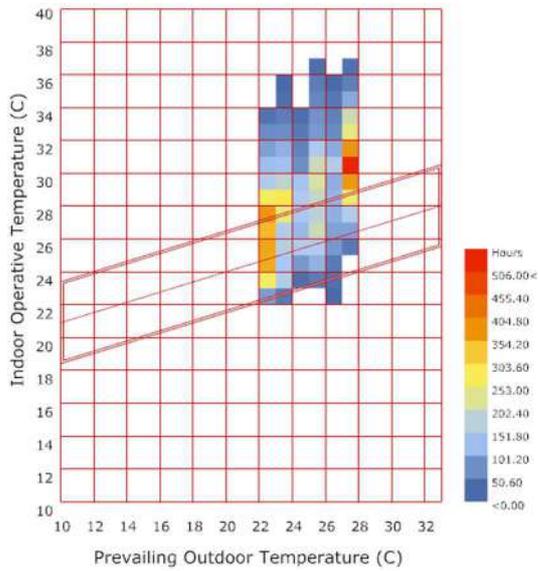


RTQ-R

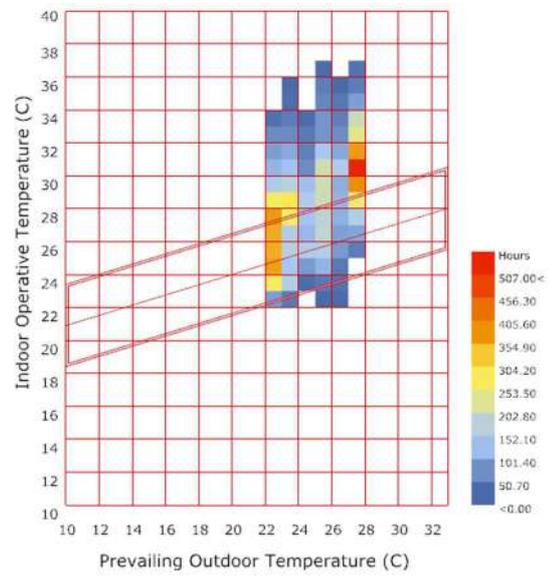


QUINTO ANDAR – QUADRO DE CONFORTO ADAPTATIVO – SUL

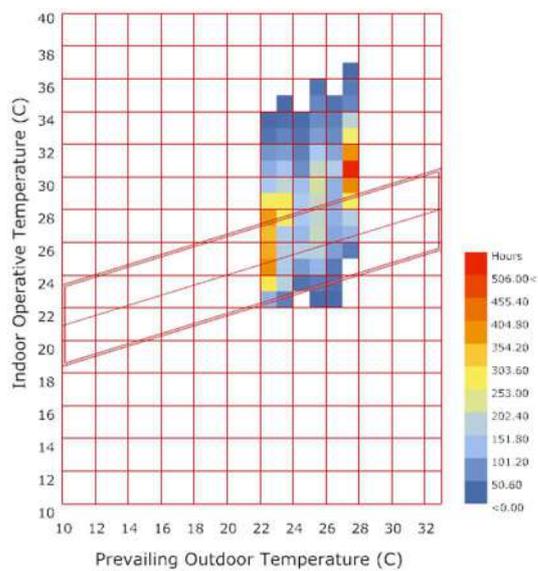
Código de Obras



RTQ-R



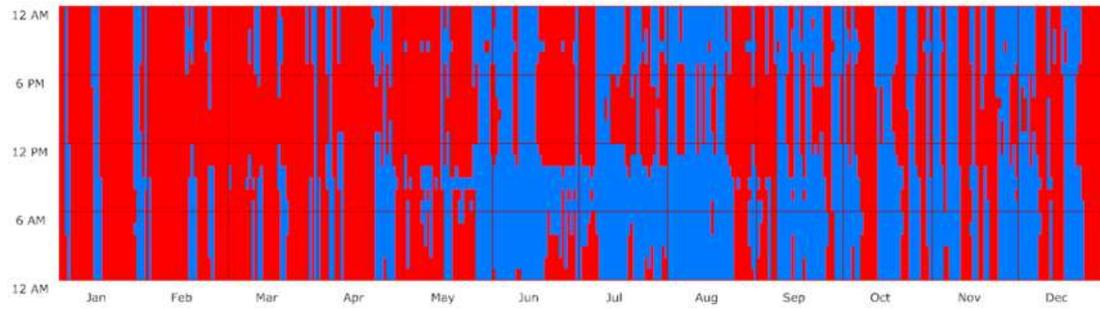
NBR 15.575



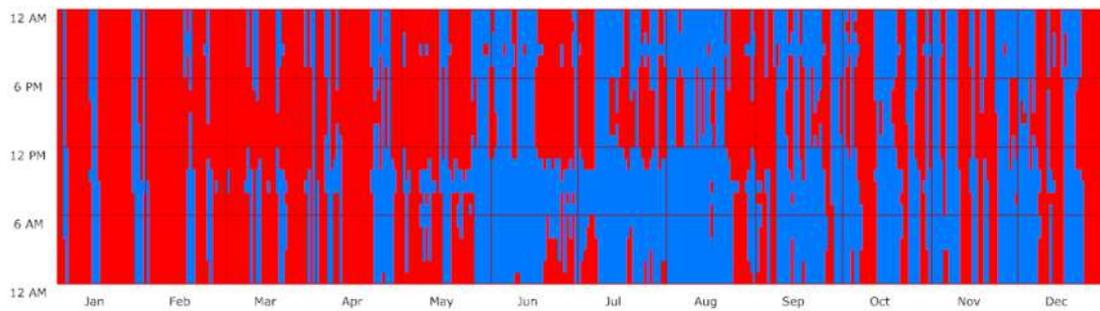
QUINTO ANDAR – GRÁFICO SENSAÇÃO DE CONFORTÁVEL OU NÃO - SUL



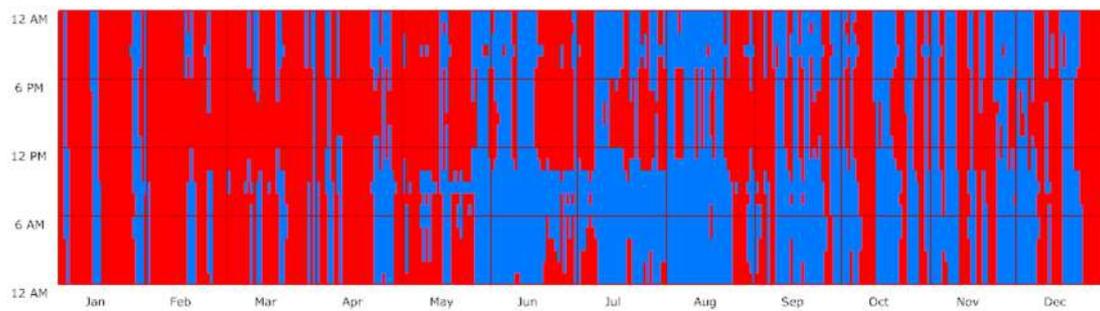
