

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO – FAU
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

Thássia Catherine Costa Nascimento

**AVALIAÇÃO DA NBR 15575 QUANTO AO DESEMPENHO TÉRMICO E
LUMINOSO: ESTUDO DE CASO EM MACEIÓ-AL**

**MACEIÓ
2016**

Thássia Catherine Costa Nascimento

**AVALIAÇÃO DA NBR 15575 QUANTO AO DESEMPENHO TÉRMICO E
LUMINOSO: ESTUDO DE CASO EM MACEIÓ-AL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas como requisito para obtenção do título de mestre em Arquitetura e Urbanismo.

**Orientadora: Prof^a. Dra. Juliana Oliveira
Batista**

Maceió
2016

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central

Bibliotecário Responsável: Valter dos Santos Andrade

N244a Nascimento, Thássia Catherine Costa.

Avaliação da NBR 15.575 quanto ao desempenho térmico e luminoso: estudo de caso em Maceió-AL / Thássia Catherine Costa Nascimento. – 2016.
182 f.: il.

Orientadora: Juliana de Oliveira Batista.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2016.

Bibliografia: f. 148-154.

Apêndices: f. 155-181.

1. NBR 15.575 - Utilização. 2. Desempenho térmico e luminoso. 3. Habitação multifamiliar - Maceió. 4. Simulação por computador. I. Título.

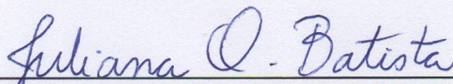
CDU: 728.2:628.97

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO – FAU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

THÁSSIA CATHERINE COSTA NASCIMENTO

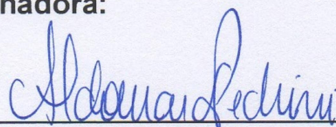
Avaliação da NBR 15575 quanto ao desempenho térmico e luminoso: estudo de caso em Maceió-AL.

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, área de concentração em Dinâmicas do Espaço Habitado, da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas e aprovada em 23 de agosto de 2016.



Prof^a. Dra. JULIANA OLIVEIRA BATISTA
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL (Orientadora)

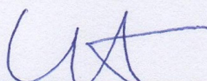
Banca Examinadora:



Prof. Dr. ALDOMAR PEDRINI
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFRN (Examinador externo)



Prof. Dr. RICARDO CARVALHO CABUS
Centro de Tecnologia – UFAL (Examinador interno)



Prof. Dr. LEONARDO SALAZAR BITTENCOURT
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL (Examinador interno)

Aos meus pais,
com amor.

AGRADECIMENTOS

A energia Divina por todas as bênçãos recebidas e caminhos guiados.

Aos **meus pais, Sara e Marcos**, por seu amor, apoio e paciência, por estarem sempre dispostos a ajudar de alguma forma. A minha mãe pela dedicação e cuidados. Amo vocês e sou muito grata por tê-los perto!

Ao meu irmão **Arthur** pelo incentivo e pela torcida sempre, por ser um irmão presente e parceiro.

A **Diego**, por todo amor, apoio e incentivo, por me encorajar e ser presente em todos os momentos. Por ser meu companheiro de caminhada da vida.

Aos amigos e familiares que estiveram comigo ao longo dessa jornada.

À minha orientadora querida, **Juliana Batista**, por toda atenção e disponibilidade. Por contribuir enormemente com minha formação, por me ensinar tanto. Grata!

Aos professores componentes da **banca de avaliação**, pela disponibilidade, atenção e conhecimento compartilhado.

Aos **amigos do curso de mestrado**, pela troca de conhecimento, pela união e por dividir os momentos bons e as angústias desse período.

Aos que compõem os grupos de pesquisa de conforto (LabConf) e de iluminação (GRILU), pela assistência e suporte.

Aos professores e técnicos que o compõem o **DEHA**, por tornarem possível esta conquista. Especialmente aos Professores **Gianna Barbirato, Ricardo Cabús e Leonardo Bittencout** por me indicarem caminhos, pela disponibilidade em esclarecer minhas dúvidas e por incentivarem meu lado pesquisadora.

A **CAPES** pela bolsa de estudos que viabilizou a dedicação exclusiva a esta pesquisa.

A todos os que de alguma forma contribuíram para a realização desta pesquisa. Minha gratidão!

RESUMO

A entrada em vigor da NBR15575 em 2013 representou um importante marco na busca por edificações de qualidade no Brasil. Esta dissertação tem como objetivo principal avaliar as classificações de desempenho da NBR15575/2013 em relação às suas contribuições para o atendimento às exigências de conforto térmico e luminoso de uma edificação residencial multifamiliar, na cidade de Maceió-AL. A investigação baseou-se em um estudo de caso de uma edificação de 12 pavimentos, localizada no bairro de Jatiúca, Maceió. Foram feitas simulações com os programas Troplux 7.0 e EnergyPlus 8.1.0 para o quarto de casal em unidades habitacionais (UHs) no 1º e 12º pavimentos. As UHs orientadas a norte, sul, leste e oeste foram avaliadas quanto ao desempenho luminoso e a leste e oeste quanto ao desempenho térmico. Na mesa d'água foi simulado o pavimento tipo e a edificação locada no seu entorno, para análise do fluxo da ventilação natural correspondente aos ventos mais frequentes na cidade. Para a avaliação de desempenho, os resultados foram divididos em dois grupos: Grupo1, critérios e parâmetros baseados na NBR15575/2013 e Grupo2, fundamentado em normas internacionais (ASHRAE 55 e BS EN15251) e em estudos científicos já realizados na área. Para a avaliação do desempenho luminoso do Grupo1, restrita a 4 momentos isolados do ano, observou-se que a norma distancia sua avaliação da realidade de uso da edificação. Considerando todos os dias do ano, no Grupo2, foi possível identificar períodos nos quais o usuário pode evitar a iluminação artificial como complemento. Observou-se coerência entre os resultados dos critérios de porcentagem de área do ambiente (PA) e de porcentagem de horas do ambiente dentro do intervalo de UDI (PH), sendo possível avaliar a distribuição da luz no ambiente. Com a classificação final do Grupo1 (Superior) e do Grupo2 (Intermediária), percebeu-se que o limite mínimo de iluminância dado pela norma pode não ser suficiente para garantir o conforto visual dos usuários, podendo haver excesso de luz, grandes contrastes no ambiente e a consequente probabilidade de desconforto, recomendando-se estabelecer um limite máximo de iluminâncias. Com relação ao desempenho térmico, a norma apresentou contradição quando coloca o atendimento às exigências do usuário como condição de classificação de desempenho, mas desconsidera a presença das cargas térmicas internas no ambiente avaliado. A classificação final do caso sem cargas térmicas internas foi Mínima, enquanto a adição das cargas resultou em classificação insuficiente. Nos resultados obtidos no Grupo2, os casos com uso exclusivo de ventilação natural obtiveram classificação Insuficiente e com uso de ar condicionado (AC) a classificação subiu para Mínima (AC 8h/dia) e Intermediária (AC 16h/dia). Os dados detalhados para as análises possibilitaram identificar o tempo em que o ambiente permaneceu em conforto e a intensidade do desconforto em cada mês, informações úteis para a melhoria do projeto. A classificação de desempenho adotada pela NBR15575 pode não expressar adequadamente o nível de conforto dos usuários da edificação, sendo importantes novos estudos sobre a adoção de níveis de classificação de desempenho associados ao conforto dos usuários contribuindo para a melhoria da qualidade das edificações brasileiras.

Palavras chaves: NBR 15.575 - Utilização. Desempenho térmico e luminoso. Habitação multifamiliar - Maceió. Simulação por computador.

ABSTRACT

The approval of law NBR15575 in 2013 represented an important milestone in the search for quality buildings in Brazil. The objective of this dissertation is to evaluate performance ratings of NBR15575/2013 regarding its contributions to meeting the thermal and luminosity requirements for a multifamily residential building in the city of Maceió-AL. Our research was based on the case study of a 12-story building, located in the Jatiúca neighborhood, Maceió. Simulations were done with the programs Troplux 7.0 and EnergyPlus 8.1.0 for the double rooms in housing units (UHs) on the 1st and 12th floors. The north, south, east and west oriented UHs were evaluated for light performance and east and west for thermal performance. The standard floor plan of the building and surroundings were simulated on the water table to analyze natural ventilation flows generated by the most frequent winds in the city. Results were divided into two groups: Group1, criteria and parameters based on NBR15575/2013 and Group2, based on international standards (ASHRAE 55 and BS EN15251) and scientific studies already carried out in the area. Evaluation of the luminosity performance of Group 1, was restricted to 4 moments of the year. It was observed that the standard distances its evaluation of the reality of use of the building. Considering every day of the year, in Group2, it was possible to identify periods in which the user can avoid artificial lighting as a complement. Coherence was observed between the results of the criteria of percentage of environmental area (PA) and percentage of hours of the environment within the range of UDI (PH), it being possible to evaluate the distribution of light in the environment. With the final classification of Group1 (Superior) and Group2 (Intermediate), it was observed that the minimum limit of illuminance given by the standard may not be enough to guarantee the visual comfort of the users, there being a possible excess of light, strong contrasting in the environment and the consequent probability of discomfort, which recommends establishment of maximum limits of illuminance. Regarding thermal performance, the standard was contradictory when it places fulfillment of user requirements as a condition of performance classification, but does not consider the presence of internal thermal loads in the evaluated environment. The final classification of the case without internal thermal loads was Minimal, while addition of the loads resulted in an Insufficient classification. In results obtained in Group2, cases with exclusive use of natural ventilation obtained an Insufficient rating and with air conditioning (AC), classification increased to Minimum (AC 8h/day) and Intermediate (AC 16h/day). Detailed data for the analyses allowed identifying the time in which the environment remained in comfort and the intensity of discomfort in each month, useful information for improvement of the project. Performance classifications adopted by NBR15575 may not adequately express the level of comfort of the building's users, it being important to undertake new studies relating to adoption of levels of performance classification associated with user comfort, thus contributing to the qualitative improvement of Brazilian buildings.

Keywords: NBR 15.575 - Utilization. Thermal and luminous performance. Multi-family housing - Maceió. Computer simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Método do gráfico da zona de conforto	42
Figura 2 – Intervalos de Temperatura operativa aceitável (to) para espaços naturalmente condicionados.....	43
Figura 3 – Temperatura interna aceita para edifícios ventilados naturalmente.....	45
Figura 4 – Organograma geral das etapas metodológicas.....	54
Figura 5 – Carta bioclimática de Maceió pelas normais climatológicas.	55
Figura 6 – Frequência de ventos por direção em Maceió-AL, baseada em Roriz (2012).	58
Figura 7 – Mapa parcial da cidade de Maceió - domicílios particulares, por valor de rendimento mediano (familiar).	60
Figura 8 – Imagem 3D do Edifício Saint Louis.	62
Figura 9 – Localização da edificação na cidade.....	62
Figura 10 – Implantação da edificação no terreno, sentido Leste-Oeste.....	63
Figura 11 – Planta baixa do pavimento tipo 1 (apenas 1º andar).	63
Figura 12 – Planta baixa do pavimento tipo 2 (2º, 3º, 8º, 9º, 10º, 11º e 12º andares).	64
Figura 13 – Planta baixa do pavimento tipo 3 (4º, 5º, 6º e 7º andares)	64
Figura 14 – Planta baixa do pavimento tipo 2, mostrando a posição das UHs, com legenda abaixo.....	65
Figura 15 – Incidência dos ventos predominantes na edificação estudada.....	67
Figura 16 – Mesa d'água do experimento – dimensões.	69
Figura 17 – Mesa d'água do experimento – principais partes.	69
Figura 18 – Organograma das simulações a serem realizadas com a Mesa d'água.....	69
Figura 19 – Modelo físico do pavimento tipo.....	70
Figura 20 – Modelo físico da edificação e entorno.	70
Figura 21 – Maquete com indicação das UHs.....	70
Figura 22 – Croqui – proporção da mesa d'água com a maquete da edificação (modelo 1).71	
Figura 23 – Croqui – proporção da mesa d'água com a maquete da edificação (modelo 2).71	
Figura 24 – Organograma - simulações de desempenho termoenergético do Grupo 1.....	77

Figura 25 – Organograma - simulações de desempenho termoenergético do Grupo 2.....	78
Figura 26 – Plantas baixas e Modelos 3D – base para simulações termoenergéticas	80
Figura 27 – Dimensões das fachadas.....	89
Figura 28 – Modelo de cálculo de PAD no CPCalc+.....	89
Figura 29 – Céus padronizados: a) Subdivisão em 145 partes – CIE (cálculo da componente refletida) e b) Subdivisão em 5221 partes sobre o CIE 145 (cálculo da componente direta).90	
Figura 30 – Desempenho da iluminação natural: simulações do Grupo 1.....	95
Figura 31 – Desempenho da iluminação natural: simulações do Grupo 2.....	95
Figura 32 – Ambiente simulado (a) e sua locação no Pavimento Tipo (b).....	96
Figura 33 – Plantas baixas usadas para modelagem e exemplos dos Modelos 3D	96
Figura 34 – Edificação estudada em relação às obstruções do entorno.	97
Figura 35 – Segmentos do corte longitudinal da edificação - ângulos verticais frontais de sombreamento nas fachadas leste e oeste (ângulos iguais em ambas as fachadas): (a)Pavimentos sem proteção (4° ao 6°); (b)Pavimentos com proteção (1°ao 3°e 7° ao 12°)	99
Figura 36 – Segmentos das plantas baixas das terminações 01 e 11 – ângulos horizontais de sombreamento nas fachadas: UH 01 – fachada leste; UH 11 – fachada oeste.....	100
Figura 37 – Ângulos verticais laterais de sombreamento das fachadas leste e oeste: (a) Fachada leste (ângulos das fachadas leste e oeste têm valores iguais); (b) Detalhe ampliado	100
Figura 38 – Máscara de sombra Pavimentos 4° ao 7° / Leste.....	100
Figura 39 – Máscara de sombra Pavimentos 4° ao 7° / Oeste	100
Figura 40 – Máscara de sombra Pavimentos 1°-2° e 8°-11° / Leste	101
Figura 41 – Máscara de sombra Pavimentos 1°-2° e 8°-11° / Oeste	101
Figura 42 – Máscara de sombra Pavimento 12° / Leste.....	101
Figura 43 – Máscara de sombra Pavimentos 12° / Oeste	101
Figura 44 – Simulação do fluxo do vento Leste no Pav. tipo.....	103
Figura 45 – Fluxo do vento Leste no Pav. tipo – indicado por setas.....	103
Figura 46 – Simulação do fluxo do vento SE no Pav. Tipo.....	104
Figura 47 – Fluxo do vento SE no Pav. tipo – indicado por setas.....	104

Figura 48 – Simulação do fluxo do vento NE no Pav. tipo.....	105
Figura 49 – Fluxo do vento NE no Pav. tipo – indicado por setas	105
Figura 50 – Fluxo do vento Leste na malha urbana – indicado por setas.....	107
Figura 51 – Fluxo do vento Leste na malha urbana – esteiras de vento (O.E. = objeto de estudo)	107
Figura 52 – Fluxo do vento SE na malha urbana – indicado por setas (O.E. = objeto de estudo)	108
Figura 53 – Fluxo do vento SE na malha urbana – esteiras de vento (O.E. = objeto de estudo)	108
Figura 54: Fluxo do vento NE na malha urbana – indicado por setas (O.E. = objeto de estudo)	109
Figura 55 – Fluxo do vento NE na malha urbana – esteiras de vento (O.E. = objeto de estudo)	109
Figura 56 – Isocurvas da iluminância média global – distribuição da luz.....	142

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Consumo final por fonte de energia no Brasil	18
Gráfico 2 – Energia consumida por setor no ano de 2005	18
Gráfico 3 – consumida por setor no ano de 2014.....	18
Gráfico 4 – Participação de eletrodomésticos no consumo residencial no Brasil.	26
Gráfico 5 – Participação de eletrodomésticos no consumo residencial no Nordeste.....	26
Gráfico 6 – Distribuição de frequência mensal das medições de direção do vento, referente ao período 2003-12.	57
Gráfico 7 – Velocidade do vento em Maceió.....	58
Gráfico 8 – Imóveis vendidos entre 2013 e 2015.	61
Gráfico 9 – Padrão de Ocupação em dias úteis da semana.....	82
Gráfico 10 – Padrão de Ocupação em finais de semana.	83
Gráfico 11 – Zona de Conforto (ASHRAE 55) para Maceió-AL	115
Gráfico 12 – Caso 2.1/Grupo 2 – Zona de Conforto Adaptativo – 12º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).	116
Gráfico 13 – Caso 2.1/Grupo 2 – Percentual de Horas em Conforto (PHC) – 12º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).	116
Gráfico 14 – Caso 2.1/Grupo 2 – Graus Hora de Resfriamento (GHR) – 12º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).	117
Gráfico 15 – Caso 2.1/Grupo 2 – Percentual de Horas em Conforto (PHC) – 1º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).	117
Gráfico 16 – Caso 2.1/Grupo 2 – Graus Hora de Resfriamento (GHR) – 1º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).	118
Gráfico 17 – Caso 2.1/Grupo 2 – Zona de Conforto Adaptativo – 12º pavimento/Oeste (α cobertura =0,3).	118
Gráfico 18: Caso 2.1/Grupo 2 – Percentual de Horas em Conforto (PHC) – 12º pavimento/Oeste (α cobertura =0,3).	119
Gráfico 19: Caso 2.1/Grupo 2 – Graus Hora de Resfriamento (GHR) – 12º pavimento/Oeste (α =0,3).....	119

Gráfico 20 – Caso 2.1/Grupo 2 – Percentual de Horas em Conforto (PHC) – 12º pavimento/Leste (α cobertura =0,71).	120
Gráfico 21 – Caso 2.1/Grupo 2 – Graus Hora de Resfriamento (GHR) – 12º pavimento/Leste (α cobertura =0,71).	120
Gráfico 22 – Caso 2.2/Grupo 2 – Zona de Conforto Adaptativo – 12º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).	121
Gráfico 23 – Caso 2.2/Grupo 2 – Percentual de Horas em Conforto (PHC) – 12º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).	122
Gráfico 24 – Caso 2.2/Grupo 2 – Graus Hora de Resfriamento (GHR) – 12º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).	122
Gráfico 25 – Caso 2.2/Grupo 2 – Percentual de Horas em Conforto (PHC) – 12º pavimento/Leste (α cobertura =0,71).	123
Gráfico 26 – Caso 2.2/Grupo 2 – Graus Hora de Resfriamento (GHR) – 12º pavimento/Leste (α cobertura =0,71).	123
Gráfico 27 – Mescla do Caso 2.1 e 22/Grupo 2 – Percentual de Horas em Conforto (PHC) – 12º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).	124
Gráfico 28 – Caso 2.3/Grupo 2 – Zona de Conforto Adaptativo para horas do ano naturalmente ventiladas – 12º pavimento/Oeste.	127
Gráfico 29 – Caso 2.3/Grupo 2 – Graus Hora de Resfriamento (GHR) – 12º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).	127
Gráfico 30 – Caso 2.3/Grupo 2 – Percentual de Horas em Conforto (PHC) – 12º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).	128
Gráfico 31 – Caso 2.3/Grupo 2 – PHC das horas com ar condicionado (AC) – 12º pavimento/Oeste.....	129
Gráfico 32 – Caso 2.4/Grupo 2 – Zona de Conforto Adaptativo para horas do ano naturalmente ventiladas – 12º pavimento/Oeste.	130
Gráfico 33 – Caso 2.4/Grupo 2 – Percentual de Horas em Conforto (PHC) – 12º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).	131
Gráfico 34 – Caso 2.4/Grupo 2 – Graus Hora de Resfriamento (GHR) – 12º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).	131
Gráfico 35 – Caso 2.4/Grupo 2 – PHC das horas com ar condicionado (AC) – 12º pavimento/Oeste.....	132