Código de Obras



NBR 15.575

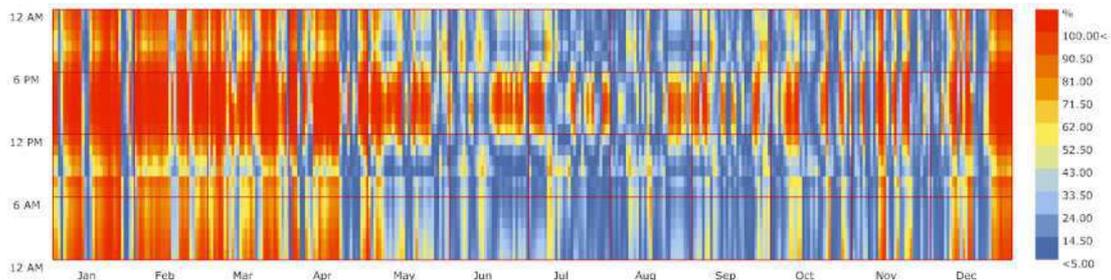


RTQ-R

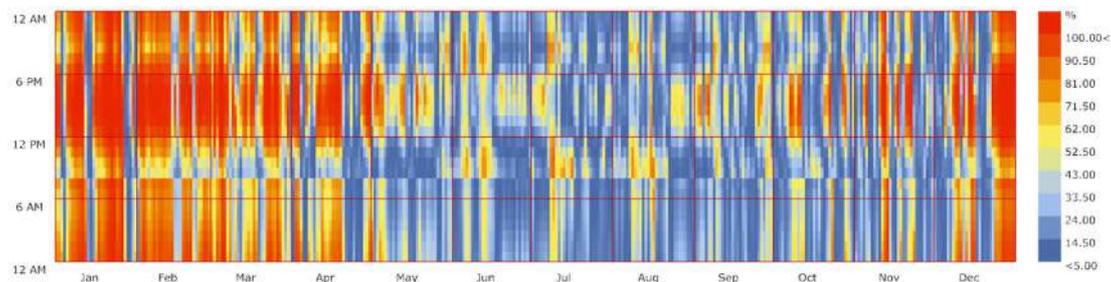


QUINTO ANDAR – GRÁFICO DE PERCENTUAL DE PESSOAS INSATISFEITAS – SUL

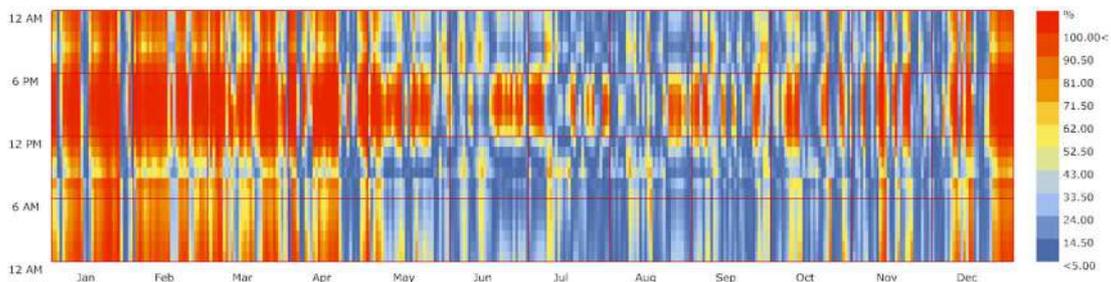
Código de Obras



NBR 15.575



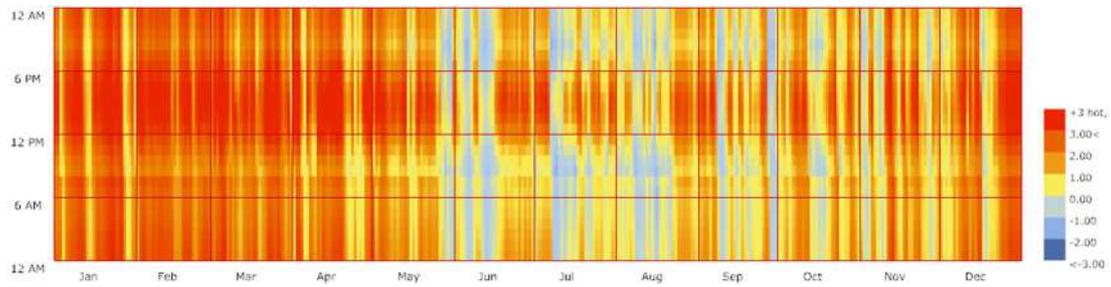
RTQ-R



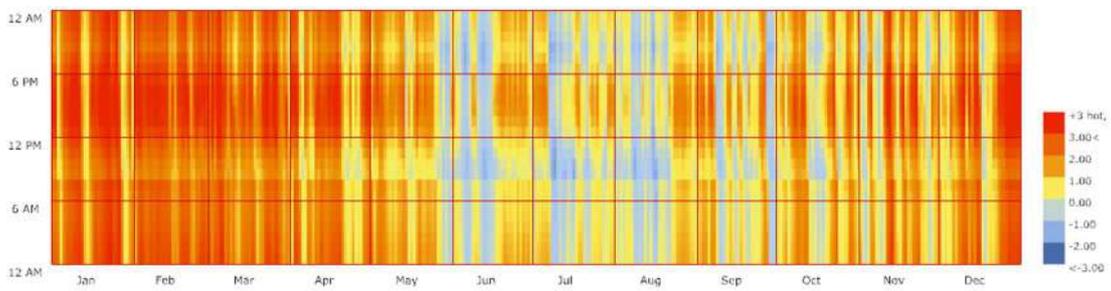
QUINTO ANDAR – GRÁFICO DE VOTO MÉDIO PREVISTO – SUL