Gráfico 36 – Consumo de energia – Caso 2.3	133
Gráfico 37 – Consumo de energia – Caso 2.4	134
Gráfico 38 – Grupo 1 (NBR 15575) – Iluminância média (lux) no dia 23/04	136
Gráfico 39 – Grupo 1 (NBR 15575) – Iluminância média (lux) no dia 23/10.	136
Gráfico 40 – Grupo 2 – Porcentagem de horas do ano na UDI	138
Gráfico 41 – Grupo 2 – Somatório da porcentagem de horas do ano na UDI	138
Gráfico 42 – Critérios do Grupo 2 – Porcentagem de área do ambiente na UDI	140

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Categorias indicadas na norma europeia	44
Quadro 2 – Categorias de classificação de acordo o percentual de horas em conforto.	75
Quadro 3 – Categorias de classificação de acordo com PMV/PPD.....	76
Quadro 4 – Parâmetros de modelagem adotados para as simulações dos grupos 1 e 2.	77
Quadro 5 – Casos de estudo para avaliação do desempenho termoenergético.....	79
Quadro 6 – Composição das partes da construção.....	82
Quadro 7 – Padrões de abertura das janelas, por cômodo, para os casos 01, 02 e 03.....	84
Quadro 8 – Padrões de abertura das janelas, por cômodo, para os casos 04	85
Quadro 9 – Padrão de uso do ar condicionado nos quartos/ casos estudados.	86
Quadro 10 – Critérios adotados para simulações de desempenho luminoso (iluminação natural) dos grupos 1 e 2.	91
Quadro 11 – Incidência dos ventos em cada terminação	110
Quadro 12 – Síntese dos resultados das simulações.....	112
Quadro 13 – Caso 2.1/Grupo 2 – Estratégia para resfriamento do ambiente, h/dia.	115
Quadro 14 – Caso 2.2/Grupo 2 – Estratégia para resfriamento do ambiente, h/dia.	121
Quadro 15 – Caso 2.3 (Grupo 2) – Estratégia para resfriamento do ambiente, h/dia.	126
Quadro 16 – Caso 2.4 (Grupo 2) – Estratégia para resfriamento do ambiente, h/dia.	130

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Uso de condicionadores de ar por classe de consumo de energia.....	27
Tabela 2 – Classes econômicas brasileiras (calculadas com rendimentos <i>per capita</i>).....	27
Tabela 3 – valor de “A” para Equação 1.....	41
Tabela 4 – Categorias de conforto térmico, de acordo com níveis de PPD.....	44
Tabela 5 – Níveis de iluminamento geral para iluminação artificial.....	48
Tabela 6 – Normais Climatológicas da cidade de Maceió (1961-1990).....	56
Tabela 7 – Áreas dos apartamentos agrupadas por terminação.....	65
Tabela 8 – Propriedades térmicas dos materiais.....	81
Tabela 9 – Câmaras de ar - descrição do local de aplicação e Resistência térmica.....	81
Tabela 10 – Taxa Metabólica e calor produzido por atividade realizada.....	83
Tabela 11 – Posse e consumo de equipamentos elétricos.....	86
Tabela 12 – Potência das lâmpadas, de acordo com o uso dos cômodos.....	87
Tabela 13 – Potência e número de lâmpadas por ambiente.....	88
Tabela 14 – Categorias de classificação dentro do intervalo de UDI alcançado.....	93
Tabela 15 – Descrição dos elementos e materiais utilizados no modelo de simulação no TropLux.....	98
Tabela 16 – Temperaturas máximas do quarto de casal a oeste.....	113
Tabela 17 – Temperaturas máximas do quarto de casal a leste.....	114
Tabela 18 – Simulações e suas classificações - desempenho luminoso.....	135
Tabela 19 – Iluminância média das componentes da luz.....	137

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Objetivos.....	21
1.1.1	Objetivo geral	21
1.1.2	Objetivos específicos.....	21
1.2	Estrutura do Trabalho	21
2	REFERENCIAL TEÓRICO	23
2.1	Fundamentos e Normativas para Eficiência Energética e Desempenho de Edificações no Brasil.....	23
2.2	Questões Técnicas Sobre Desempenho de Edificações e Eficiência Energética	28
2.3	Critérios e Parâmetros das Legislações	41
2.3.1	ANSI/ASHRAE 55/2013: Condições ambientais térmicas para ocupação humana... 41	
2.3.2	BS EN 15251/2007 e parâmetros referentes ao desempenho térmico e luminoso ... 44	
2.3.3	NBR 15575/2013: Edificações habitacionais — desempenho	47
2.3.4	Considerações sobre as normas	49
2.4	Síntese do Referencial Teórico	53
3	METODOLOGIA	54
3.1	Caracterização Bioclimática de Maceió-AL	55
3.2	Definição do Objeto de Estudo.....	59
3.3	Caracterização do Objeto de Estudo.....	63
3.4	Critérios para Avaliação do Objeto de Estudo.....	67
3.4.1	Avaliação qualitativa da ventilação natural	68
3.4.2	Avaliação do desempenho térmico e consumo de energia.....	71
3.4.3	Avaliação do desempenho da iluminação natural.....	89
4	ANÁLISES DOS RESULTADOS	99
4.1	Análise da Incidência Solar na Edificação Estudada	99
4.2	Análise do Desempenho da Ventilação Natural	102
4.2.1	Considerações sobre simulações na mesa d'água	110
4.3	Análise do Desempenho Térmico	111
4.3.1	Grupo 1: Critérios da NBR 15575/2013	112
4.3.2	Grupo 2: Critérios Baseados na literatura e em normas internacionais.....	114
4.4	Análise do Desempenho da Iluminação Natural.....	135
4.4.1	Análise de acordo com critérios do Grupo 1	136
4.4.2	Análise de acordo com critérios do Grupo 2	137
5	CONCLUSÃO	143
5.1	Limitações do trabalho	147

5.2 Sugestões de trabalhos futuros.....	147
REFERÊNCIAS	148
APÊNDICE A – Linha do tempo.....	155
APÊNDICE B – Balanço térmico do Caso 2/Grupo2.....	157
APÊNDICE C – Detalhamento das esquadrias	167
APÊNDICE D – Resultados complementares das simulações de desempenho térmico do Grupo 2.....	169

1 INTRODUÇÃO

Os recursos energéticos possuem grande valor para a sociedade contemporânea. A necessidade de investir em fontes de energia renováveis e limpas pode ser evidenciada em vários aspectos, destacando-se o caráter finito dos recursos naturais e os impactos ambientais provocados pela exploração e consumo de petróleo, gás natural e carvão mineral, principais fontes de energia não renovável do planeta.

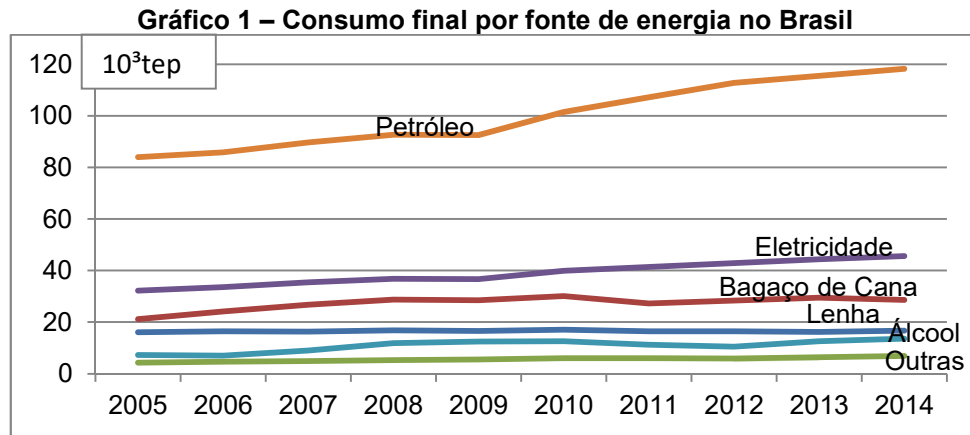
Carvalho, J. (2014), estudando a relação entre crescimento demográfico e crescimento econômico, narra que até o século passado a corrente de pensamento dominante afirmava que as sociedades mais evoluídas necessariamente deveriam consumir mais energia. Acreditava-se que nada deveria ser feito para conter a expansão demográfica, pois essa promovia crescimento do consumo e, conseqüentemente, da produção e da economia como um todo. O desenvolvimento econômico era responsável por cenários otimistas independente do alto consumo de energia, da capacidade da biosfera para absorver os resíduos e da poluição gerada. Apenas nas últimas décadas a crise do petróleo e a tomada de consciência da população têm promovido mudanças nas correntes de pensamento predominantes. Vieram à tona ideias de economistas ecológicos, como tema para pesquisas integrando economia, engenharia, ecologia e políticas públicas. Para o autor, o desenvolvimento não depende necessariamente do crescimento, e sim do acesso à informação, melhoria da educação, da qualidade de produtos e transportes. Tendo como objetivo a qualidade de vida dos consumidores, deve-se aperfeiçoar a tecnologia para reduzir o consumo de energia e, por outro lado, aumentar a produção de energia por fontes renováveis.

O uso racional de energia “é considerado internacionalmente a melhor oportunidade para reduzir custos e impactos de geração de energia e ainda reduzindo a necessidade de novas instalações de transmissão” (CBCS et al., 2014).

O Gráfico 1 apresenta o consumo de energia por fonte no Brasil. Nos últimos 10 anos houve um aumento no consumo do petróleo e da eletricidade, que são também os recursos mais consumidos no país, evidenciando a dependência do seu uso na vida do brasileiro. Ao mesmo tempo, fontes como o álcool, que poderia substituir a gasolina nos automóveis, mantêm-se abaixo de todas as outras fontes principais.

Esse aumento do consumo de energia tem contribuição expressiva do setor da construção civil. O chamado setor de edificações (inclui edificações residenciais, comerciais e públicas), consome aproximadamente 14% da energia total e 47% da eletricidade do país. De acordo com a demanda de energia prevista para 2050, a perspectiva é de expansão crescente na quantidade de edificações, tanto devido ao aumento das moradias, para

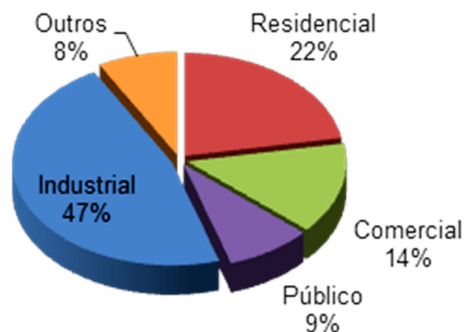
atender à crescente população do país, quanto devido à expansão do setor de comércio e serviços (EPE, 2014a).



Fonte: Adaptado de EPE (2015).

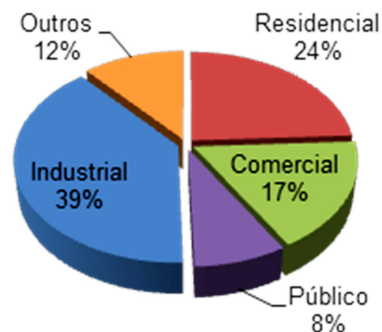
O setor residencial é o segundo maior consumidor de energia do país, conforme ilustrado nos gráficos 2 e 3. Estudos e ações voltadas para este setor são relevantes para o momento atual, dentre outros motivos, devido: à disseminação do conceito de sustentabilidade, atraindo a atenção da população para os assuntos ambientais; à experiência do racionamento de energia em 2001, quando o setor residencial foi diretamente atingido, participando do processo de diminuição do consumo (MENDES et al., 2005); à situação atual do país, com o aumento da tarifa de energia, junto à necessidade de maior economia no orçamento familiar, e também à necessidade de melhoria da qualidade das edificações residenciais.

Gráfico 2 – Energia consumida por setor no ano de 2005



Fonte: Adaptado de EPE (2015)

Gráfico 3 – consumida por setor no ano de 2014



Fonte: Adaptado de EPE (2015)

Diante desse contexto, justificam-se investimentos em eficiência energética na construção civil. Para isso, as edificações devem ser construídas no intuito de atingir um nível de qualidade que proporcione ambientes internos confortáveis para o usuário, bem como o menor impacto para o meio ambiente. Portanto, na arquitetura, a eficiência energética pode ser entendida como um atributo inerente à edificação e que representa o

potencial para possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos seus usuários com baixo consumo de energia. Sendo assim, se dois edifícios proporcionam as mesmas condições de conforto, será mais eficiente aquele que consumir menos energia (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2004).

Para o IPCC (2007) é fato a existência do grande potencial de economia de energia e conservação de recursos advindo do aperfeiçoamento do setor de construção civil. As pesquisas e normas voltadas para as edificações visam incorporar ações de melhoria da qualidade desde a fase de projeto, especificação e origem dos materiais empregados, passando pela obra, técnicas construtivas, pela eficiência dos sistemas (iluminação, ar condicionado, etc.), chegando até a fase de uso e finalizando com o descarte apropriado e as políticas de reuso/reciclagem. Do berço ao berço, como se chama o ciclo de vida completo e sustentável (CARVALHO, M., 2010).

Portanto, deve-se buscar estratégias que visem o melhor desempenho, ou seja, a melhoria do comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas. O atendimento das condições de desempenho significa o atendimento das exigências do usuário a partir do estabelecimento de requisitos e critérios avaliativos. O intuito é proporcionar o bem-estar do usuário, satisfazendo suas necessidades mediante a adequação das condições ambientais presentes no edifício (como temperatura, o movimento do ar e a luz natural). O edifício é um produto que deve apresentar determinadas características que o capacitem a cumprir objetivos e funções para os quais foi projetado, quando submetido a determinadas condições de exposição e uso (ABNT, 2013a). Para o desempenho, a maior preocupação se dá no que tange aos requisitos que a construção deve atender e não com a prescrição de como esta deve ser construída (GIBSON, 1982).

Durante todo o processo de regulação das edificações, as normas técnicas¹ têm sido elaboradas com base em prescrições (BORGES, 2008). Os regulamentos técnicos da Qualidade para as edificações Residenciais e para as Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-R e RTQ-C, respectivamente), são exemplos de prescrições dentro da normatização/regulação brasileira para melhoria das edificações. A primeira, e até o momento a única, norma brasileira baseada no conceito de desempenho foi a NBR 15575, que entrou em vigor no ano de 2013 (ABNT, 2013a).

A norma prescritiva apresenta um conjunto de requisitos e critérios estabelecidos para um produto ou um procedimento específico, com base na consagração do uso ao longo do tempo (ABNT, 2013a), os quais se baseiam nas experiências passadas, evitando

¹ De acordo com a ABNT (2015b), norma é o documento estabelecido por consenso e aprovado por um organismo reconhecido, que fornece regras, diretrizes ou características mínimas para atividades ou para seus resultados, visando à obtenção de um grau ótimo de ordenação em um dado contexto.

repetição de erros, especificando como deve ser a edificação. Suas soluções não levam em conta as condições específicas de cada grupo que venha a ocupá-las, o que em muitas vezes pode dificultar o entendimento explícito das necessidades de uma sociedade (BORGES, 2008). Já a norma de desempenho possui requisitos e critérios que abarcam o todo da edificação e seus sistemas, baseando-se nas exigências do usuário, independentemente da forma ou dos materiais que constituem a edificação (ABNT, 2013a). Este tipo de norma estabelece uma meta a ser atingida e apresenta metodologias para isso, dentro de uma visão sistêmica.

Portanto, três conceitos diferentes (desempenho, eficiência energética e conforto) podem ser associados entre si com o objetivo de elevar os padrões construtivos das edificações para alcançar o bem estar dos usuários. O conceito de desempenho está associado ao de conforto quando coloca como meta a satisfação das exigências dos usuários. A eficiência energética acontece quando os objetivos são atendidos com o menor consumo de energia.

Dentro desse contexto, a busca por melhores níveis de desempenho térmico e luminoso com menor consumo de energia exercem importante papel. Leão Júnior (2008) realizou um estudo para a cidade de Maceió, analisando o impacto econômico gerado pela utilização de condicionadores de ar no orçamento familiar, comparando apartamentos nascentes e poentes ao longo de 360 meses, tempo necessário para quitação do apartamento em um sistema de financiamento bancário. O estudo revelou que, em todos os casos simulados, o custo energético derivado da utilização do aparelho ao longo do prazo considerado faz com que a economia no ato da compra de um apartamento poente seja superada pelo custo decorrente do uso do ar condicionado. Este estudo mostra o potencial de economia energética e financeira, além da compreensão sobre a importância da qualidade das edificações e de maiores níveis de conforto, possíveis com a melhora dos níveis de desempenho térmico e luminoso em uma edificação residencial.

Nos últimos anos, a busca por soluções arquitetônicas energeticamente eficientes e climaticamente adequadas é um tema proeminente no Brasil e no mundo (HENSEN; LAMBERTS, 2011). Entretanto, até que ponto as normas brasileiras garantem avanço na qualidade e na eficiência das edificações residenciais, bem como o conforto dos usuários?

É notório que alguns países europeus e americanos como a Alemanha, a Inglaterra e os Estados Unidos têm avançado há mais tempo que o Brasil no quesito normas de eficiência energética e de desempenho. Para este trabalho, foram selecionadas normas que também regulamentam o desempenho térmico e luminoso das edificações residenciais, com

intuito de economizar energia, para comparação com a norma brasileira de desempenho, NBR 15575: Edificações Habitacionais — Desempenho (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c).

Cada norma apresenta procedimentos e parâmetros específicos para a realidade na qual está inserida, bem como critérios que permitam maior conforto do usuário e menor desperdício de energia na edificação. Portanto, as legislações de outros países serão comparadas com as brasileiras, a fim de analisar a aplicabilidade dos critérios adotados para a avaliação do desempenho termoenergético e luminoso em cada caso, visando somar contribuições aos estudos já realizados neste âmbito. Entretanto, é preciso deixar claro que o intuito não é aplicar os mesmos padrões ou metas de desempenho para diferentes países, pois estes devem se adequar às suas diferentes regiões bioclimáticas, mas sim verificar quais critérios cada sociedade adotou para definir como alcançar o bom desempenho e qualidade das edificações. Dessa forma, é possível colaborar com a melhoria dos critérios normativos brasileiros, especificamente para cidades de clima quente e úmido, como Maceió.

1.1 Objetivos

Objetivo geral

Avaliar as classificações de desempenho determinadas pela NBR 15575 em relação ao atendimento às exigências de conforto térmico e luminoso de uma edificação residencial multifamiliar na cidade de Maceió-AL.

Objetivos específicos

- Analisar comparativamente requisitos, critérios e parâmetros exigidos por normas nacionais e internacionais para avaliação de desempenho térmico e luminoso e sua relação com o usuário e a edificação, para o clima quente e úmido da cidade de Maceió-AL;
- Investigar a correspondência entre as classificações de desempenho obtidas para uma edificação residencial multifamiliar, mediante diferentes critérios de avaliação, com o conforto térmico e visual do usuário, bem como sua relação entre desempenho e consumo de energia;

1.2 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está dividido em 5 capítulos. A Introdução expõe a justificativa e o contexto geral do tema da pesquisa, explicando o porquê do foco no desempenho

termoenergético e luminoso para edificações residenciais. Aponta também os objetivos (geral e específicos) do presente trabalho.

O segundo capítulo apresenta o Referencial Teórico, abordando o estado da arte sobre a questão energética no Brasil e no mundo, embasando a justificativa do estudo do desempenho das edificações. Além disso, discute-se sobre as estratégias bioclimáticas apropriadas para o clima quente e úmido, sobre a avaliação do desempenho termoenergético das edificações e sobre a contribuição das normas e legislações existentes para garantir a qualidade das moradias multifamiliares.

O capítulo 3 trata da metodologia. Descreve e justifica o objeto de estudo, apresentando os critérios das normas que serão aplicados e expondo os procedimentos e ferramentas utilizados. São detalhados os parâmetros de modelagem adotados nas simulações computacionais realizadas com os programas EnergyPlus e Troplux, bem como o processo utilizado para as simulações na mesa d'água, com uso de modelo físico em escala reduzida.

A análise dos resultados é apresentada no quarto capítulo. Comparando os dados obtidos entre si, este capítulo pretende avaliar os diferentes critérios normativos apresentados e seus resultados quanto aos níveis de desempenho da edificação e sua contribuição para o atendimento do conforto dos usuários.

O Capítulo 5 apresenta as conclusões e considerações finais sobre as análises comparativas, indicando-se as limitações deste trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Fundamentos e Normativas para Eficiência Energética e Desempenho de Edificações no Brasil

Pode-se dizer que o Brasil ficou na retaguarda dos países desenvolvidos em relação ao avanço dos estudos e legislações que proporcionassem maior eficiência energética e melhor desempenho das edificações no país (JANDA, 2009). Muitos dos países que foram diretamente atingidos pela crise do petróleo na década de 70 vêm implementando diferentes iniciativas visando alcançar um nível mínimo de desperdício e máximo de economia de energia desde aquela época. A busca por uma alternativa ecológica no setor da construção, que inclua além da eficiência energética o menor impacto ambiental, é parte das reflexões em escala internacional existentes nessa atividade (GAUZIN-MÜLLER, 2011).

O primeiro movimento em direção a criação de políticas de redução do consumo de energia das edificações no Brasil surgiu com a preocupação com a eficiência energética, em 1984, quando houve a criação do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Enquanto isso, a busca por edificações com maiores níveis de desempenho térmico e luminoso retrata um movimento mais recente iniciado com a primeira versão da NBR 15575 em 2008. Em breve narrativa são apresentado a seguir os principais marcos na criação de políticas relacionadas à eficiência energética, desempenho térmico e luminoso.

Voltado para equipamentos, o PBE é coordenado pelo Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia Qualidade e Tecnologia) e fornece informações sobre o desempenho do produto, considerando outros dados além do consumo de energia, como o ruído, por exemplo. A metodologia do PBE classifica os produtos avaliados identificando-os com uma etiqueta (ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia) que possui faixas indicativas entre “A” (mais eficiente) e “E” (menos eficiente) (INMETRO, [2015a]).

O segundo marco nacional deu-se com a implantação do PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), em 30 de dezembro de 1985. Criado através da Portaria Interministerial nº 1.887 pelo governo federal e transformado em programa de governo em 18 de julho de 1991, o PROCEL é coordenado pelo Ministério de Minas e Energia – MME e executado pela Eletrobras. Sua atuação envolve equipamentos, edificações, iluminação pública, planejamento, auxílio e treinamento de ações no âmbito público, da indústria e do comércio, além da elaboração e disseminação de informações educacionais, sempre em relação à eficiência energética (PROCEL, [2015]; EPE, 2014b).

De acordo com os dados do Procel², de 1986 a 2014 a economia total obtida através da atuação do programa foi de 80,6 bilhões de kWh.

Westphal e Lamberts (2004) registraram que as únicas normas dentro do contexto do consumo de energia em edificações existentes no Brasil até 1994 eram a NBR 6401/1980 (Instalações centrais de ar-condicionado para conforto - Parâmetros básicos de projeto) e a NBR 5413/1991 (Iluminância de Interiores), as quais lidavam apenas com o projeto de sistemas de condicionamento de ar e de iluminação, respectivamente, sem nenhuma consideração sobre eficiência energética.

Mendes et al. (2005) afirmam que em 2001 o sistema energético brasileiro entrou em colapso devido ao efeito conjugado dos poucos investimentos em ampliação do parque gerador nos anos anteriores, bem como pela escassez de chuvas registradas no ano 2000. Nessa época, as regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste tiveram que passar por um período de racionamento de energia elétrica, entre maio e novembro de 2001, objetivando diminuir o consumo de energia no país. Essa situação provocou uma mudança nos hábitos da população, que precisou aprender a economizar energia em casa.

Foi no período de crise interna em 2001 que o Brasil tomou as primeiras medidas legislativas sobre eficiência energética com a publicação da Lei 10.295. Conhecida como Lei da Eficiência Energética, trata da Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, que visa à alocação eficiente de recursos energéticos e a preservação do meio ambiente. Em seu texto, afirma que níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, deverão ser especificados para as edificações e para as máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no país, com base em indicadores técnicos pertinentes. (BRASIL, 2001b). Em 19 de dezembro de 2001, o Decreto nº 4.059 instituiu o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética – CGIEE, sob a coordenação do MME, para determinação desses níveis (BRASIL, 2001a).

Entre 2005 e 2010 foram publicadas 8 portarias de regulamentação da Lei 10.295/2001 contemplando diversos tipos de equipamentos, desde lâmpadas, condicionadores de ar e fornos, até motores elétricos.

Em 2009, a etiquetagem de edificações no Brasil teve sua metodologia publicada, tendo sido atualizada em 2010, ano em que também foi publicada a classificação dos edifícios residenciais. O processo da etiquetagem ocorre de forma diferenciada para edifícios comerciais, de serviços e públicos e para edifícios residenciais. Para os comerciais são avaliados a envoltória, os sistemas de iluminação e de condicionamento de ar, enquanto para os edifícios residenciais são avaliados a envoltória, o sistema de aquecimento de água

² Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp>, acesso em junho de 2016.

e sistemas presentes nas áreas comuns dos edifícios multifamiliares, como iluminação, elevadores e bombas centrífugas. Esse processo de etiquetagem iniciou-se com caráter totalmente voluntário, mas em 2014 passou a ser obrigatório para os edifícios públicos (BRASIL, 2012; PROCEL; ELETROBRAS, 2015).

Concernente à iluminação natural, desde a qualidade da distribuição de luz até o desempenho luminoso, também se pode citar uma evolução nas normas. A primeira foi a NBR 5382 (ABNT, 1985), que apresentava o procedimento para verificação de Iluminância de Interiores. Em seguida, a NBR 5461/1991, com a apresentação das Terminologias no âmbito da Iluminação (ABNT, [2015a])³ e a NBR 5413 (ABNT, 1992), intitulada “Iluminância de Interiores”, que estabelecia valores de iluminâncias médias mínimas para diferentes tarefas visuais.

No intuito de prescrever métodos para a verificação experimental das condições de iluminância e luminância de ambientes internos, foi publicada em 2005 e atualizada em 2007 a NBR 15.215. Esta Norma, com o título geral de Iluminação natural, contém 4 partes divididas da seguintes forma: Parte 1 - Conceitos básicos e definições; Parte 2 - Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural; Parte 3 - Procedimento de cálculo para a determinação da luz natural em ambientes internos e Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição (ABNT, [2015a])

A norma mais recente no campo da iluminação foi publicada em 2013. A NBR 8995 trata sobre iluminação em ambientes de trabalho, vindo a substituir as normas NBR 5382/1985 e 5413/1992 (ABNT, 2013d).

Quanto ao desempenho térmico, apenas em 2005 foi lançada a primeira versão da NBR 15220 sob o título geral de “Desempenho térmico de edificações”. Esta norma é prescritiva e significou um importante avanço para a análise do desempenho térmico de edificações. No seu conteúdo estão avanços como a apresentação de métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações e a definição do Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social (ABNT, 2008a; ABNT, 2008b).

Entretanto, outra norma cumpriu um papel ainda mais marcante para a definição de parâmetros de desempenho das edificações. Conhecida como “norma de desempenho”, a NBR 15.575 teve sua primeira versão datada de 2008, quando se referia apenas a edificações de até 5 pavimentos. Ela entraria em vigor em 2010, o que foi adiado para 2012.

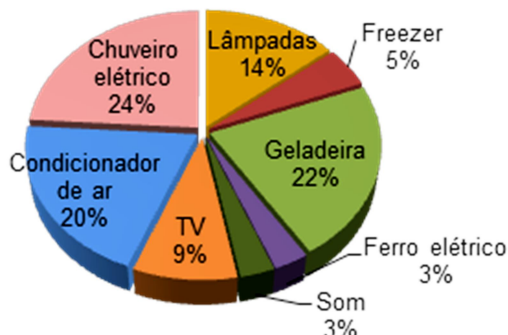
³ Disponível em < <http://www.abntcatalogo.com.br/>>, Acesso em 17 set e 1 out 2015.

Na época, de acordo com matérias exibida no portal Piniweb⁴, houve uma mobilização das organizações representativas do segmento para o adiamento da norma, com o argumento de que nem os fornecedores nem os construtores estavam preparados para cumprir com as exigências de desempenho. Para eles, era algo inovador para o ritmo do mercado, que precisaria de mais tempo para adaptar-se. A norma foi alvo de muitas discussões, sendo revisada em 2010, 2012 e 2013 (SORGATO; MELO; LAMBERTS, 2014).

Evidencia-se, portanto, a escassez de políticas, normas e legislações sobre eficiência energética e desempenho das edificações durante a fase anterior a crise interna de energia no Brasil. Por outro lado, após a criação da Lei de eficiência energética em 2001, o número de normas, portarias e publicações do governo visando o planejamento para alcançar o aumento da eficiência energética no país e a melhoria do desempenho das edificações evoluiu, começando a preencher a lacuna existente nos anos anteriores (vide linha do tempo no Apêndice A).

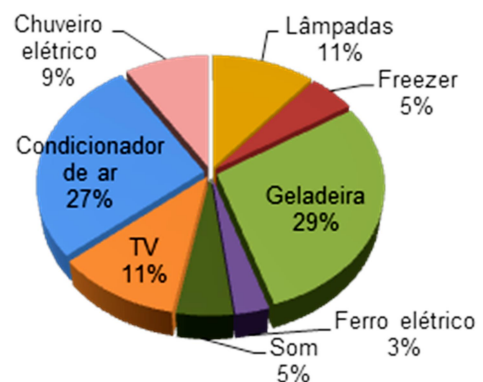
Cabe salientar que o usuário detém um papel importante, pois os seus hábitos de consumo de energia podem interferir diretamente tanto no desempenho térmico e luminoso quanto na eficiência das edificações. No Brasil, 80% da energia residencial é consumida por quatro tipos de equipamentos, como mostra o Gráfico 4. Em ordem decrescente, são: chuveiro elétrico, geladeira, aparelho para condicionamento ambiental (ar condicionado ou aquecimento de ar) e lâmpadas.

Gráfico 4 – Participação de eletrodomésticos no consumo residencial no Brasil.



Fonte: Adaptado de Eletrobras e PROCEL (2007).

Gráfico 5 – Participação de eletrodomésticos no consumo residencial no Nordeste.



Fonte: Adaptado de Eletrobras e PROCEL (2007).

No Nordeste, onde está inserido o objeto de estudo deste trabalho, os quatro principais equipamentos somam 78% e, em ordem decrescente são a geladeira, aparelho de ar condicionado e as lâmpadas e TV com mesmo percentual, 11%. Já o consumo relativo ao condicionamento ambiental é 7% maior que a média nacional, enquanto o chuveiro elétrico,

⁴ <http://piniweb.pini.com.br/construcao/tecnologia-materiais/norma-de-desempenho-sera-revisada-191208-1.aspx>, acessado em outubro de 2015.

que a nível nacional é o equipamento responsável pela maior parcela do consumo de energia, fica na quinta posição (Gráfico 5). O clima quente no Nordeste contribui para o maior uso de condicionadores de ar devido à necessidade de resfriamento dos ambientes.

De acordo com pesquisa realizada por Eletrobras e Procel (2007), no Brasil, mais da metade dos aparelhos de ar condicionado estão em domicílios cuja classe de consumo está acima dos 300KW/h (Tabela 1). A respeito da renda média familiar dos domicílios enquadrados nessa faixa de consumo, 12,6% está abaixo de 4 salários mínimos; entre 4 e 10 salários está a maior parte, com 27,8%; entre 10 e 15 salários estão 8,6%; e acima de 10 salários estão 10,7%. Os outros 40,2% não possuem o aparelho de ar condicionado ou não responderam a pergunta sobre renda.

Tabela 1 – Uso de condicionadores de ar por classe de consumo de energia.

		Domicílios com condicionadores de ar (%)
Classe de consumo (KW/h)	0 a 200	18%
	201 a 300	21,63%
	> 300	60,38%
Total		100%

Fonte: Adaptado de Eletrobras e PROCEL (2007).

A classificação econômica da população brasileira é dada em cinco faixas de renda, indo de “A” (maior renda média) até “E” (menor renda média). A renda domiciliar da classe central “C”, ou seja, da classe média, está compreendida entre R\$ 2.004,00 e R\$ 8.640,00 com uma renda média de R\$ 4.912,00 em valores ajustados pelo custo de vida local (BRASIL, 2014). A tabela 2 apresenta as faixas de renda para cada classe econômica.

Tabela 2 – Classes econômicas brasileiras (calculadas com rendimentos *per capita*)

Classes Econômicas	Limite Inferior	Limite Superior
Classe E	R\$ 0.00	R\$ 1,254.00
Classe D	R\$ 1,255.00	R\$ 2,004.00
Classe C	R\$ 2,005.00	R\$ 8,640.00
Classe B	R\$ 8,641.00	R\$ 11,261.00
Classe A	R\$ 11,262.00	-

*Em R\$ a preços de 2014
Fonte: Adaptada de Brasil (2014).

Comparando o uso de condicionadores de ar com as classes econômicas dos domicílios brasileiros, observa-se que o maior uso desse equipamento é feito pelas classes com rendas C e B. A conta de energia pode comprometer uma parcela maior da renda familiar da classe C e parte da classe B, já que estas fazem mais uso do ar condicionado em uma faixa de renda mediana, do que da classe A, cuja renda é maior.

Os hábitos dos usuários, portanto, são muitas vezes influenciados também por sua condição financeira, pelo clima da região (maior uso do chuveiro elétrico em climas frios e

de condicionadores de ar em climas quentes), pelos equipamentos disponíveis e pela própria edificação. O padrão construtivo da edificação pode influenciar o hábito de consumo de energia dos usuários de diversas maneiras. Pode-se citar o uso da iluminação natural para diminuir o consumo pela luz artificial, o aproveitamento da ventilação natural para diminuir o uso de ventiladores e condicionadores de ar ou o isolamento térmico da envoltória para diminuir o uso de aquecedores de ar. Ao trabalhar a questão energética no setor residencial em paralelo com os hábitos dos usuários, características construtivas e com as condições ambientais das edificações, as possibilidades de uso eficiente da energia podem ser ampliadas. Com base nesses dados, o desempenho das edificações residenciais pode ser avaliado considerando condições próximas à realidade de uso da edificação.

2.2 Questões Técnicas Sobre Desempenho de Edificações e Eficiência Energética

Existem diferentes tipos de instrumentos para avaliação e melhoria do desempenho energético de edificações, cuja nomenclatura varia de país para país. Pode-se citar como exemplo códigos, critérios, guias, normas, leis, protocolos, provisões, regras, diretivas, recomendações, requerimentos, regulamentos ou regulamentações, classificações (ratings), benchmarkings, certificações, sistemas de etiquetagem, entre outros (SANTOS; SOUZA, 2012). Aqui serão tratados alguns desses termos pertinentes às legislações referenciadas.

O regulamento técnico “é o documento aprovado por órgãos governamentais em que se estabelecem as características de um produto ou dos processos e métodos de produção com eles relacionados” (INMETRO, [2015b])⁵. Ele se diferencia das normas técnicas por ter aplicação obrigatória, enquanto as normas são de uso voluntário, “isto é, não são obrigatórias por lei, e então é possível fornecer um produto ou serviço que não siga a norma aplicável no mercado determinado” (ABNT, [2015b])⁶. Entretanto, Schmieguel (2010) afirma que o desrespeito a uma norma técnica pode “acarretar consequências econômicas indesejáveis, como a baixa aceitação do produto pelo consumidor, visto que as normas garantem um nível de segurança e aceitabilidade dos produtos e serviços”.

Contudo, destaca-se que a obrigatoriedade das normas pode acontecer em casos definidos pela lei, como por exemplo, a NBR 15575, aqui abordada. Dentre outros exemplos, pode-se citar também o Código de Defesa do Consumidor (Lei 8.078/90), Artigo 39, que veda ao fornecedor colocar no mercado produtos ou serviços em desacordo com as normas técnicas específicas (BRASIL, 1990). Outro exemplo é a lei federal 10098/2000, que

⁵ Disponível em <http://www.inmetro.gov.br/barreirastecnicas/definicoes.asp>, acessado em outubro, 2015.

⁶ Disponível em <http://www.abnt.org.br/normalizacao/o-que-e/o-que-e>, acessado em setembro de 2015.

tratando da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, tornou obrigatória a NBR 9050. Em outros países, tanto a nomenclatura do instrumento de avaliação como a obrigatoriedade de sua aplicação podem sofrer variações em relação à situação brasileira (SANTOS e SOUZA, 2012; JANDA, 2009).

Para abarcar o contexto brasileiro e o internacional sobre desempenho térmico e luminoso das edificações foram pesquisadas: a norma brasileira NBR15575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c); a norma inglesa BS EN15251 (BSI, 2007), válida na União Europeia, e a norma norte-americana ASHRAE 55 (ASHRAE, 2013). Outras normas e regulamentos farão parte do estudo de maneira pontual, por servirem de complemento às informações necessárias para a realização das avaliações desta pesquisa.

A Norma Brasileira NBR15575/2013 é a primeira norma de desempenho das edificações residenciais elaborada pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Ela está dividida em seis partes da seguinte forma: na parte 1 estão os Requisitos gerais; Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais; Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos; Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas; Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas e parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários. Para este trabalho serão referenciadas as partes 1, 4 e 5 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c).