+3 hot, +2 warm, +1 slightly warm, 0 neutral, -1 slightly cool, -2 cool, -3 cold

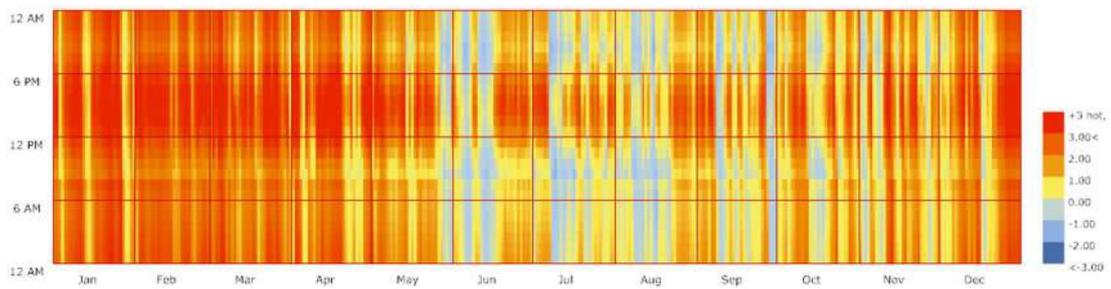
Código de Obras



NBR 15.575



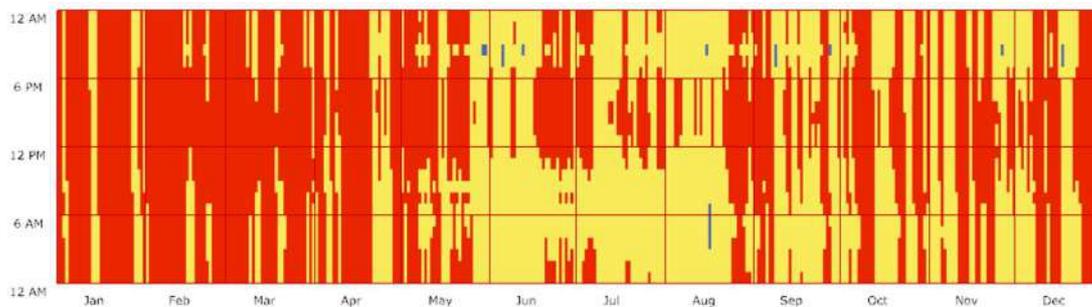
RTQ-R



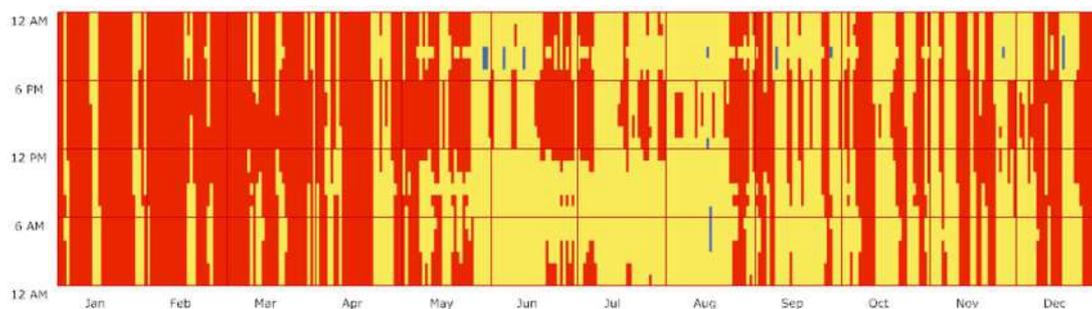
QUINTO ANDAR – GRÁFICO DE CONDIÇÃO DA PESSOA – LESTE



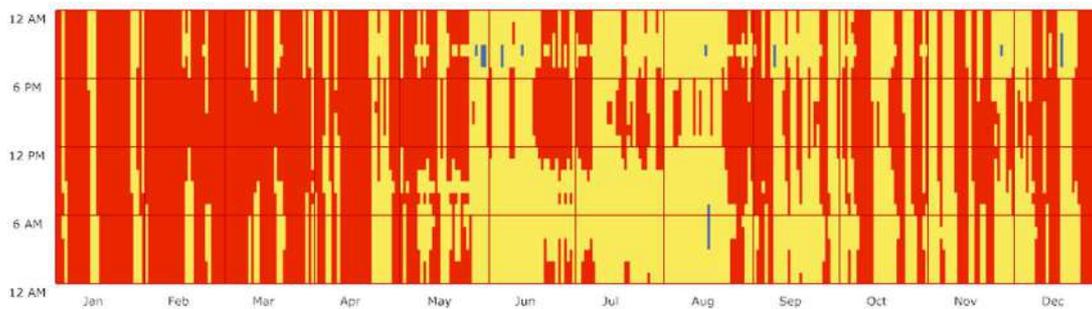
Código de Obras



NBR 15.575

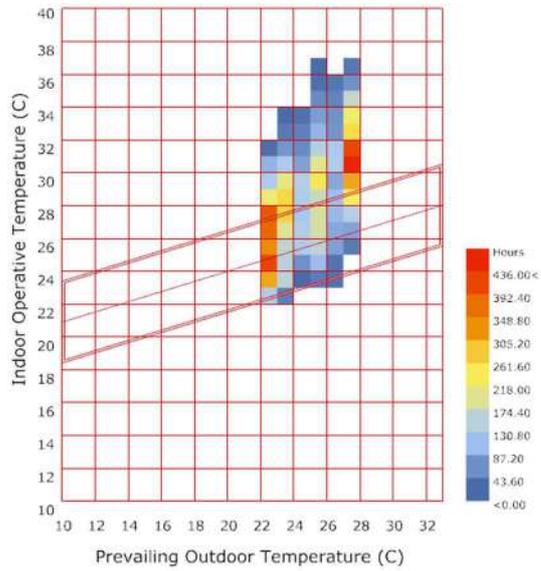


RTQ-R

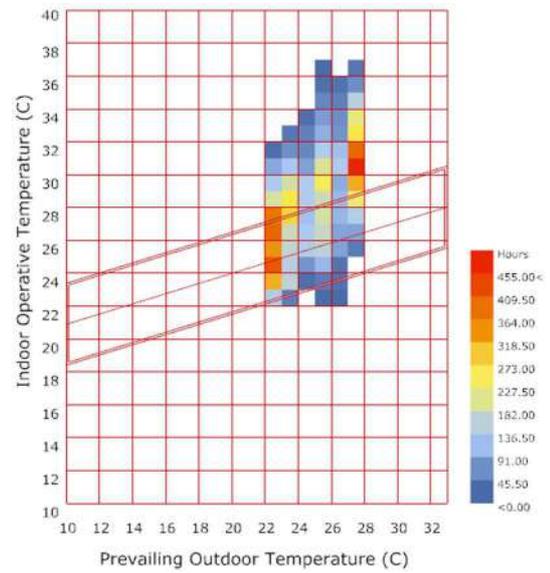


QUINTO ANDAR – QUADRO DE CONFORTO ADAPTATIVO – LESTE

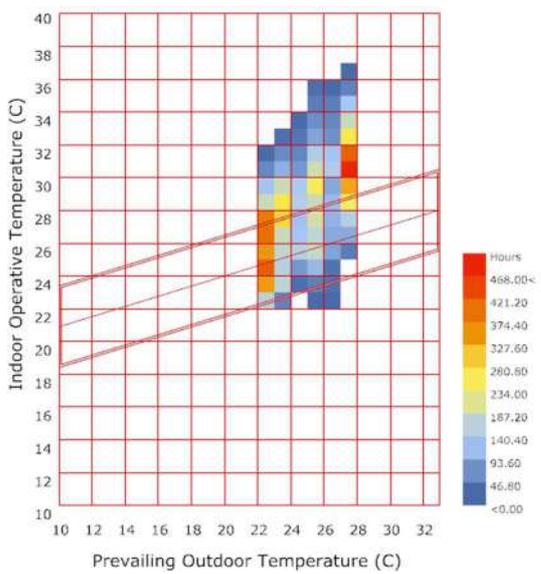
Código de Obras



RTQ-R



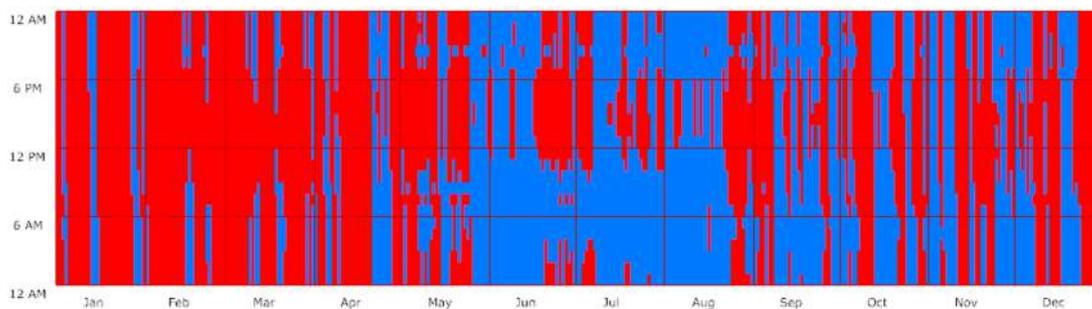
NBR 15.575



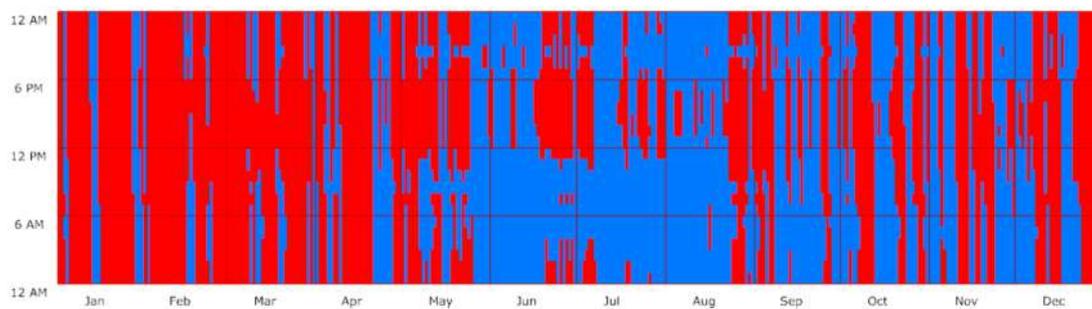
QUINTO ANDAR – GRÁFICO SENSACÃO DE CONFORTÁVEL OU NÃO - LESTE