A ASHRAE 55/2013 é uma norma americana que trata das “condições ambientais térmicas para ocupação humana”, em tradução livre, sendo elaborada pela ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*). A ASHRAE é uma das Organizações de desenvolvimento de Padrões (SDO – sigla em inglês) que atuam nos Estados Unidos sob o comando da ANSI – Instituto de Padronização Nacional Americano (*American National Standards Institute*). Seu foco está nos sistemas de construção, eficiência energética, qualidade do ar interior, refrigeração e sustentabilidade dentro da indústria (ASHRAE, 2015)⁷. Supervisiona a criação, a promulgação e o uso de milhares de normas e diretrizes que impactam diretamente empresas em quase todos os setores nos Estados Unidos (ANSI, 2015)⁸. A norma ASHRAE 55 foi publicada pela primeira vez em 1966 e sofreu diversas atualizações, sendo bastante usada como referência para trabalhos científicos e para outras normas como, por exemplo, a NBR15220 (ABNT, 2008b).

A terceira norma apresentada é a BS EN 15251/2007, versão inglesa (*BSI - British Standard*) da norma europeia aprovada em 26 de março de 2007 pelo Comitê Europeu de Padronização – CEN (*European Committee for Standardization*). Os membros do CEN são

⁷ Informações encontradas em <https://www.ashrae.org/about-ashrae>, acessado em outubro de 2015.

⁸ Informações encontradas em http://www.ansi.org/about_ansi/overview/overview.aspx?menuid=1, acessado em outubro de 2015.

obrigados a cumprir com o regulamento interno do CEN/CENELEC, o que significa dar às normas europeias o status de uma norma nacional, sem qualquer alteração de padrão⁹. O CEN oferece suporte para padronização em relação a uma ampla gama de áreas e setores, incluindo: ar e espaço, produtos químicos, construção, produtos de consumo, defesa e segurança, energia, ambiente, comida e alimentação, saúde e segurança, cuidados de saúde, máquinas, materiais, equipamentos sob pressão, serviços, vida inteligente, transporte e embalagem (CEN, 2015)¹⁰.

No Brasil, além da norma de desempenho, outro importante instrumento de avaliação das edificações que pode ser destacado é o Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ) para o nível de eficiência energética. Ele divide as edificações em duas categorias, sendo uma composta pelos edifícios comerciais, de serviços e públicos (RTQ-C) e outra pelos edifícios residenciais (RTQ-R). O RTQ-R apresenta requisitos para a classificação da eficiência energética de unidades habitacionais autônomas (UH), edificações unifamiliares, edificações multifamiliares e áreas de uso comum. As UHs são avaliadas de acordo com a zona bioclimática e a região geográfica em que a edificação se localiza, através de dois sistemas individuais que compõem a etiqueta: a envoltória e o sistema de aquecimento de água (ELETROBRAS; PROCEL, 2012).

Algumas normas brasileiras, que tratam assuntos similares, por vezes determinam exigências diferentes para os mesmos parâmetros. Oliveira, Souza e Silva (2013) constataram diferenças entre os valores requeridos pela NBR 15.220, norma prescritiva de desempenho térmico de edificações; a NBR 15.575; o RTQ-R e o Selo Casa Azul da Caixa Econômica Federal. A diminuição dos conflitos entre as normatizações brasileiras evitaria contradições dos parâmetros exigidos dentro do próprio país. Há questionamentos quanto a distribuição das Zonas Bioclimáticas no território nacional, visto que em uma mesma zona podem ser encontrados grupos de cidades com características climáticas distintas (PEDRINI, et al., 2009; DAMASCENO, 2011; GRAF e TAVARES, 2013; LEDER e OLIVEIRA, 2015). Estes estudos pretendem mostrar a importância da existência das diferentes ZBs, bem como a necessidade do seu aprimoramento, na medida em que as pesquisas avançam.

Todavia, as discussões acadêmicas não se restringem às prescrições normativas, discutindo também a abordagem de conforto e as metodologias utilizadas.

⁹ A norma BS EN15251/2007 foi nacionalizada nos seguintes países membros da União Europeia: Áustria, Bélgica, Bulgária, Chipre, República Checa, Dinamarca, Estónia, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Hungria, Islândia, Irlanda, Itália, Letónia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Países Baixos, Noruega, Polónia, Portugal, Roménia, Eslováquia, Eslovénia, Espanha, Suécia, Suíça e Reino Unido (BSI, 2007)

¹⁰ Informações encontradas em <http://www.cen.eu/about/Pages/default.aspx>, acessado em outubro de 2015.

Graf e Tavares (2013) verificaram o modelo chamado de Residência Padrão Normal - R1-N contido na Norma Brasileira NBR 12721¹¹. A residência unifamiliar é classificada pela norma como padrão intermediário, possui 106,44m² de área, com padrão construtivo baseado em: alvenaria de tijolos, esquadrias em madeira e vidro, telhado com madeira e telha cerâmica e laje de forro. O objetivo foi verificar se o padrão dado pela norma atende às condições climáticas da cidade de Curitiba, com base na metodologia de Nicol e Humphreys (2002), para conforto térmico. Chegaram à conclusão de que a “tecnologia construtiva usada em todo o país não atende às demandas do clima de Curitiba, comprovando que um projeto padronizado não pode ser utilizado em todo o Brasil”. A residência testada registrou 83% das horas do ano em desconforto por frio, 3% por calor e apenas 14% em conforto térmico. Na medida em que a espessura da parede foi aumentada, a residência permaneceu por mais tempo em condição de conforto. Assim, padrões construtivos próprios para cada localidade do país devem existir devido às grandes diferenças em seu território, “quanto à cultura, aos aspectos sociais, ao acesso às tecnologias construtivas, à disponibilidade de mão de obra e, em especial, aos climas”. Percebe-se que apesar de serem padrões construtivos utilizados de forma generalizada pelo Brasil, a realidade climática, cultural e social da população é colocada à parte, podendo prejudicar a qualidade das construções.

O conceito de desempenho atrelado às necessidades dos usuários significa que o esforço de projetar, construir e manter uma edificação de alto desempenho deve existir para que, além da diminuição dos danos socioambientais causados pela construção e do consumo energético da edificação, o usuário tenha uma condição de conforto e bem estar durante os anos de uso do edifício.

O conjunto das condições ambientais que permitem ao ser humano sentir bem estar térmico, visual, acústico e antropométrico, além de garantir a qualidade do ar e o conforto olfativo, é conhecido como conforto ambiental (Lamberts et al., 2014). Como este trabalho pretende abordar questões relativas ao desempenho térmico e luminoso das edificações, torna-se oportuno esclarecer os conceitos de conforto térmico e luminoso.

A norma americana SD55 (ASHRAE, 2013) conceitua conforto térmico como o estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico e é medida por uma avaliação subjetiva (ASHRAE, 2013). Já o conforto visual pode ser definido como a existência de um conjunto de condições de um ambiente onde o ser humano pode desenvolver atividades visuais com menor esforço, máximo de acuidade e precisão visual,

¹¹ Critérios para avaliação de custos de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios (ABNT, 2006).

menor prejuízo à vista, bem como com o menor risco de acidentes (LAMBERTS et al., 2014).

Alguns estudos mostram a importância da associação do desempenho com o conforto. Santo, Alvarez e Nico-Rodrigues (2013) analisaram os parâmetros da NBR 15575 para desempenho térmico, relacionando-os com o índice de conforto adaptativo da ASHRAE e o índice Frequência de Desconforto Térmico (FDT). Esse índice é baseado no método de Sicurella, Evola e Wurtz (2012), que adota indicadores fundamentados em uma abordagem estatística para a avaliação de conforto térmico e visual. Os autores utilizaram três indicadores percentuais: frequência de conforto térmico (FCT), para medir o percentual de tempo durante o qual as condições de conforto térmico no interior da edificação são atingidas; Frequência de Desconforto Térmico (FDT), que mede o percentual de tempo em que a temperatura operativa está abaixo ou acima da faixa de conforto e Intensidade de Desconforto térmico (IDT), que mensura o quanto um ambiente pode acumular mais calor. Com base em simulações de um modelo padrão de unidade habitacional com dois dormitórios e área de aproximadamente 70m², localizado na cidade de Vitória – ES (ZB8), foram avaliados diferentes períodos de simulação, diferentes padrões de ocupação e de ganhos térmicos internos, dentro dos critérios de avaliação de desempenho térmico. Em seus resultados, atestaram a extrema simplificação da análise de desempenho térmico da NBR 15575-1 e a ausência de correlação com referenciais de conforto térmico, o que torna sua metodologia vulnerável. “A simulação do dia típico de projeto de verão, a análise somente de valores máximos diários de temperatura e a não consideração de ocupação e ganhos térmicos no ambiente geraram resultados distorcidos, cuja ampliação do período de análise comprovou a inadequação do método.” (SANTO, ALVAREZ E NICO-RODRIGUES, 2013). Através da comparação utilizando a FDT foi verificado que a falta de parâmetros de conforto térmico na NBR 15575 pode fazer com que um ambiente com boa classificação na norma seja desconfortável na realidade do usuário.

Existem ainda divergências nas legislações que resultam em classificações diferentes para uma mesma edificação. Em análise comparativa entre os métodos prescritivos da NBR 15575/2008 (na época, ainda projeto de norma) e do RTQ-R, Loura et al. (2011) estudaram a envoltória de uma edificação multifamiliar, localizada na cidade do Rio de Janeiro, zona bioclimática 8. Os resultados apontaram que, pelo RTQ-R, a edificação obteve classificação nível B para a envoltória, uma boa classificação. Entretanto, pela NBR 15575 não atingiu o nível mínimo de desempenho. Portanto, verificou-se a necessidade de promover maior coerência entre os resultados das avaliações de desempenho térmico feitas a partir desses instrumentos.

A NBR 15575 usa a temperatura máxima ou mínima interna no dia típico como critério para avaliação do desempenho térmico. Já o RTQ-R usa o critério de graus hora (por resfriamento e/ou aquecimento). O dia típico é definido como um dia real caracterizado como o dia mais quente (para verão) ou mais frio (para inverno) na média do período dos últimos 10 anos (ABNT, 2013a). Já o grau hora é o somatório da diferença da temperatura horária, quando esta se encontra superior à temperatura de base, no caso de resfriamento, ou inferior, no caso do aquecimento (ELETROBRAS; PROCEL, 2012). Dias et al. (2015) compararam os resultados de desempenho térmico obtidos a partir de diferentes metodologias: método do conforto adaptativo e métodos apresentados pelo RTQ-R (simulação e prescritivo). Os estudos foram realizados para o clima quente úmido em Natal/RN, na Zona Bioclimática 08, utilizando o software DesignBuilder. Os resultados para o método prescritivo mostraram que todos os modelos obtiveram nível “A” de classificação (numa escala que vai de “A”, mais eficiente, até “E”, menos eficiente, de acordo com o RTQ-R). Para o método do conforto adaptativo os autores utilizaram uma classificação equivalente aos níveis entre “A” e “E” do RTQ-R, e todos os modelos também obtiveram nível “A”, com 80% de horas do ano em conforto. Entretanto, para o método de simulação proposto pelo próprio regulamento, todos os modelos obtiveram classificação em nível “E”. Ou seja, mesmo sendo aplicadas as recomendações bioclimáticas e os pré-requisitos de desempenho do próprio regulamento RTQ-R, seus dois métodos resultaram em níveis diferentes de classificação. Dessa forma, os autores recomendam a revisão do método de simulação do RTQ-R, especialmente da tabela de limites do GHr - Indicador de Graus-hora para resfriamento.

O fato do conforto dos usuários não estar incluso no escopo das normas brasileiras fragiliza sua abordagem para desempenho térmico e luminoso. Os estudos citados mostram que a comparação entre resultados obtidos através de métodos que consideram o desempenho da edificação sem o usuário e de métodos que avaliam seu desempenho em paralelo ao conforto do ocupante pode resultar em grandes diferenças para uma mesma situação. Tais diferenças podem fazer com que uma edificação que alcançou bons níveis de desempenho estando desocupada, passe a ter baixo desempenho se os níveis de conforto do usuário forem utilizados como critério.

Outros estudos avaliaram a coerência entre as diferentes abordagens das normas. Marques et al. (2013) analisaram comparativamente os dois métodos da NBR 15575 (procedimento simplificado e simulação computacional) para avaliação do desempenho térmico. Seu intuito foi de avaliar o impacto da área envidraçada de edificações residenciais no cálculo simplificado proposto pela norma e compará-lo com os resultados obtidos por simulação. Os resultados indicaram a inadequação do cálculo simplificado tradicional, que

contabiliza apenas os elementos opacos da envoltória, sendo proposto um método onde se inclui as áreas envidraçadas.

Sorgato et al. (2014), também estudando desempenho térmico, usaram como objeto de estudo uma edificação unifamiliar nos climas das cidades de Florianópolis, Curitiba e São Luís, para simulação no programa EnergyPlus. Aqui, novamente a aplicação do procedimento simplificado comparado à simulação não obteve coerência nos resultados. Verificou-se que apesar do procedimento atual de simulação da norma 15575-1 (ABNT, 2013a) não apresentar nenhuma definição em relação às condições de contato da edificação com o solo, isto impacta significativamente no desempenho térmico da residência. Outra questão abordada foi sobre a ventilação, onde a alteração da taxa de renovação de ar de 1 para 5 trocas de ar por hora não foi suficiente para atingir o nível mínimo de desempenho térmico em São Luís. Por fim, constatou-se que o processo de simulação da norma não considera outros parâmetros importantes que influenciam no desempenho térmico das edificações residenciais, como cargas térmicas internas e ventilação natural.

O método de simulação do desempenho térmico da NBR 15575 também foi avaliado por Sorgato et al. (2014). A conclusão foi de que o método de avaliação da edificação para dias típicos de verão e inverno mostra-se limitado, sendo então proposto usar o método dos graus-hora de resfriamento e aquecimento. Verificou-se que, para um sistema construtivo com paredes de concreto de 5 cm de espessura, o método de simulação da NBR 15575 resultaria em uma classificação de desempenho térmico mínimo, enquanto o mesmo sistema foi classificado como insatisfatório de acordo com o método proposto pelos autores.

A envoltória da edificação tem um importante papel para o desempenho da edificação. Morais e Labaki (2015) analisaram um edifício do Programa Minha Casa Minha Vida - PMCMV dotado de aberturas com dimensões máximas indicadas pela NBR 15220-3. O estudo foi feito para a cidade de Campinas/SP, localizada na ZB3. O único parâmetro de projeto da norma para a ventilação natural é o tamanho das aberturas. Concluiu-se que a correta disposição dos blocos e das aberturas frente ao vento dominante, a disposição dos ambientes e o uso de reentrâncias nas fachadas, também têm um impacto decisivo no desempenho da ventilação interna, mais do que apenas o tamanho das aberturas. Portanto, reconhecendo a importância da ventilação natural para a manutenção do conforto térmico na maior parte do país, os autores questionam a existência de um parâmetro único (dimensionamento de aberturas) para avaliação da ventilação natural na NBR 15220-3.

Assim como a NBR 15220, também a NBR 15575 utiliza apenas a área de abertura como parâmetro de projeto relacionado à ventilação. A norma de desempenho menciona também a taxa de renovação do ar e a necessidade de sombreamento das aberturas, mas não trata da localização das aberturas na fachada ou da sua orientação em relação aos ventos.

A norma brasileira desconsidera também o escoamento do vento dentro da Unidade Habitacional (UH), impossibilitando a avaliação do caminho percorrido pelo vento dentro do ambiente. Segundo Bitencourt e Cândido (2008), a depender da localização das aberturas de entrada do ar, do tipo e da configuração das esquadrias utilizadas e da existência de outros componentes arquitetônicos posicionados nas proximidades das aberturas, o escoamento do vento pode ser significativamente alterado. Além disso, a atividade desenvolvida no ambiente pode requerer uma maior concentração de vento em determinado local, como em um quarto, ou uma distribuição mais homogênea, como no caso de uma sala de aula.

Os autores afirmam que no clima quente e úmido a ventilação pode ser usada com dois objetivos complementares. O primeiro é o resfriamento da edificação, que se aquece devido à radiação solar e aos ganhos de calor internos (ocupação, equipamentos e iluminação). Neste caso, a ventilação natural contribui para remover a carga térmica e proporcionar uma temperatura interna próxima à externa. O segundo é o resfriamento fisiológico, relacionado ao próprio usuário da edificação. Quando o fluxo de ar entra em contato com o corpo humano acontecem trocas de calor por convecção, além da evaporação do suor da pele, causando sensação de frescor. Entretanto, é necessário destacar que, para temperaturas acima de 32°C, o vento pode tornar-se indesejável. Para os períodos de calmaria, deve ser previsto a ventilação mecânica, como o uso de ventiladores (BITTENCOURT E CÂNDIDO, 2008).

Fontenelle, Bastos e Castro (2011), realizaram uma avaliação da ventilação natural e da qualidade do ar para uma mesma planta de apartamento orientada a leste e a oeste, referentes a um edifício residencial multifamiliar de 14 pavimentos no Rio de Janeiro. Verificaram também a influência na circulação do ar nos ambientes de acordo com os diferentes andares dos apartamentos. Para isso, utilizaram como ferramenta de simulação computacional o programa Aeoluz MZ. Os resultados demonstraram que o rebatimento da planta de um apartamento tipo pode significar variações na qualidade do ar dos ambientes. Ambientes com grandes volumes exigem maiores aberturas para garantir uma troca de ar satisfatória, mesmo que essas aberturas estejam orientadas para receber os ventos predominantes. Em muitos casos, verificou-se que a taxa de troca de ar é proporcional à qualidade do ar no ambiente interno. Constatou-se ainda a importância da existência de

ventilação cruzada nos ambientes, considerando aberturas de captação e de exaustão do ar e, por fim, foi visto que a integração dos ambientes facilita o escoamento do vento e, por isso, revelou-se uma importante estratégia para a melhoria da qualidade do ar nos ambientes internos. Entretanto, de todos os fatores citados, a NBR 15575 aborda em seu escopo apenas a área das aberturas e uma taxa fixa de renovação de ar apresentada isoladamente, sem correlacionar-se com coeficientes de pressão, nem com a qualidade do ar nos ambientes internos.

Outro tópico importante para a melhoria da qualidade das edificações brasileiras é a iluminação natural. Mardaljevic et al. (2011) elaboraram um estudo sobre edificações residenciais, com o objetivo principal de investigar e explorar a aplicabilidade de parâmetros para iluminação natural em residências. Foram investigadas também a relação entre luz natural e a redução do uso da energia elétrica e a formulação de parâmetros para verificação de efeitos não visuais da luz, como a relação da luz com o ciclo circadiano¹². Utilizando um modelo tridimensional de uma residência térrea com projeto e configurações comumente encontrados pela Europa, o parâmetro usado para avaliar a provisão de luz natural foi o Useful Daylight Illuminance (UDI) (ou Iluminância Útil da Luz Natural – IULN) (Mardaljevic e Nabil, 2005; 2006). De maneira simplificada, a UDI é definida como a ocorrência anual de iluminâncias no plano de trabalho, dentro de um intervalo considerado “útil” pelos usuários. Os autores dividiram a UDI em cinco intervalos: iluminância inferior a 100 lux (UDI insuficiente); iluminância maior que 100 lux e menor que 300 lux (UDI complementar); iluminância maior que 300 lux e menor que 3.000 lux (UDI autônoma); iluminância maior que 100 lux e menor que 3.000 lux (UDI combinada) e iluminância maior do que 3.000 lux (UDI excedido). A UDI Combinada tem essa nomenclatura por unir da UDI complementar com a autônoma.