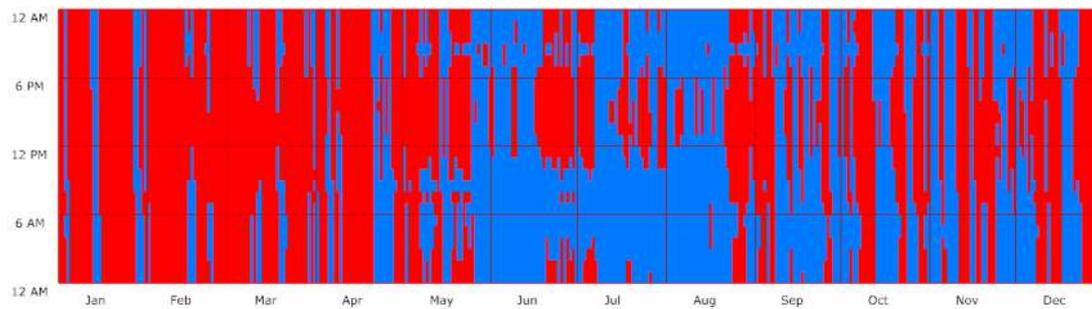
Código de Obras



NBR 15.575

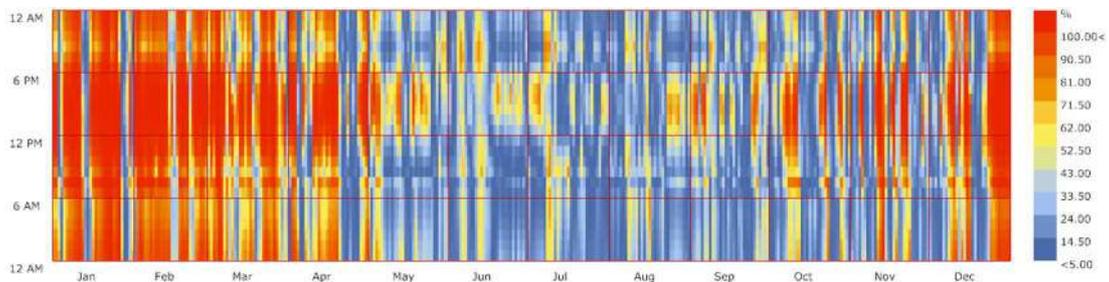


RTQ-R

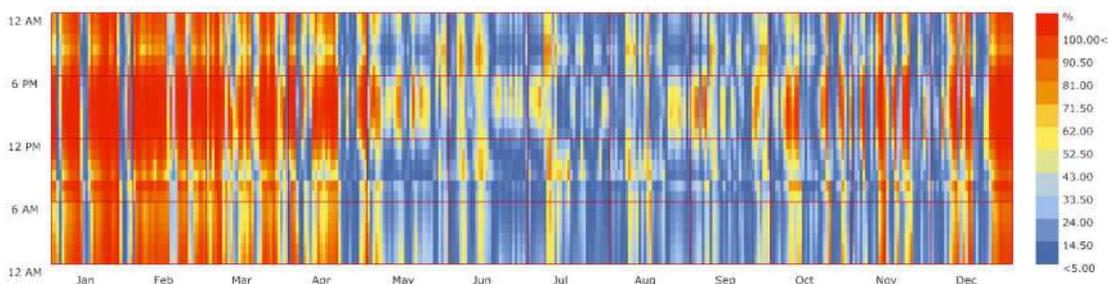


QUINTO ANDAR – GRÁFICO DE PERCENTUAL DE PESSOAS INSATISFEITAS – LESTE

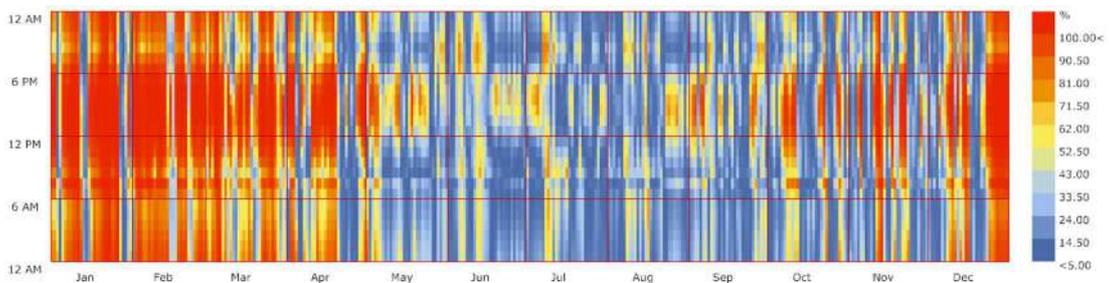
Código de Obras



NBR 15.575



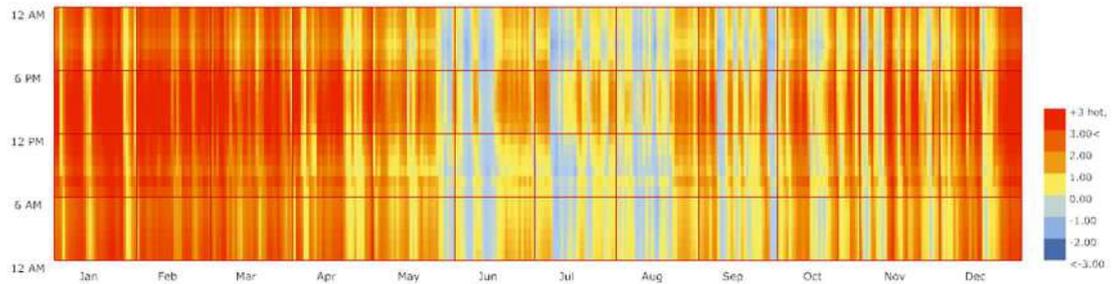
RTQ-R



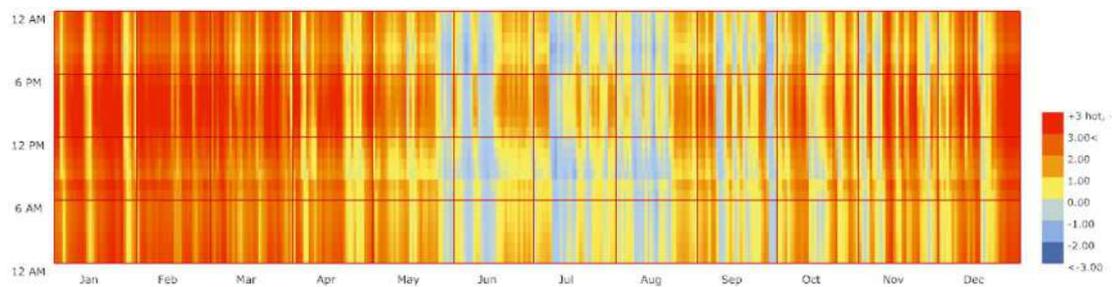
QUINTO ANDAR – GRÁFICO DE VOTO MÉDIO PREVISTO – LESTE

+3 hot, +2 warm, +1 slightly warm, 0 neutral, -1 slightly cool, -2 cool, -3 cold

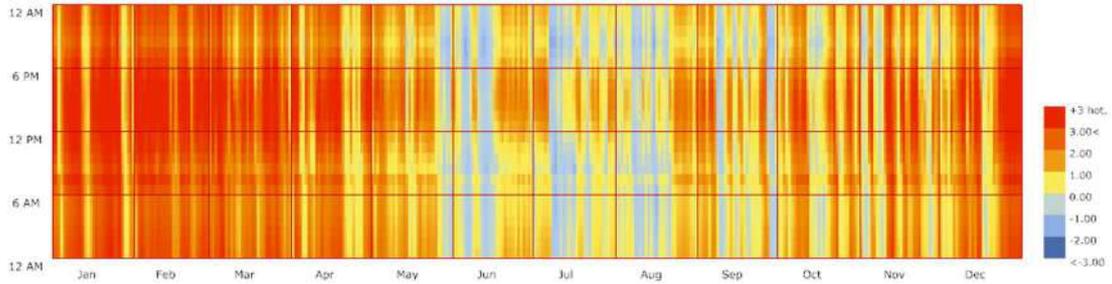
Código de Obras

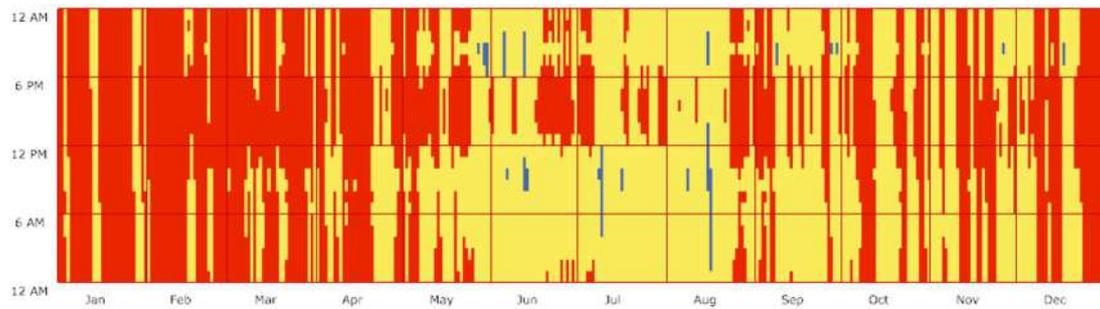
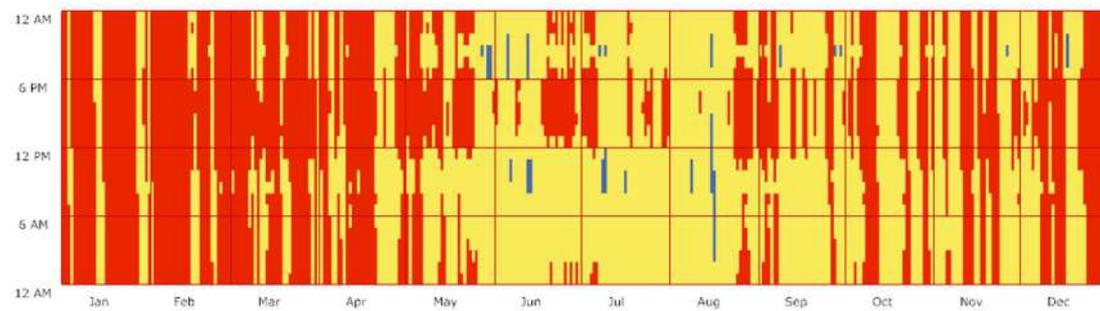
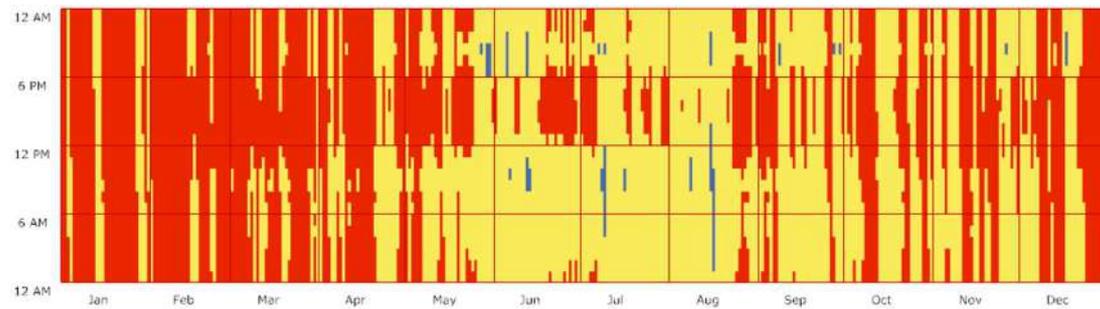