Originalmente concebida usando dados de estudos sobre as preferências e o comportamento dos usuários em edificações não residenciais (ambientes de trabalho), a abordagem da UDI mostrou-se eficaz em expor a consequência das intervenções de projeto para a iluminação natural. Os valores limites da UDI não são fixos, e é possível que, para habitações residenciais, o limite máximo tolerado seja maior do que o indicado nos estudos em edifícios de escritório. Além disso, é bastante provável que em edifícios residenciais seja o excesso de calor e não o excesso de luz diurna o fator mais comum para o fechamento das cortinas pelos usuários. Para os autores, uma das maiores contribuições do artigo foi a

¹² Ciclo circadiano (do latim: circa = em torno de; dies = do dia), “é a capacidade do indivíduo de adequar seu ciclo de sono e vigília ao ciclo noite-dia da terra. (...) Assim, a luminosidade e o calor do dia, a escuridão e a redução da temperatura ambiental à noite, as variações de incidência de luz no decorrer do dia, os relógios, os sons das cidades e de animais (galo, pássaros, etc...) são elementos que nos condicionam a manter um ritmo de atividade alternada com repouso e intercalada com funções de ingestão e eliminação, dentro do padrão circadiano” (FERNANDES, 2006).

demonstração do potencial de economia de energia pelo uso da iluminação natural. Quanto aos efeitos não visuais da luz, foi constatado que medidas fotométricas como os lúmens não são eficazes para determinar se um ambiente tem luz suficiente e no espectro adequado para o favorecimento do alinhamento do circadiano das pessoas presentes, sem a necessidade grandes cálculos. (MARDALJEVIC et al., 2011).

A UDI é, portanto, uma abordagem que coloca o usuário como importante elemento na análise da iluminação natural. Comparando esta abordagem com a NBR 15575, percebe-se que, assim como ocorre para desempenho térmico, ao tratar da iluminação natural, a norma brasileira coloca o usuário à parte das avaliações. É importante destacar a existência de estudos sobre limites mínimos e máximos de iluminâncias para diferentes ambientes. Mardaljevic et al. (2011) apresentam a UDI como um intervalo flexível e mostram que limites máximos maiores que 3000lx podem ser mais tolerados em residências que em escritórios. A falta de limites máximos pode contribuir com a presença de ofuscamento ou mesmo com o aumento do calor nos ambientes internos. A contribuição da iluminação natural com a diminuição do desperdício de energia em edificações residenciais coloca-se como indício da necessidade de maior atenção ao potencial da luz do sol.

As aberturas nas fachadas também possuem relação com a luz natural e a carga térmica nos ambientes. Leder et al. (2015) realizaram estudos sobre aberturas nas fachadas, analisando o desempenho de sistemas de iluminação natural em uma edificação de interesse social, situada em diferentes localidades no estado da Paraíba, localizada na ZB8. As aberturas foram escolhidas com variações na dimensão e nos tipos de fechamento, considerando-se as seguintes proporções em relação à área de piso do ambiente: 15%, 30% e 45%. Os tipos de fechamentos empregados foram vidro, veneziana de madeira ou esquadria mista. Foram considerados dois critérios de análise, o primeiro foi a Autonomia da Luz do Natural – ALN (Daylight Autonomy – DA¹³) e o segundo a Iluminância Útil da Luz Natural – IULN (Useful Daylight Illuminance – UDI¹⁴) para o intervalo de 100lx a 2000lx. Nos resultados, as maiores iluminâncias foram apresentadas para as aberturas com fechamento em vidro, sendo que para a esquadria com área correspondente a 15% da área de piso, a ALN superou 60% em todos os pontos analisados, percentual considerado satisfatório pelo estudo. Com relação ao ofuscamento, as aberturas em vidro com áreas equivalentes a 30% e 45% da área de piso apresentam maior probabilidade de desconforto. A melhor distribuição da luz aconteceu com o uso de venezianas, porém esses casos obtiveram os

¹³ Porcentagem das horas ocupadas do ano quando a iluminância mínima requerida é alcançada apenas com a luz natural (REINHART C F; WALKENHORST O, 2001).

¹⁴ Porcentagem de horas do ano em que a iluminância média do plano de trabalho atinge valores dentro do intervalo de 100lx a 2000lx (MARDALJEVIC J; NABIL A, 2005; MARDALJEVIC J; NABIL A, 2006).

menores valores de iluminâncias no ambiente. O melhor desempenho foi registrado pelas aberturas com dimensão equivalente 30% e 45% de área de piso e fechamento em vidro e veneziana, com boa distribuição da luz e baixa condição de ofuscamento.

Leder e Oliveira (2015) utilizaram a mesma edificação, nas mesmas condições citadas em Leder et al. (2015), (percentual de abertura, tipos de fechamento e material), para analisar a carga térmica advinda das aberturas e seu impacto no desempenho térmico dos ambientes. Utilizaram como critérios os graus horas para resfriamento, o percentual de horas de desconforto e a taxa de renovação do ar. Para todas as localidades analisadas, a abertura com fechamento em veneziana, com dimensões de 30% e 45% da área de piso, possibilitou melhor desempenho térmico do ambiente, seguida pela abertura com fechamento misto.

Percebe-se que a relação entre aberturas, tipo de fechamento e materiais utilizados é importante tanto para a avaliação do desempenho luminoso, quanto térmico, pois sua influência na ventilação natural, na temperatura e na iluminação natural dos ambientes afeta o conforto do usuário. Entretanto as normas brasileiras não consideram claramente esses aspectos. A NBR 15575 cita o tamanho das aberturas para ventilação, entretanto, não aborda sua relação com o tipo de fechamento e material da esquadria. Também não relaciona diretamente a abertura com entrada de luz natural, já que a área de abertura é dimensionada em função apenas da ventilação. O parâmetro de iluminação natural é o nível de iluminância do ambiente, mas a distribuição da luz também não é abordada pela norma.

Torres e Adelino (2013) fizeram um estudo para a cidade de Maceió-AL a fim de analisar a influência das dimensões das aberturas na distribuição da luz natural. Foi utilizado para as simulações computacionais um dormitório modelado com base nos parâmetros do RTQ-R, utilizando o *software* TropLux. Segundo o RTQ-R, as janelas são dimensionadas para ZB8 em razão de 1/8 da área de piso do ambiente (similar à NBR 15575). Foram então propostos três diferentes arranjos de abertura, todos com uma área de 1/8 do piso. Os resultados obtidos identificaram altos valores de iluminância, muito além do exigido para um dormitório de acordo com a NBR 5413 (ABNT, 1992) em todos os casos. Portanto, foi constatado que a “área mínima da abertura recomendada pelo regulamento não é capaz de definir, sozinha, um bom desempenho luminoso do ambiente”. É necessária a adoção de estratégias para proteção solar no intuito de auxiliar um desempenho luminoso favorável.

Amorim et al. (2011), utilizaram o *software* Daysim em simulações da luz natural para estudar a influência da profundidade do ambiente no comportamento da luz natural em residências, considerando o contexto climático brasileiro. Foram selecionadas 11 cidades com latitudes diferentes, entre elas Maceió, para análise das quatro orientações básicas –

norte, sul, leste e oeste. Foram destacados alguns critérios de avaliação: a iluminância mínima de 60 lx (seguindo a NBR 15575) e 100lx (seguindo o mínimo proposto pela UDI) e a Autonomia da Luz Natural (Daylight Autonomy – DA). A iluminância mínima deveria ser atingida durante 70% ou 80% das horas do ano no interior do ambiente. Os resultados obtidos mostraram que a orientação interfere significativamente nas iluminâncias, principalmente nas cidades de maior latitude (caso de Maceió). Para a orientação Norte observou-se a possibilidade de ambientes com maior profundidade (P), equivalente até 2,11 vezes a altura da verga ($h=2,27$), sem grandes perdas da qualidade da iluminação. Para a orientação Sul a profundidade máxima dos ambientes atingiu até 1,58 vezes a altura da verga (h) da janela, sendo o pior resultado. Quanto aos intervalos de horas analisados, os resultados mais coerentes foram os que consideraram o intervalo de acordo com a latitude da cidade, pois o horário de luz do sol disponível muda em cada região do globo. Em relação às análises da autonomia de luz natural (DA), ambientes com profundidade de no máximo 1 vez a altura da verga ($h=P=2,27m$) obtiveram no mínimo 100lx em 80% das horas do ano. Já para o nível de exigência de 60lx de iluminância mínima, em 70% das horas do ano, de acordo com o horário de sol de cada cidade, atendeu-se este critério em ambientes com profundidade de 1,80 vezes a altura da verga da janela ($P=4,08m$), em média. Este resultado foi o mais próximo às recomendações da literatura e, por isso, foi considerado pelos autores mais adequado à realidade brasileira.

Esse estudo evidencia a necessidade da associação de diferentes parâmetros no intuito de melhorar a precisão na avaliação do desempenho luminoso pelas normas. A adoção apenas da iluminância mínima como parâmetro nas normas brasileiras pode resultar em uma análise parcial das condições do ambiente. Pode-se citar como aspectos importantes o tempo em que a iluminância mínima é atingida durante o ano, a possibilidade de ofuscamento, ou ainda a avaliação da adequada distribuição da luz em todo o ambiente.

Outra questão importante é que o estudo abordou diferentes latitudes, com seus respectivos horários de luz natural disponível. As cidades brasileiras possuem diferentes características geográficas e climáticas que afetam tanto as questões térmicas como as luminosas de uma edificação. Os parâmetros normativos deveriam satisfazer também essas características. Baker e Steemers (2002) esclarecem que a luz natural disponível, tanto a luz direta quanto a refletida, pode substituir a luz artificial. Além disso, afirmam que os principais fatores para determinar a luz disponível em uma localidade são a latitude e a nebulosidade. Na NBR 15575, as zonas bioclimáticas são consideradas na avaliação do desempenho térmico, entretanto, para o desempenho luminoso, a norma não possui diferenciação entre as zonas.

Pereira, Schmitt e Moraes (2015) desenvolveram uma pesquisa no intuito de propor um zoneamento luminoso para o território brasileiro, baseado na disponibilidade de luz natural, com base em histogramas de frequência acumulada de ocorrência das iluminâncias horizontais externas difusas. Os autores afirmam que devido aos histogramas serem “baseados em arquivos climáticos, esse procedimento se aproxima mais da realidade local, diferentemente dos métodos empregados pelas normas brasileiras”. Para isso, foram selecionadas 12 cidades distribuídas em todos os estados do país, abrangendo 44,5% das localidades que contêm ao menos uma estação climatológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os resultados foram analisados de acordo com as exigências de tamanho de abertura das normas para cada cidade estudada. Os autores chegaram a uma proposta de divisão do país em duas zonas: Zona I (regiões Sul, Sudeste e grande parte da Nordeste e Centro Oeste) com maiores horas de brilho do sol e menor nebulosidade e Zona II (região norte e pequena parte da Nordeste e Centro Oeste), com maior nebulosidade, em grande parte devido ao clima quente e úmido da região. Observaram que a incidência das iluminâncias horizontais externas entre 20.000 lux e 45.000 lux chega a 25% de diferença da Zona I para a Zona II. Esse intervalo mostrou-se representativo, visto que abaixo de 20.000 lux e acima de 45.000 lux a diferença foi menor que 5% entre as zonas. Por fim, foi verificado que, dentre as 12 cidades que tiveram normas e códigos de obras investigados quanto ao tamanho das aberturas, muitas apresentaram incoerências entre os parâmetros legais e o resultado da pesquisa. Algumas das que se enquadraram na Zona I apresentam áreas mínimas de aberturas menores quando comparadas com as cidades da Zona II, que possui menor disponibilidade de luz natural. Isso ocorreu em “Manaus – AM e Belém – PA, que têm maiores aberturas que Santa Maria – RS e Florianópolis – SC, sendo que o contrário é que seria o esperado” (PEREIRA, SCHMITT; MORAES, 2015).

O uso da subdivisão do território em zonas que se diferem de acordo com a luz natural disponível, já foi elaborado em outros países. Baker e Steemers (2002) apresentaram o mapa da Europa subdividido em cinco zonas, conhecido como Atlas Europeu de Iluminação Natural (*European Daylighting Atlas*). O mapa foi produzido no âmbito do programa da comissão europeia, *Daylight II*, concluído em 1996 e também se baseou nos histogramas de frequência acumulada das iluminâncias no plano horizontal.

Diante do exposto pode-se afirmar que, no vasto campo da investigação da luz natural, as pesquisas registram avanços em direção ao desenvolvimento de critérios e parâmetros adequados às condições brasileiras. A norma de desempenho, contudo, ainda propõe abordagens que desconsideram importantes questões necessárias para uma adequada avaliação do desempenho luminoso.

Percebe-se também que alguns critérios e parâmetros da NBR 15575 mostraram-se frágeis ou imprecisos, destacando-se os seguintes aspectos: a utilização do método de graus hora pode ser mais criteriosa que a avaliação por dia típico; a necessidade de ocupação dos ambientes por usuários, devendo-se considerar seu conforto como critério para determinação de parâmetros de desempenho térmico e luminoso; a necessidade de contabilizar as cargas térmicas internas; a limitada abordagem da ventilação natural e a ausência de definição das condições de contato do edifício com o solo. Todos esses resultados demonstraram a importância do aprofundamento dos estudos para avaliação das normas, com intuito de proporcionar informações para possíveis melhorias das mesmas.

2.3 Critérios e Parâmetros das Legislações

Cada legislação tem critérios e parâmetros que traduzem as condições de desempenho térmico e luminoso consideradas aceitáveis dentro do contexto em que estão inseridas. Neste tópico são apresentados os parâmetros e critérios para desempenho térmico e luminoso encontrados na NBR 15575, ASHRAE 55, BS EN 15251 e normas que servirão de complemento às indicações para a posterior definição dos critérios e parâmetros utilizados nesta dissertação, baseados tanto nas referidas normas quanto nos estudos revisados no tópico anterior.

ANSI/ASHRAE 55/2013: Condições ambientais térmicas para ocupação humana.¹⁵

Para avaliação das condições térmicas dos ambientes, a ASHRAE 55 usa como critério básico a temperatura operativa (t_o), cujo cálculo é baseado na equação 1.

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

Onde:

t_o = temperatura operativa

t_a = temperatura média do ar

\bar{t}_r = temperatura média radiante (TMR)¹⁶

A = valor dado em função da velocidade relativa do ar V_r , de acordo com a tabela 3.

Tabela 3 – valor de “A” para Equação 1.

V_r	<0,2 m/s	0,2 até 0,6 m/s	0,6 até 1,0 m/s
A	0,5	0,6	0,7

Fonte: Adaptado de ASHRAE (2013).

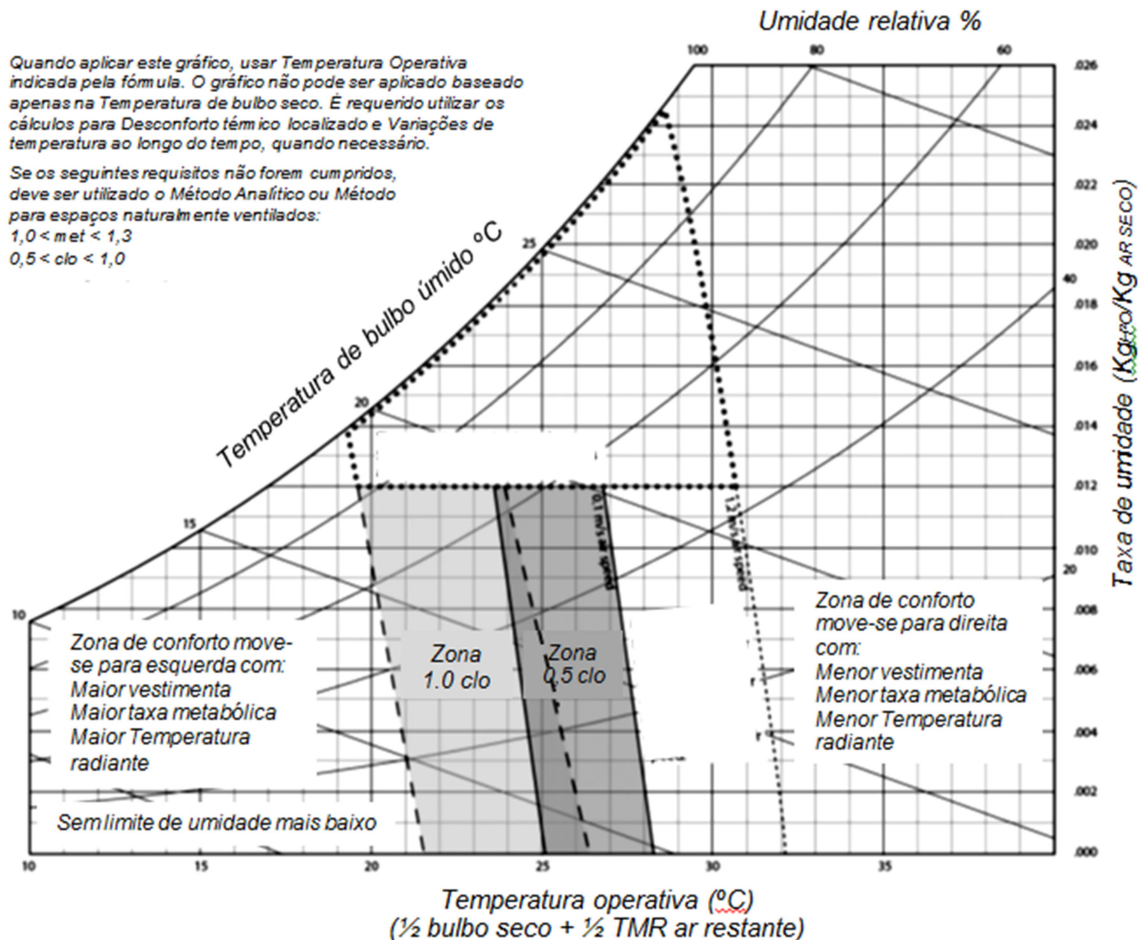
¹⁵ ANSI/ASHRAE 55/2013: *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. (ASHRAE, 2013. Tradução nossa).

¹⁶ Por definição, Temperatura média radiante (TMR) é a temperatura uniforme das superfícies envolventes de um espaço imaginário, onde a transferência de calor por radiação entre este espaço e um ocupante seja igual à soma das transferências de calor por radiação não uniformes das superfícies envolventes de um espaço real.

Todo o escopo da norma é construído com base em métodos específicos para espaços ocupados, apresentando-se três possibilidades.

Para ambientes condicionados, a ASHRAE 55 aponta dois métodos aplicáveis. O primeiro é o método do Gráfico da Zona de Conforto (figura 1), em que se calcula a máxima e a mínima temperatura operativa em função da vestimenta (clo) e da velocidade média do ar, visualizando-se as condições de conforto necessárias para os ocupantes no gráfico construído sobre uma carta psicrométrica. Nele pode-se ver a faixa aceitável da temperatura operativa (to) e da umidade para ambientes cujos ocupantes apresentem taxa metabólica entre $1,0 \leq met < 1,3$ e a vestimenta está entre $0,5 < clo < 1,0$. Este método não é aplicável para espaços naturalmente ventilados.

Figura 1 – Método do gráfico da zona de conforto



Fonte: ASHRAE (2013), p.9, tradução nossa.

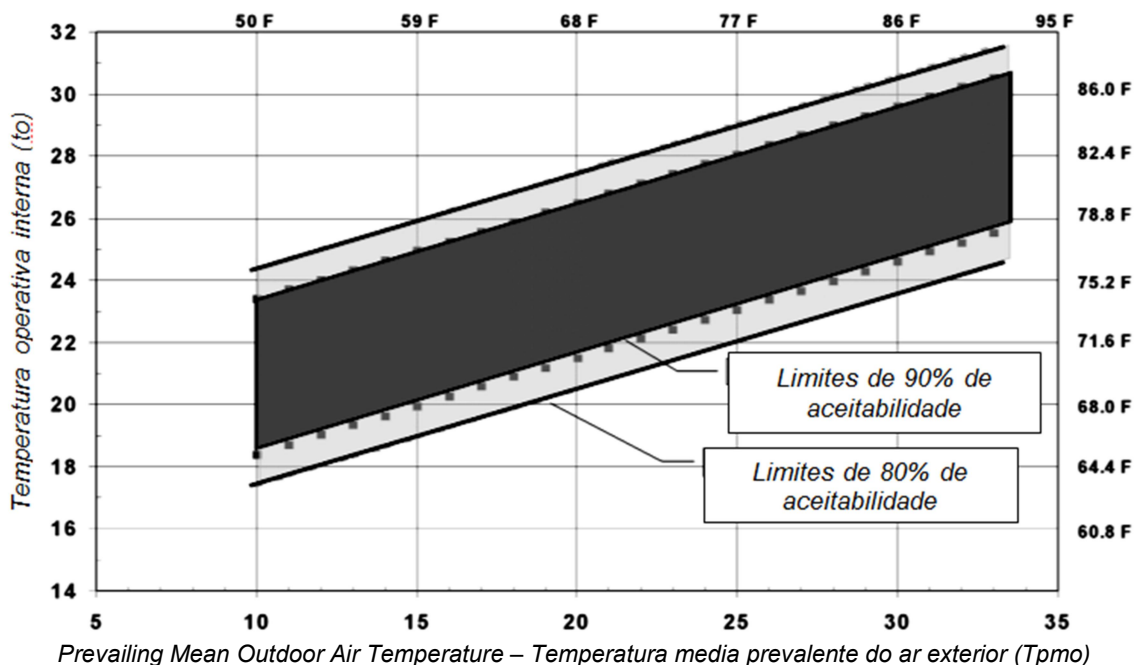
O segundo é o método da Zona de Conforto Analítica (figura 1), baseado no Método do Voto Predito (Predicted Mean Vote Based - PMV). O PMV é um índice que prevê o valor médio dos votos de sensação térmica (percepções auto-relatadas) de um grande grupo de pessoas, dentro de uma escala de sensação térmica. É aplicado apenas para ambientes mecanicamente resfriados/aquecidos. A própria norma detalha esse método afirmando que os parâmetros das medições do ambiente interno são convertidos em

previsões da satisfação térmica dos usuários, através de cálculos e testes dos limites de conforto, os quais devem permanecer enquadrados entre $-0,5$ PMV até $+0,5$ PMV (escala de sensação térmica). Para qualquer nível de PMV existe uma parcela de pessoas insatisfeitas, traduzido pelo percentual de insatisfação prevista, ou Predicted Percentage Dissatisfied (PPD). Com esse método espera-se o mínimo de 90% dos usuários satisfeitos com a temperatura (PMV) ou até 10% de insatisfeitos (PPD). Entretanto, como na maioria das edificações raramente se obtém 90% de satisfação, aceita-se um PMV de 80%, o que corresponde a um PPD de 20%. A velocidade do ar para este método limita-se até $0,2\text{m/s}$, sendo estabelecidos cálculos e condições adicionais para velocidades acima desse valor.

A taxa metabólica (*met*) é a principal diferença apontada pela norma para definir qual desses dois métodos deve-se utilizar. Para o método do Gráfico da Zona de Conforto a taxa deve estar entre $1,0 < met < 1,3$, enquanto para o método da Zona de Conforto Analítica é requerido $1,0 < met < 2,0$.

O terceiro e último método apresentado é usado para determinar as condições térmicas aceitáveis para espaços naturalmente ventilados controlados pelos ocupantes, ou seja, baseia-se na abordagem adaptativa de conforto (figura 2).

Figura 2 – Intervalos de Temperatura operativa aceitável (t_o) para espaços naturalmente condicionados.



Fonte: ASHRAE (2013), p12, tradução nossa.

No gráfico, são vistos dois limites de aceitabilidade, ou seja, duas faixas que definem o conforto do usuário. A norma apresenta equações para viabilizar dois níveis de aceitação do conforto, sendo 80% de aceitação o valor adotado para os casos em geral,

enquanto o nível de 90% é indicado apenas para casos onde um padrão mais elevado de conforto térmico é desejado.

BS EN 15251/2007¹⁷ e parâmetros referentes ao desempenho térmico e luminoso

A norma europeia trata, entre outros, do desempenho térmico e luminoso das edificações. Nela são apresentados dois métodos para avaliação das condições térmicas do ambiente e, assim como na ASHRAE 55, o alcance do conforto térmico dos ocupantes é a condição básica de desempenho da edificação e o parâmetro considerado é a temperatura operativa (t_o).

A semelhança entre as duas legislações inclui também o uso do PMV e PPD como parâmetros de avaliação do conforto, sendo que para a BS EN esse método é o único recomendado para espaços condicionados. Para espaços naturalmente ventilados pode-se usar o PMV/PPD ou o método adaptativo de conforto. Já os critérios utilizados para avaliação são distintos nas duas normas.

A classificação geral de desempenho térmico da norma europeia é feita com base em quatro categorias listadas no quadro 1.

Quadro 1 – Categorias indicadas na norma europeia

Categoria	Explicação
I	Alto nível de expectativa, recomendado para espaços ocupados por pessoas sensíveis, que precisem de cuidados especiais, como pessoas doentes, muito jovens ou idosas.
II	Nível normal de expectativa, deve ser utilizado para novas edificações ou reformas.
III	Nível aceitável, com expectativas moderadas, pode ser utilizado para edificações existentes
IV	Valores fora das categorias acima citadas. Deve ser aceito apenas para períodos limitados do ano.

Fonte: Adaptado de BSI (2007).

Quanto ao PMV/PPD, a norma estabelece quatro diferentes intervalos de PPD (Tabela 4) para classificar o ambiente interior de acordo com as categorias do quadro 1.

Tabela 4 – Categorias de conforto térmico, de acordo com níveis de PPD

Categoria	Estado térmico do corpo	
	PPD	PMV
I	< 6	-0,2 < PMV < + 0,2
II	< 10	-0,5 < PMV < + 0,5
III	< 15	-0,7 < PMV < + 0,7
IV	> 15	PMV < -0,7; ou +0,7 < PMV

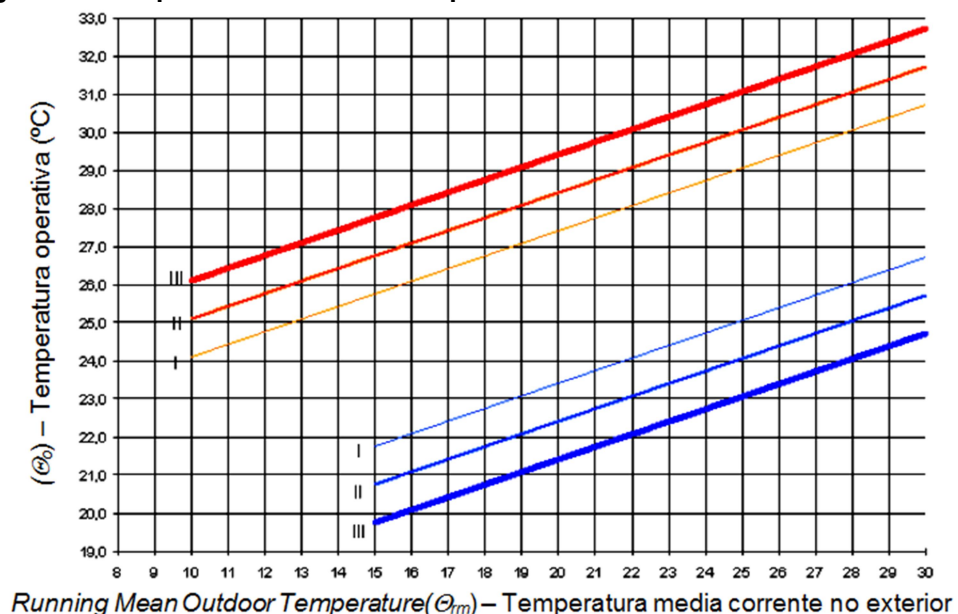
Fonte: Adaptado de BSI (2007)

¹⁷ Título da norma BS EN 15251/2007: Parâmetros para projeto de ambientes internos e avaliação de desempenho energético de edificações, abordando a qualidade do ar interior, ambiente térmico, iluminação e acústica. Em tradução livre: *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.*

O índice em questão leva em conta a influência de seis parâmetros térmicos (vestuário, atividade, temperatura média radiante, temperatura do ar, velocidade do ar e umidade relativa do ar). A norma apresenta também uma tabela contendo diferentes limites de temperaturas operativas já calculadas para espaços internos de edificações mecanicamente resfriadas ou aquecidas. Essas temperaturas operativas são fornecidas de acordo com a vestimenta e a umidade do ar, e devem enquadrar-se nas diferentes categorias de PPD abordadas na tabela 4. Se o caso analisado estiver fora da tabela da norma, o PMV/PPD deve ser calculado pela norma EN ISO 7730¹⁸. Esta norma detalha o método da Zona de Conforto Analítica e serve de referência para a BS EN 15251.

Para o critério do conforto adaptativo (figura 3), utilizado em ambientes sem condicionamento mecânico do ar, os ocupantes devem poder adaptar o uso das janelas e das vestimentas para obter conforto térmico. A norma também limita o uso desse método para taxas metabólicas entre $1,0 < \text{met} < 1,3$, equivalentes a atividades próximas ao nível sedentário. As temperaturas usadas na norma para determinar as condições de conforto deste método são baseadas em estudos com edificações de escritórios. Entretanto, a norma aponta que estes estudos podem ser utilizados para outras edificações com atividades sedentárias, como no caso de residências. Acrescenta também que especialmente as edificações residenciais têm larga condição de adaptação dos ocupantes às condições do ambiente, quando comparadas as condições de adaptação nos escritórios.

Figura 3 – Temperatura interna aceita para edifícios ventilados naturalmente.



Fonte: BSI (2007).

¹⁸ (Ergonomia do ambiente térmico — determinação analítica e interpretação do conforto térmico usando o cálculo dos índices PMV e PPD e o critério do conforto térmico local. Título original, *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*).

Para os limites de conforto, são apresentadas três categorias, como visto na figura 3. A quarta categoria (quadro 1) refere-se a ambientes que não se enquadram na classificação, ou seja, têm desempenho insuficiente. Cada categoria de conforto possui limites superior (de calor) e inferior (de frio).

De acordo com a BS EN 15251, o usuário também é o ponto de partida para a avaliação do desempenho da iluminação, já que o objetivo é permitir às pessoas que desempenhem as atividades visuais de forma eficiente e com acurácia. O parâmetro básico usado na BS EN 15251 é a iluminância, sendo as edificações comerciais as únicas enfocadas na tabela de iluminâncias mínimas. Esta tabela, por sua vez, não cita edificações residenciais. Entretanto, a norma determina que para detalhes de iluminação em residências devem ser utilizadas normas prescritivas como a EN 12464-1/2002¹⁹ e a BS EN 15193²⁰. A primeira traz detalhes das iluminâncias exigidas como parâmetro mínimo a ser atingido, incluindo residências; a segunda fornece detalhes para os períodos de ocupação e disponibilidade de luz do dia, no intuito de garantir que será utilizada a luz natural durante o período em que o recinto estiver ocupado.

A norma BS EN 15193 é exclusiva para iluminação e disponibiliza métodos aplicáveis tanto para a luz artificial como natural. No caso da luz artificial, apresenta cálculos para estimar a energia gasta pela iluminação artificial em um período de tempo curto ou anualmente. O consumo pode ser quantificado com base em cálculos ou medições. O cálculo da energia utilizada para iluminação artificial pode considerar o total da energia utilizada na edificação em um curto período, como meses ou dias, ou o total anual da energia utilizada. Para o cálculo da luz natural, deve-se considerar o Fator de dependência de luz do dia (Fd), que relaciona quanto o ambiente aproveita da luz natural exclusivamente e quanto precisa de luz artificial. Sendo assim, o Fd depende de dois outros fatores: do Fator de fornecimento de luz do dia – Fds, que significa a quantidade de luz disponível dentro do ambiente e do Fator de dependência do controle da luz artificial durante o dia – Fdc, que se traduz em quanto de luz artificial é utilizada durante o dia, no ambiente ou na zona iluminada. Para encontrar o Fdc, pode ser feita a medição in loco do consumo relativo aos circuitos elétricos (em KWh), ou usar sistemas de gestão de iluminação para medição integrada, onde a medição é feita por sistemas computadorizados.

A norma apresenta um método para calcular a intensidade de luz que chega ao ambiente (Fds), dividindo o recinto em zonas que recebem luz e zonas que não recebem luz. O fornecimento da luz do dia de uma zona beneficiada pela luz natural depende também

¹⁹ (Luz e iluminação — iluminação dos postos de trabalho — Parte 1: ambientes internos de trabalho, título original: *Light and lighting — Lighting of work places — Part 1: Indoor workplaces*).

²⁰ (Desempenho energético dos edifícios — requisitos de energia para iluminação, título original: *Energy performance of buildings — Energy requirements for lighting*).

das condições do envelope do ambiente. Essas condições podem ser descritas pelo índice de transparência (transmitância das fachadas – vidros, policarbonatos, etc); o índice de profundidade (quão profundo é o ambiente em relação a sua largura) e o índice de obstrução. A obstrução pode ser causada por outros edifícios e obstáculos naturais, tais como árvores e montanhas; pelo edifício em si, incluindo pátio simples e átrios; por proteções horizontais e verticais na fachada.

Para classificação do desempenho luminoso, a norma possibilita utilizar dois fatores: o índice denominado Fator de luz do dia (*Daylight Factor* – D) e o Fator de luz do dia para aberturas no envelope da edificação (*Daylight for carcass facade opening* – Dc). Ambos os fatores determinam o percentual (%) de penetração da luz no ambiente ou na zona iluminada, considerando em seus cálculos os três índices citados (de transparência, profundidade e obstrução). Para obtenção do D, é preciso calcular o Dc. Entretanto, a primeira classificação da zona que recebe luz natural, pode ser feita com base no valor referente ao D ou ao Dc. Esta classificação varia de acordo com a penetração da luz no ambiente (nenhuma, fraca, média e forte). Em seguida, incluindo nos cálculos o Fator de fornecimento de luz do dia (Fds), uma segunda classificação pode ser feita envolvendo a iluminância média (Em), medida em lux, dentro dos níveis de 300lux, 500lux e 750lux. Sendo assim, a classificação do desempenho é feita para cada zona iluminada, onde são calculados a iluminância média e a penetração da luz natural, definindo a zona em função da quantidade de luz que adentra no ambiente.

NBR 15575/2013: Edificações habitacionais — desempenho

A norma brasileira, apesar de citar o usuário como fator importante para a avaliação do desempenho da edificação, propõe em seu escopo a ausência de quaisquer ocupantes ou equipamentos dentro dos ambientes na avaliação de desempenho térmico. Outra diferença em relação às outras normas é o uso da temperatura interna do ar como parâmetro de avaliação do desempenho térmico, ao invés da temperatura operativa.

A NBR 15575 apresenta dois métodos possíveis para a avaliação de desempenho térmico: o método simplificado, que pode ser aplicado juntamente com medições, e o método de simulação computacional, para o qual é recomendado o programa *EnergyPlus*. A avaliação por simulação deve ocorrer na unidade termicamente mais crítica, de preferência em um ambiente que tenha contato com a cobertura da edificação, uma janela voltada para oeste e uma parede voltada para norte. Deve-se adotar 1r/h (uma renovação de ar por hora) para a simulação e, caso não seja atendido o nível mínimo de temperatura exigida, aumentar para 5r/h e/ou adicionar proteção nas aberturas que obstrua 50% de incidência

solar. A avaliação é feita para o dia típico de verão e/ou inverno. Para a Zona Bioclimática (ZB) 8, à qual Maceió pertence, avalia-se apenas dia típico de verão, onde o valor da temperatura máxima interna do ar deve ser menor ou igual a temperatura máxima externa do ar.

Para a avaliação pelo método simplificado (prescritivo), os critérios avaliados são a transmitância térmica e a capacidade térmica das paredes, bem como o percentual de abertura das janelas do ambiente em relação à área de piso. Para a ZB8, a área de abertura deve ser maior ou igual a 8% da área do piso, para dormitórios e salas.

Para a iluminação, a NBR 15575 estabelece o uso da iluminação natural durante o dia e artificial apenas à noite. Apresenta o valor de 60 lux ou mais como referência para luz natural nos quartos e salas. Propõe dois tipos de avaliação para iluminação natural: o primeiro é a simulação computacional, onde devem ser simulados os dias 23 de abril e 23 de outubro, nos horários das 09h30min e 15h30min em cada dia, considerando uma nebulosidade média (50% de nuvens), sem ajuda da iluminação artificial, com todas as janelas e portas internas abertas. Deve-se considerar a existência do entorno, as diferentes posições dos apartamentos em diferentes andares e todas as orientações das UHs. O segundo método é o cálculo do Fator de Luz Diurna (*Daylight Factor*), razão entre a iluminância exterior e a interior, obtido com base em medições *in loco*, que devem considerar os mesmos parâmetros das simulações e usar o aparelho luxímetro com erro de +/-5%.

A tabela 5 mostra os níveis de iluminamento referentes à iluminação artificial para alcançar desempenho mínimo, apresentados pela NBR 15575.