NBR 15.575



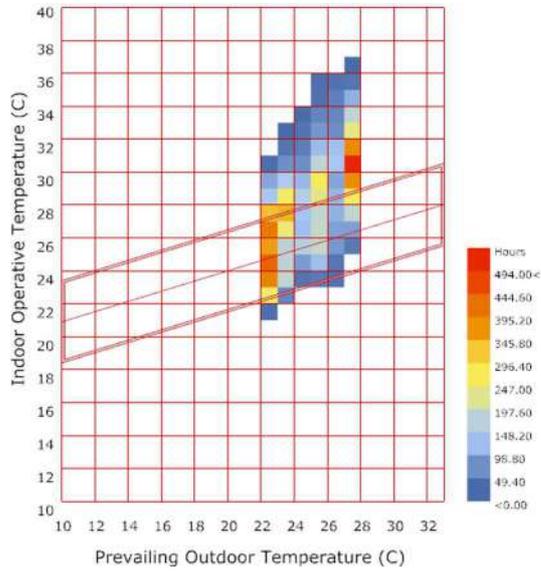
RTQ-R



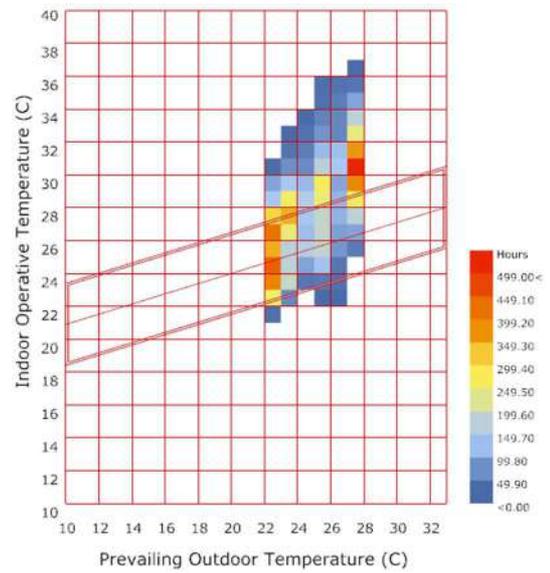
QUINTO ANDAR – GRÁFICO DE CONDIÇÃO DA PESSOA – NORTE**Código de Obras****NBR 15.575****RTQ-R**