Tabela 5 – Níveis de iluminamento geral para iluminação artificial

Dependência	Iluminamento geral para os níveis de desempenho		
	lux		
	<i>M*</i>	<i>I</i>	<i>S</i>
Sala de estar Dormitório Banheiro Área de serviço Garagens/estacionamentos internos e cobertos	≥ 100	≥ 150	≥ 200
Copa/cozinha	≥ 200	≥ 300	≥ 400
Corredor ou escada interna à unidade Corredor de uso comum (prédios) Escadaria de uso comum (prédios)	≥ 100	≥ 150	≥ 200
Garagens/estacionamentos descobertos	≥ 20	≥ 30	≥ 40
* Valores mínimos obrigatórios, conforme 13.3.1.			

Fonte: ABNT, p. 53 (2013a).

Para iluminação artificial, a NBR 15575 estabelece valores mínimos de iluminância que variam de 20 lux para estacionamentos até 100 lux para ambientes de permanência prolongada. O cálculo deve ser feito com base na medição *in loco* sem nenhuma entrada de luz externa, com a iluminação artificial do ambiente totalmente ativada. Recomenda-se considerar como ponto de medição o centro dos ambientes, a 80 cm de altura.

A norma ainda cita a NBR 5382/1985 como referência para os cálculos da iluminação artificial e a NBR 5413/1992 para nível de iluminamento. Entretanto, ambas foram substituídas pela NBR 8995/2013, que apesar de ser mais completa, é voltada para ambientes de trabalho e não possui indicação para ambientes residenciais.

Considerações sobre as normas

Como o método do Conforto adaptativo foi adotado nas duas normas internacionais aqui apresentadas, faz-se importante comparar as metodologias da ASHRAE 55 e da BS EN15251, bem como suas condições de aplicabilidade, para definição dos critérios a serem utilizados neste trabalho.

Para a composição do Gráfico da Zona de Conforto, as duas normas internacionais utilizam, além da temperatura operativa (T_o), a Temperatura média prevalente do ar exterior: a ASHRAE denomina essa temperatura como *Prevailing Mean Outdoor Air Temperature* (T_{pmo} , abreviação adotada neste trabalho) e a BS EN chama de *Running Mean Outdoor Temperature* (T_{rm}). Entretanto, o significado é o mesmo em ambas as normas, sendo seu cálculo baseado na média aritmética das temperaturas exteriores diárias médias, durante um período de sete dias, de acordo com a equação 2. O valor encontrado para a T_{pmo} deverá representar um dia com um histórico de temperaturas externas correspondentes aos sete dias anteriores. Esta temperatura representa o contexto climático externo do ambiente em que o ocupante da edificação esteve inserido naquele período. As temperaturas de dias mais distantes têm menor influência na temperatura de conforto de ocupantes de ambientes internos das edificações.

$$T_{pmo} = (1-\alpha) \times T_{e(n-1)} + \alpha \times T_{rm(n-1)} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

- T_{pmo} = Temperatura média prevalente do ar no exterior
- $T_{e(n-1)}$ = Temperatura média do ar no exterior, para o dia anterior.
- $T_{rm(n-1)}$ = Temperatura média corrente do ar no exterior, para o dia anterior.
- α = Constante entre 0 e 1, aqui será utilizado 0,8²¹

²¹ Para a constante α , a norma inglesa determina um valor entre 0 e 1, sugerindo que se adote 0,8. A norma americana sugere valores entre 0,6 e 0,9. Dessa forma, foi adotado o valor 0,8 por enquadrar-se em ambas as normas.

A aplicabilidade da norma elaborada pela ASHRAE apresenta limites de temperatura externa variando entre $10^{\circ}\text{C} < T_{\text{pmo}} < 33,5^{\circ}\text{C}$ e pela norma europeia entre $10^{\circ}\text{C} < T_{\text{pmo}} < 30^{\circ}\text{C}$ (limite inferior) e $15^{\circ}\text{C} < T_{\text{pmo}} < 30^{\circ}\text{C}$ (limite superior). Em ambas, para temperaturas operativas maiores que 25°C , é permitido aumentar o intervalo da zona de conforto desde que a velocidade do ar no ambiente interno também aumente, a fim de manter a mesma transferência de calor total entre a pele do usuário e o ar. Para isso, as normas recomendam, por exemplo, o uso de ventiladores controlados pelos ocupantes. Entretanto esse possível aumento da temperatura limite de conforto depende da velocidade empregada pelo dispositivo utilizado, sendo a relação entre temperatura e velocidade do ar diferente em cada situação.

Por fim, para a ASHRAE o percentual de 80% de aceitabilidade dos usuários quanto ao conforto térmico deve ser utilizado para situações gerais, enquanto 90% deve ser utilizado para ambientes com pessoas mais sensíveis, que precisam de um nível mais alto de exigência. Já a BS EN tem como parâmetro as categorias de I até IV, previamente listadas no quadro 1, sendo a categoria II descrita como o nível normal de expectativa.

Além disso, apesar das semelhanças entre as duas normas internacionais no âmbito do desempenho térmico, uma grande diferença existe no que tange os dados de entrada utilizados para chegar a esses parâmetros. A ASHRAE baseou-se em dados globais, com cerca de 21 mil questionários, enquanto a BS EN fez estudos apenas no campo Europeu e utilizou um banco de dados com 4.655 questionários. Desse modo, a ASHRAE emerge como boa “inspiração para qualquer padrão de conforto térmico em todo o mundo” (LAMBERTS et al., 2013). Os autores citam resultados de pesquisas realizadas no Brasil referentes aos limites de temperatura aceitáveis em ambientes naturalmente ventilados, as quais se aproximam das condições de aplicabilidade da Ashrae ($10^{\circ}\text{C} < T_{\text{pmo}} < 33,5^{\circ}\text{C}$):

[...] No Sul do Brasil, a aceitabilidade pode ser encontrada no intervalo entre 14°C e 24°C (Xavier, 2000; Lazarotto et al., 2007), enquanto no Nordeste esses valores podem ser facilmente estendidos para $24,5^{\circ}\text{C}$ a 32°C sem, contudo comprometer o conforto térmico dos usuários (Araújo, 1996 *apud* LAMBERTS et al., 2013, p. 21).

Considerando as três normas, a maior diferença observada diz respeito à questão do conforto do usuário. Quanto ao desempenho térmico, as normas internacionais mostram-se voltadas para métodos que consideram a ocupação dos ambientes e usam a sensação térmica do usuário como parâmetro de referência para avaliação do desempenho térmico, baseando-se na temperatura operativa. A norma brasileira classifica o desempenho do

edifício em função da temperatura do ar, desconsiderando a ocupação dos ambientes e o conforto do usuário e avaliando apenas um dia do ano (o dia típico).

O fato de que o arquivo climático abarca o período de um ano possibilita o detalhamento da avaliação do desempenho térmico das edificações. Já a temperatura operativa considera, além da temperatura média do ar, a temperatura radiante média que, por sua vez, inclui as relações de transferência de calor por radiação de um ambiente, levando em conta fatores que afetam o conforto do indivíduo. Outro fator importante considerado pela temperatura operativa é a velocidade do ar. Ou seja, a temperatura operativa contribui para a avaliação térmica do ambiente ocupado por indivíduos, enquanto a temperatura interna do ar refere-se ao ambiente independente da ocupação.

Para o desempenho luminoso, nas normas internacionais, mais do que a atividade desempenhada, é necessário considerar também os horários ocupados daquele ambiente, para que seja garantida a luz natural durante a maior parte do seu tempo de uso. Já a norma brasileira considera apenas dois horários e dois dias específicos do ano, independente do período de uso.

Quanto às aberturas, a norma brasileira apresenta uma relação entre área da abertura e área de piso, entretanto trata esta relação apenas para a ventilação natural. Nenhum paralelo entre a área das aberturas e a iluminância desejável no ambiente ou o calor proporcionado pela luz no ambiente foi encontrado na NBR15575/2013. Os ambientes são naturalmente iluminados e ventilados pelas aberturas existentes nas fachadas das edificações: por elas tem-se a visão do ambiente exterior, devendo-se evitar ofuscamento, além do excesso de calor trazido pela incidência da luz do sol, funções importantes das aberturas para a promoção do conforto dos usuários. Mesmo havendo a recomendação de sombreamento no caso da temperatura mínima não ter sido atingida, nenhuma referência é feita quanto as diferentes funções das aberturas.

A norma BS EN 15251, apesar de não possuir em seu escopo maiores informações sobre parâmetros e/ou prescrições a respeito de iluminação natural em ambientes residenciais, indica o uso de uma legislação complementar que trata desse assunto. Nela, as zonas iluminadas e os índices de transmitância, profundidade e obstrução das aberturas utilizados nos cálculos refletem uma preocupação com a distribuição e a intensidade da luz nos ambientes internos. Observa-se que a norma aborda, além de aspectos meramente quantitativos, a qualidade da iluminação natural. Trata também de questões como o tamanho e a localização das aberturas na fachada, além da penetração da luz no ambiente e do nível médio de iluminância desejável.

Quanto ao nível de iluminâncias, a NBR 15575 adota 60lx como o mínimo desejável para ambientes de longa permanência das residências. Pode-se dizer que esse valor é aceito para quaisquer atividades que venham a ser desenvolvidas nos ambientes residenciais, visto que os diferentes tipos de atividades que podem ser realizadas nas residências não são abordados na norma. Esse mesmo valor de iluminância mínima é aceito pelo RTQ-R. A norma de iluminação atualmente em vigor (NBR 8995-1/2013) trata apenas de ambientes de trabalho e substituiu a antiga NBR5413/1992, intitulada Iluminância de Interiores. Entretanto, a norma antiga apresentava diferentes níveis de iluminância para atividades distintas e englobava as residências em seu escopo. Ou seja, a única referência nacional para iluminação de interiores de residências em vigor na atualidade é a NBR 15575.

A NBR 5413/1992 estabelecia para cada atividade três níveis de iluminância, que deveriam ser escolhidas de acordo com a velocidade e precisão da tarefa realizada e idade do usuário. Para salas, o requerido era entre 100 e 200lx para iluminação geral e entre 300 e 750lx para tarefas específicas. Para quartos entre 100 e 200lx no geral e entre 200 e 500lx para tarefas específicas (ABNT, 1992).

Diante disso, percebe-se que houve uma diminuição da exigência da iluminância mínima e a retirada das diferentes iluminâncias médias para cada tipo atividade no ambiente residencial, nas normas brasileiras atualmente em vigor. Sabe-se que muitas vezes, dentro de perfis familiares como o considerado para esta pesquisa, em apartamentos de 2 quartos, os ambientes de sala e quarto servem como locais de estudos e trabalho. Por isso, esses ambientes podem ser utilizados, com certa frequência, para atividades de leitura, escrita e trabalhos manuais, por exemplo. Atingir o mínimo de 60lx atualmente exigido pela norma não necessariamente garantirá as condições de conforto visual, considerando as diferentes tarefas comumente praticadas em residências e os diferentes perfis familiares.

Sendo assim, pode-se afirmar que a norma de desempenho brasileira consiste em um avanço para a melhoria da qualidade das edificações, porém ainda possui algumas fragilidades. Este trabalho pretende estudar sua metodologia para a avaliação do desempenho térmico e luminoso, considerando essas possíveis fragilidades, no intuito de apontar critérios que possam ser aperfeiçoados. Além disso, pretende-se investigar as diferenças encontradas para o consumo de energia, quando a edificação é avaliada dentro da proposta da norma e da proposta aqui utilizada como comparativo, utilizando uma metodologia baseada em informações encontradas na literatura e nas normas internacionais, conforme será apresentado no capítulo 3.

2.4 Síntese do Referencial Teórico

Alguns avanços importantes foram registrados nos últimos trinta anos em prol de edificações residenciais com bom desempenho no Brasil, embora sejam considerados tardios quando comparados ao contexto internacional. A evolução partiu das primeiras iniciativas voltadas para eficiência energética em equipamentos de uso residencial até a formulação da norma mais recente, NBR 15575, que almeja impulsionar a melhoria do desempenho das edificações residenciais. A importância dessa evolução histórica causa impacto no consumo de energia, no meio ambiente, em relações econômicas e na sociedade em geral.

Foram apresentadas as normas que tratam do desempenho térmico e luminoso em edificações residenciais que foram utilizadas nesta pesquisa. São elas ASHRAE 55, BS EN 15251 e NBR 15575, representando respectivamente Estados Unidos, Europa e Brasil. As normas internacionais são mais antigas que a brasileira e seus parâmetros e critérios são revisados periodicamente, alcançando avanços na melhoria do desempenho das edificações. Pretende-se investigar os parâmetros e critérios que cada norma utiliza, comparando sua eficácia para a melhoria do desempenho das edificações.

De acordo com os estudos apresentados, verificou-se que a NBR 15575 possui fragilidades tanto na avaliação do desempenho termoenergético quanto do luminoso. Observou-se ainda que o desempenho térmico torna-se mais fidedigno quando considera o conforto dos usuários (Santo, Alvarez e Nico-Rodrigues, 2013).

Os trabalhos citados também trataram sobre diferentes abordagens de conforto e parâmetros utilizados como referência para definição de critérios de avaliação de desempenho térmico, tais como o Conforto Adaptativo, os índices PMV e PPD, o somatório de graus hora de resfriamento/aquecimento e o escoamento dos ventos nos ambientes internos, por exemplo. Para iluminação natural pode-se citar os parâmetros Autonomia da Luz do Natural – ALN (Daylight Autonomy – DA), a Iluminância Natural Útil – INU (Useful Daylight Illuminance – UDI) e a distribuição da luz do ambiente, que contribuem para uma melhor avaliação da iluminação natural nos ambientes internos. Ressaltou-se a necessidade de verificação da iluminância média adequada para cada localidade, considerando a latitude e a nebulosidade da região.

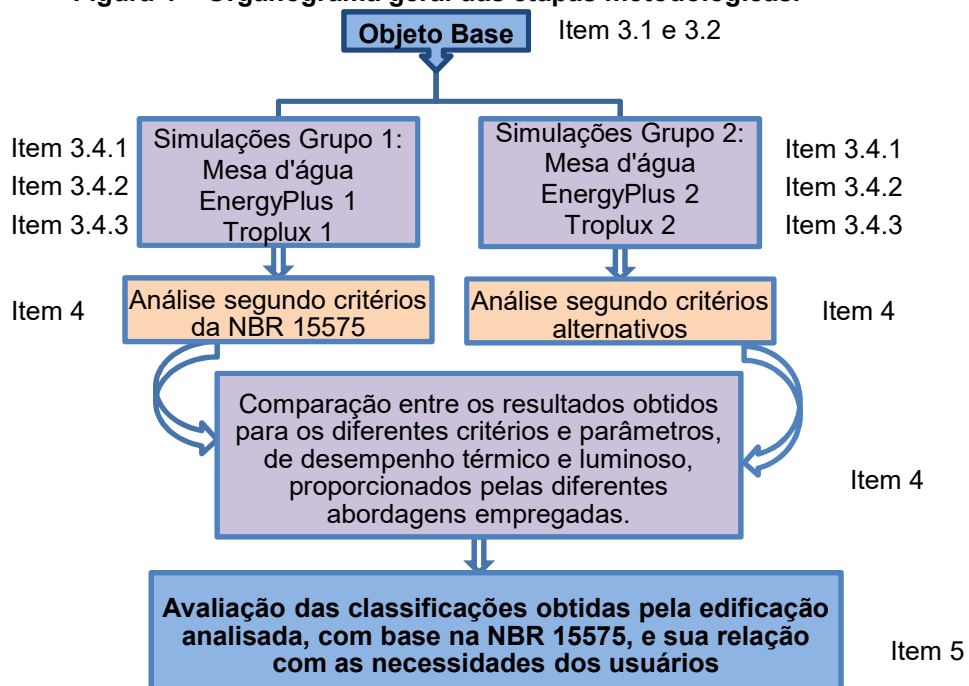
Tais considerações serviram de base para a formulação da metodologia apresentada a seguir, na qual são definidos os critérios de avaliação utilizados nesta dissertação.

3 METODOLOGIA

O estudo de caso utilizado para o desenvolvimento desta pesquisa foi definido a partir do levantamento da situação atual do mercado imobiliário de Maceió, considerando o perfil de edificações mais representativo para a faixa de renda média da população. Além disso, também foi considerada para escolha do objeto a existência de características construtivas comuns à maioria das edificações residenciais brasileiras. Pretende-se que a utilização do objeto dessa pesquisa como estudo de caso sirva para análise das condições do desempenho térmico e luminoso, estabelecidas na legislação brasileira, para edificações residenciais no clima quente e úmido compatível com cidade de Maceió-AL.

A figura 4 mostra o esquema com as etapas metodológicas desta pesquisa. A edificação objeto deste estudo foi denominada “Objeto Base” e em seguida avaliada de acordo com dois grupos de critérios. O primeiro, Grupo 1, possui critérios que baseiam-se na NBR15575/2013. Nele foram simulados 2 casos de estudo: um restrito às condições da norma e outro baseado na norma, porém com introdução de cargas térmicas internas. O segundo, Grupo 2, possui critérios baseados em normas internacionais e na literatura científica. Este segundo grupo foi formulado com a intenção de analisar critérios que incluam a relação entre o ocupante e o ambiente construído, uma vez que a NBR exclui essa relação (ver item 3.4). Para o grupo 2 foram simulados 4 casos distintos, variando-se o horário de abertura das janelas e os períodos de utilização dos condicionadores de ar.

Figura 4 – Organograma geral das etapas metodológicas.

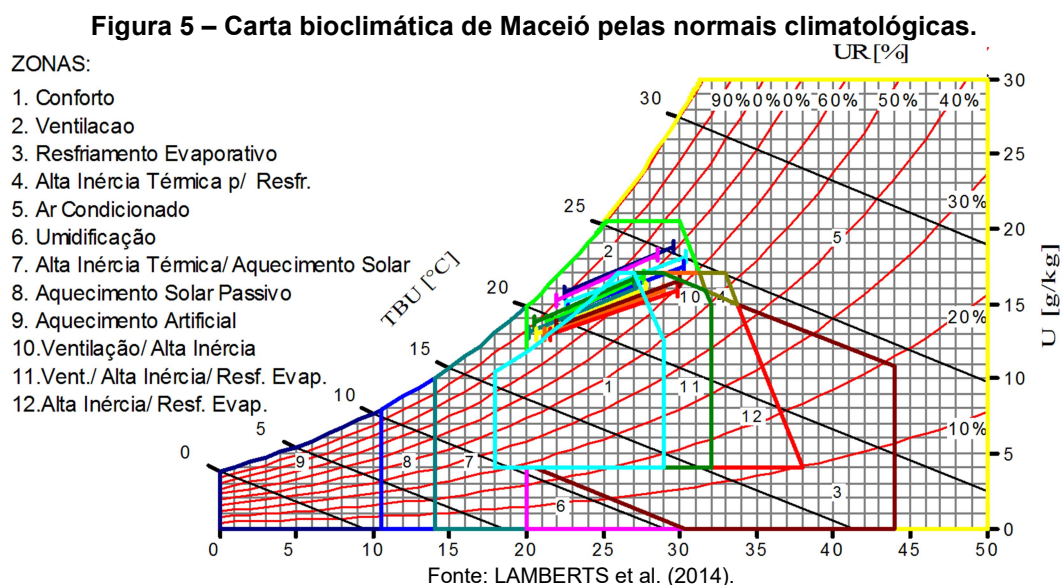


Fonte: A autora.