QUINTO ANDAR – QUADRO DE CONFORTO ADAPTATIVO – NORTE

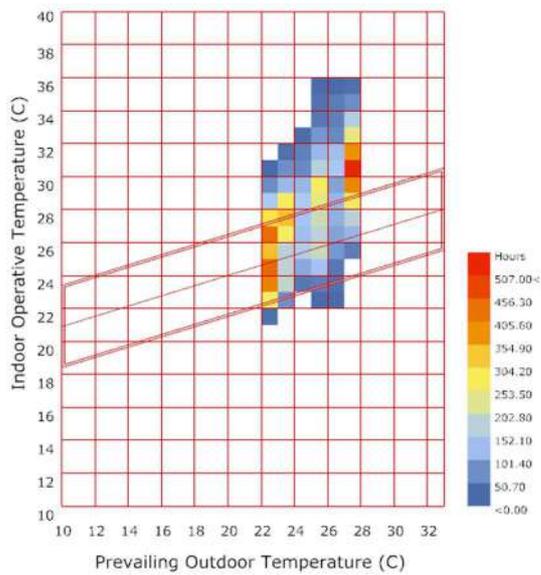
Código de Obras



RTQ-R



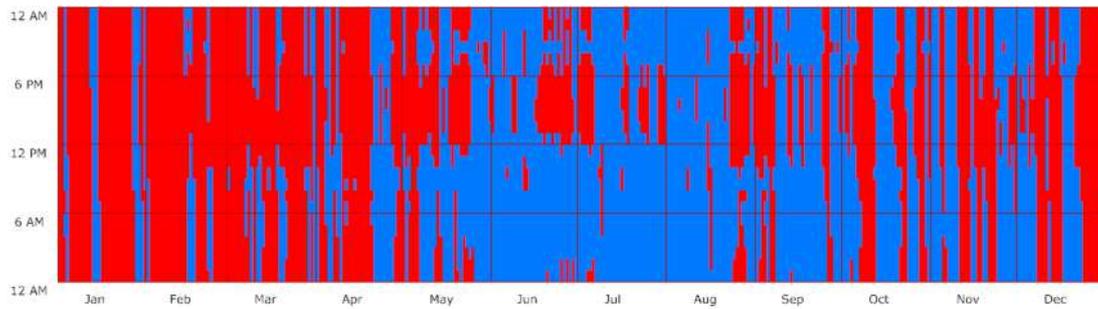
NBR 15.575



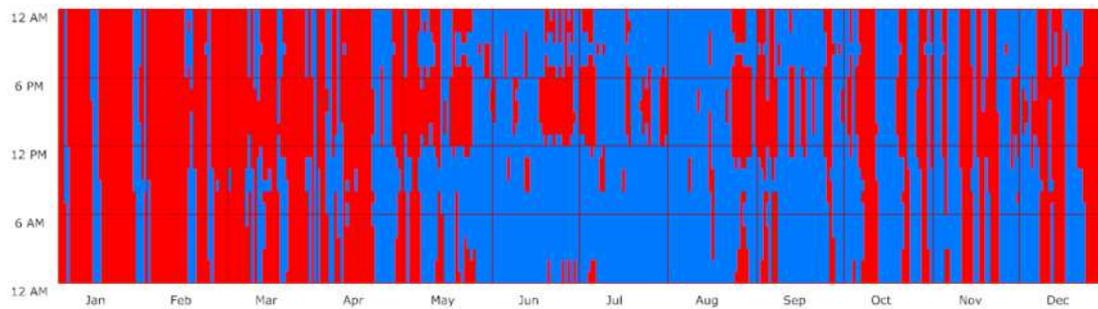
QUINTO ANDAR – GRÁFICO SENSACÃO DE CONFORTÁVEL OU NÃO - NORTE



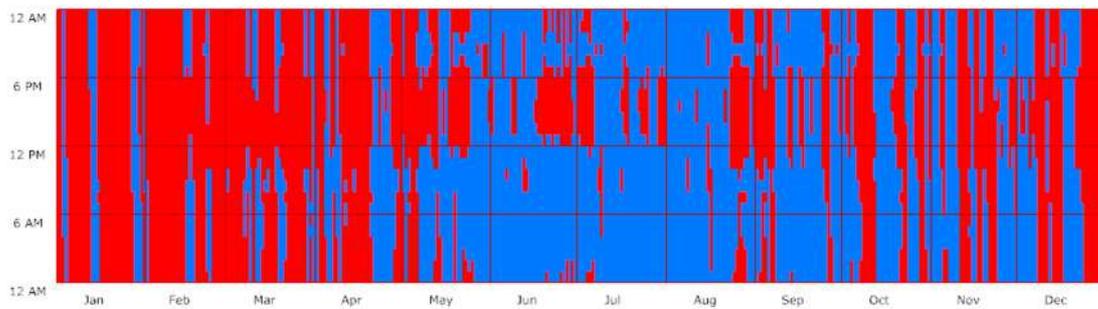
Código de Obras



NBR 15.575

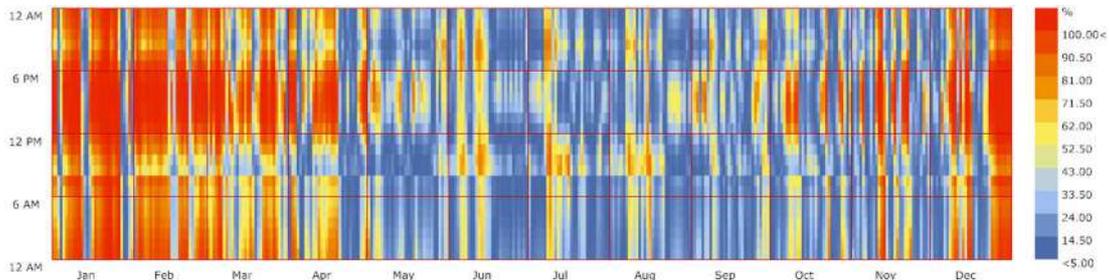


RTQ-R

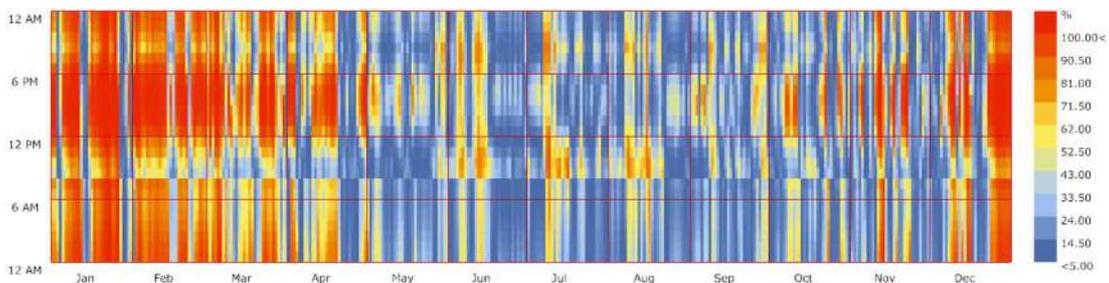


QUINTO ANDAR – GRÁFICO DE PERCENTUAL DE PESSOAS INSATISFEITAS – NORTE

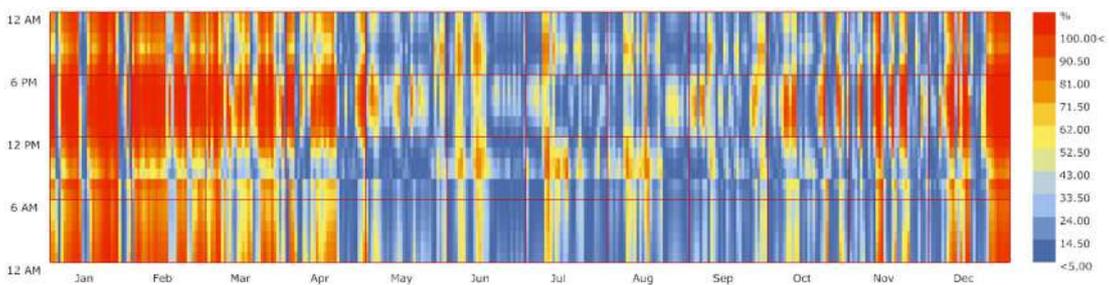
Código de Obras



NBR 15.575



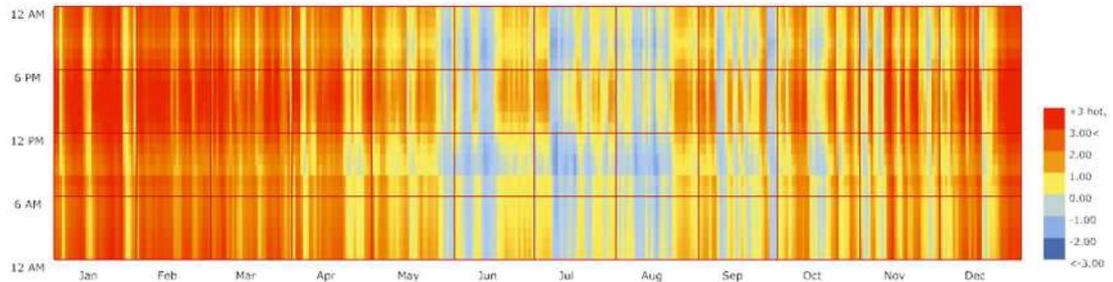
RTQ-R



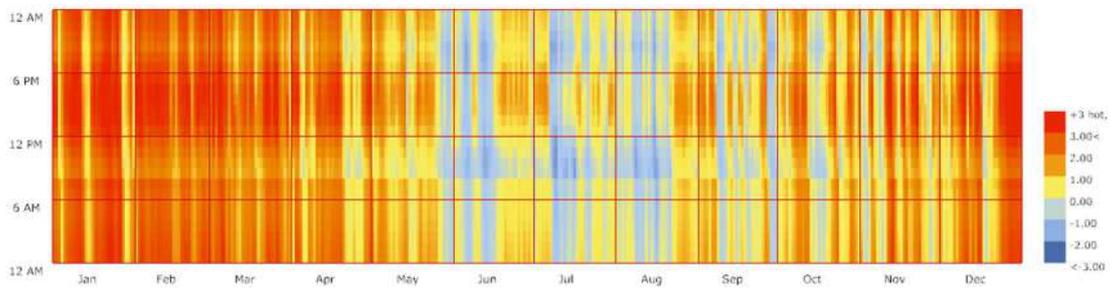
QUINTO ANDAR – GRÁFICO DE VOTO MÉDIO PREVISTO – NORTE

+3 hot, +2 warm, +1 slightly warm, 0 neutral, -1 slightly cool, -2 cool, -3 cold

Código de Obras



NBR 15.575



RTQ-R