Com o uso dos programas computacionais foram simulados os casos de cada grupo, para o mesmo objeto, investigando-se o comportamento da ventilação natural, iluminação, temperatura e consumo energético. Através da análise paramétrica das simulações, os resultados obtidos foram comparados com os critérios e parâmetros estabelecidos nas normatizações estudadas. Dessa forma, foi feita uma avaliação qualitativa dos procedimentos utilizados pela NBR 15575 na verificação do desempenho térmico e luminoso do objeto de estudo.

3.1 Caracterização Bioclimática de Maceió-AL

Maceió caracteriza-se como uma cidade com grande demanda para o emprego da ventilação natural, de modo que as aberturas do edifício podem ser as principais contribuintes para a melhoria da condição de conforto nos ambientes internos das edificações. Pode-se citar a escolha do tipo de abertura, o tamanho das aberturas, o sombreamento, a orientação das edificações e a localização das aberturas na fachada como elementos essenciais a serem pensadas na fase de projeto (BITTENCOURT E CÂNDIDO, 2008). De acordo com a carta bioclimática (figura 5) da cidade, a ventilação natural é a principal estratégia de projeto recomendável para solucionar o desconforto por calor, aplicável em 75% das horas do ano (GIVONI, 1992; LAMBERTS et al., 2014).



De acordo com as normas climatológicas da cidade de Maceió para o período entre 1961 e 1990²² (BRASIL, 1992) pode-se observar as condições climáticas da cidade, caracterizada pelo clima quente e úmido. Observando a Tabela 6, tem-se que os meses

²² Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>, acessado em janeiro de 2016.

mais quentes vão de novembro a abril, enquanto as maiores umidades relativas são registradas entre março e agosto, que são também os meses mais chuvosos.

Tabela 6 – Normais Climatológicas da cidade de Maceió (1961-1990).

	Temperatura média compensada (°C)	Umidade Relativa (%)	Intensidade do vento (m/s ⁻¹)	Direção do vento	Precipitação Acumulada (mm)
Ano	24,8	78,5	3,69	L	2070,5
Jan	26,5	75,4	3,84	L	78,1
Fev	26,5	76,6	3,28	L	88,3
Mar	26,4	78,3	3,01	L	194,5
Apr	26	81,5	2,96	SE	268,8
Mai	25,2	82,6	3,09	SE	382,2
Jun	24,3	82,4	3,78	SE	331,9
Jul	23,6	82,1	3,76	SE	273,7
Ago	23,6	79,5	3,71	SE	155,2
Set	24,3	77,2	3,93	SE	130,3
Out	25,3	76	4,32	L	73,5
Nov	25,9	74,7	4,48	L	31,7
Dez	26,2	75,8	4,1	L	62,5

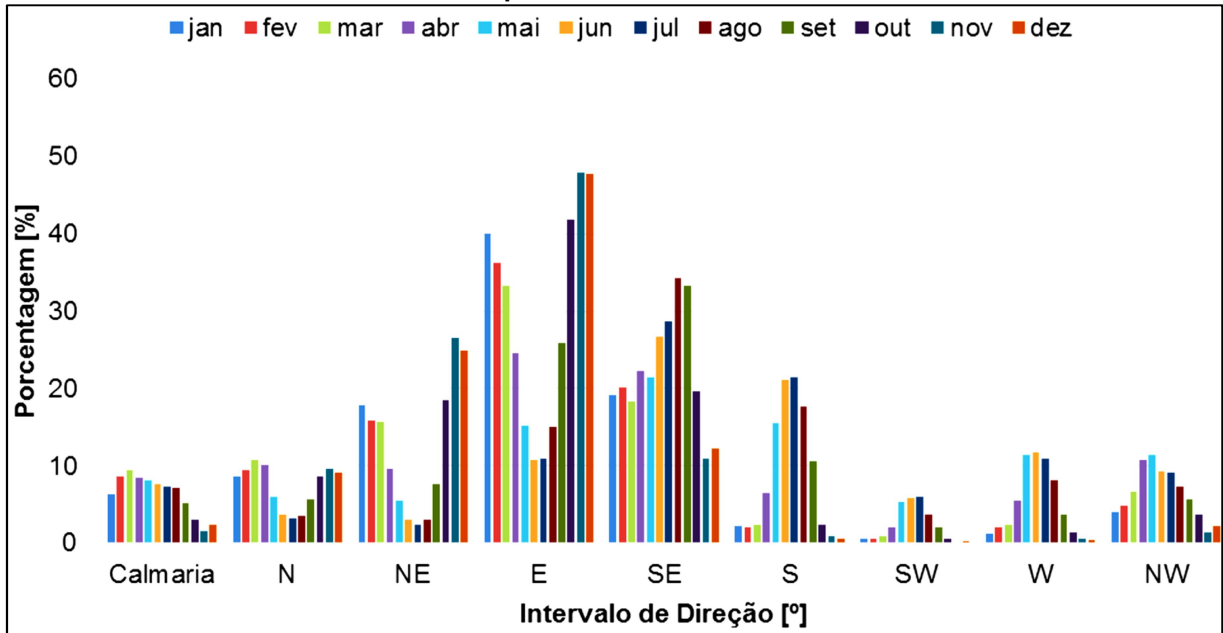
Fonte: Adaptado de BRASIL (1992).

A temperatura máxima é 26,5°C em janeiro e fevereiro, já a mínima é 23,6°C em julho e agosto. A velocidade do vento é menor entre março (3,01m/s) e abril (2,96m/s) e maior entre outubro (4,32m/s) e novembro (4,48m/s). Ao longo do ano, o vento Leste predomina por seis meses e o Sudeste por outros seis meses. Entretanto, as normais registram que a predominância anual é do vento Leste e a velocidade média anual é de 3,69m/s.

Maia (2016) elaborou um estudo sobre os padrões que o escoamento do vento assume na região metropolitana de Maceió. A autora trabalhou um conjunto de dados meteorológicos do Aeroporto Internacional de Maceió - Zumbi dos Palmares (09° 31' S; 35° 47' W; 116 m), obtidos junto a INFRAERO, do período entre janeiro/2003 e dezembro/2012. Os resultados mostraram que, de acordo com a variação mensal das direções dos ventos em Maceió, ao longo do ano, as direções que predominam no regime dos ventos são E e SE (gráfico 6), assim como apontam os dados da tabela 6. Notou-se também que os ventos E predominam entre outubro e abril (nas proximidades da primavera/verão) e os ventos SE entre maio e setembro (por volta do outono/inverno) (MAIA, 2016). Padrões de direção dos ventos similares a esses já foram observados no litoral de Alagoas (LYRA, 1998; SANTOS et al., 2004; SILVA et al., 2010).

É importante ressaltar que as calmarias, ou seja, momentos de velocidade 0,0m/s, foram excluídas dos cálculos vetoriais e foram menos frequentes nos meses mais secos entre setembro e janeiro, representando 6,34% do total de medições (MAIA, 2016).

Gráfico 6 – Distribuição de frequência mensal das medições de direção do vento, referente ao período 2003-12.



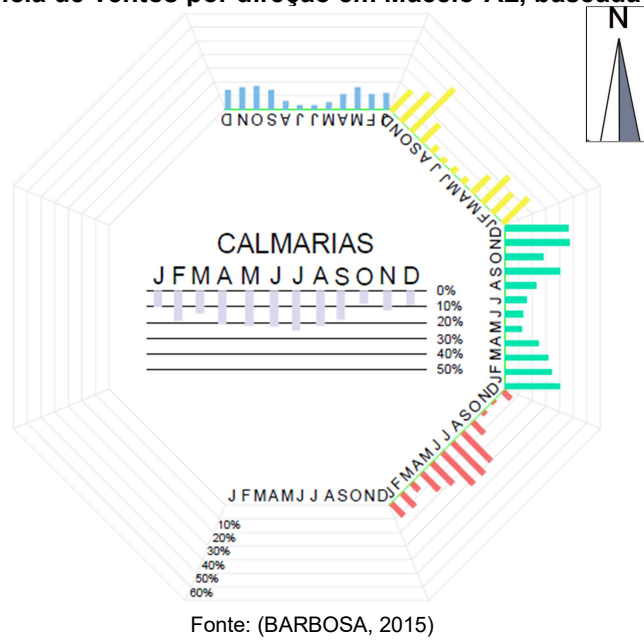
Fonte: MAIA (2016)

Os dados climáticos utilizados nesta pesquisa correspondem ao arquivo EPW23 elaborado por Roriz (2012), preparado a partir de dados horários obtidos pelo INMET entre os anos de 2000 e 2010. O formato EPW é adotado pelo EnergyPlus, programa computacional utilizado aqui como ferramenta para geração de dados para análise do desempenho termoenergético da edificação.

Fazendo uma comparação, verificou-se que os dados climáticos disponibilizados por Roriz (2012) mantêm correspondência com as normais climatológicas e o estudo de Maia (2016). Destaca-se que os ventos predominantes permaneceram Leste e Sudeste, bem como o Leste registrou a maior frequência anual nas três referências apresentadas. Na figura 6 é possível perceber também que o vento Leste é mais frequente entre setembro e março, enquanto o Sudeste aumenta sua frequência entre março e agosto. O vento Nordeste destaca-se como o terceiro mais frequente, aparecendo principalmente entre agosto e março, com destaque no mês de outubro. A temperatura média anual é 25,52°C e a umidade relativa anual de 78%. As calmarias, períodos com ausência de ventos, apresentam frequência mais baixas nos meses mais secos (setembro a janeiro), coincidindo com o estudo feito por Maia (2016).

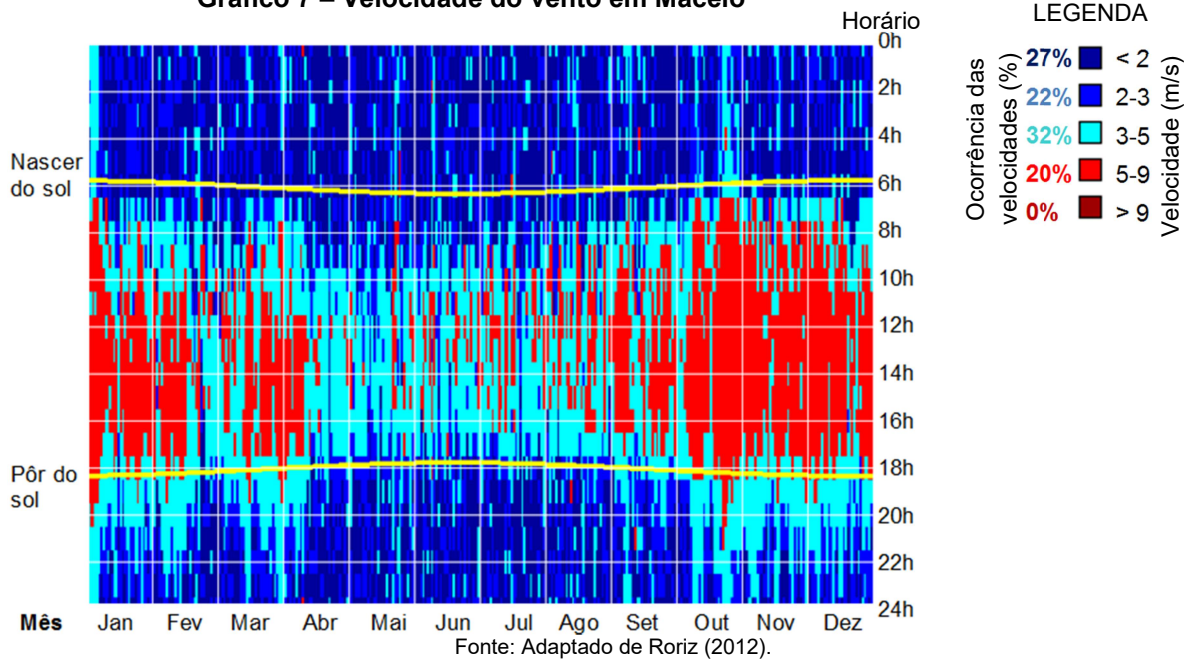
²³ Arquivos elaborados pelo Prof. Maurício Roriz (UFSCAR) e disponíveis no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações: <<http://www.labeee.ufsc.br>>, atualizados em 2015.

Figura 6 – Frequência de ventos por direção em Maceió-AL, baseada em Roriz (2012).



O gráfico 7 apresenta a variação horária da velocidade do ar ao longo do ano.

Gráfico 7 – Velocidade do vento em Maceió



Entre os meses de abril a agosto são registradas as menores velocidades do ar com valores abaixo de 5m/s. Esses meses são também mais úmidos e possuem frequência maior do vento SE. Enquanto de setembro a março observa-se ocorrência das maiores velocidades do ar (entre 5 e 9m/s). As velocidades entre 3 e 5m/s predominam durante o ano todo. Comparando o gráfico 7 e a tabela 6 quanto ao comportamento das velocidades dos ventos ao longo dos meses, observa-se uma correspondência entre as normais e os dados de Roriz (2012).

3.2 Definição do Objeto de Estudo

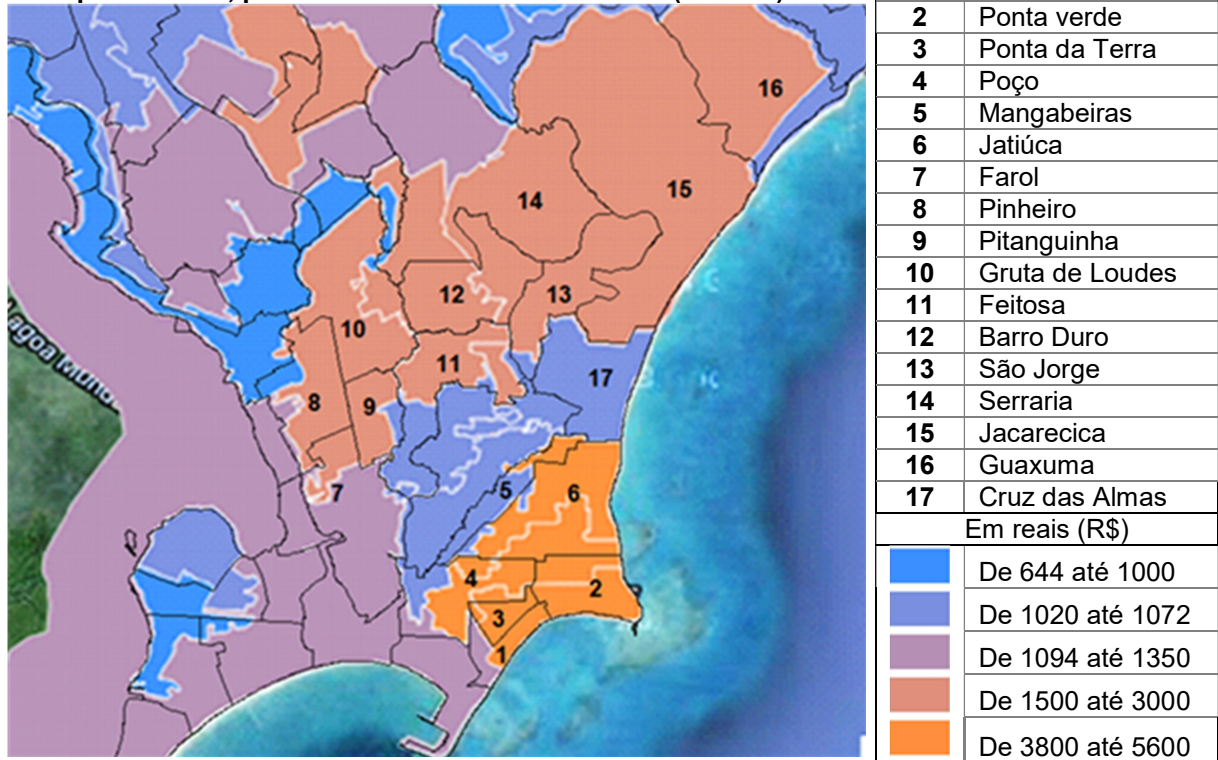
Estabeleceu-se um perfil familiar com renda compatível e hábitos que possibilitem o uso do ar condicionado. Enquadram-se nessa condição as famílias de renda média C, B e A. Considerou-se a classe de renda média C, que apresenta maior representatividade populacional no país e, dentre as três classes enquadradas, é a que possui menor renda média mensal (vide tópico 2.1). Foram utilizados os dados do IBGE e do Índice de Velocidade de Vendas (IVV) de Maceió no intuito de encontrar uma edificação representativa dessas condições.

O IBGE apresenta, como parte do último Censo realizado (IBGE, 2010), o mapa de algumas cidades contendo o resultado ponderado do rendimento médio mensal das famílias. A figura 7 apresenta o mapa referente à Maceió. Pode-se observar a relação entre localização geográfica e renda domiciliar, sendo a menor renda média apresentada de R\$644,00 e a maior de R\$5.600,00, divididas em faixas. Entretanto, destaca-se que as faixas de renda representadas no mapa diferem daquelas propostas pela definição de classes econômicas do governo federal (BRASIL, 2014). A renda C adotada como referência para esta pesquisa varia entre R\$ 2.004,00 e R\$ 8.640,00 (vide tabela 2, item 2.1).

Na figura 7 observa-se ainda que a maior parte da população enquadrada nesta faixa de renda localiza-se em uma região da planície litorânea da cidade, nos bairros enumerados de 1 a 6. Em parte da região do tabuleiro e litoral norte, os bairros enumerados de 7 a 16 têm a segunda faixa de renda média mais alta. Nos demais bairros, o rendimento médio domiciliar das famílias é menor, não se enquadrando na faixa de renda que mais faz uso do aparelho de ar condicionado.

Foram identificados os bairros cuja renda é compatível com as necessidades deste estudo: Pajuçara, Ponta Verde, Jatiúca, Mangabeiras, Cruz das Almas, Jacarecica e Guaxuma. Em seguida, foi feita a seleção de um deles utilizado o Índice de Velocidade de Vendas (IVV) dos imóveis nesses bairros.

Figura 7 – Mapa parcial da cidade de Maceió - domicílios particulares, por valor de rendimento mediano (familiar).



Fonte: Adaptado de IBGE (2010).

O IVV é definido como um índice que mensura a velocidade com que os imóveis são vendidos na cidade. Em Maceió, ele é apresentado em relatórios mensais elaborados pelo Sindicato da Indústria da Construção do Estado de Alagoas (Sinduscon), com a colaboração das construtoras e imobiliárias da cidade (SINDUSCON, 2015).

A escolha do IVV como referência para a definição do enquadramento do objeto de estudo na cidade é justificada por tratar-se de um índice construído com os números do mercado local. Além disso, seus relatórios mensais apresentam dados que possibilitam identificar os perfis de imóveis mais vendidos em função da área da unidade habitacional (UH), do número de quartos, do bairro em que se localiza e do tipo de uso (residencial ou comercial).

De acordo com Leão Júnior (2008), a prática do mercado na cidade de Maceió é voltada a moldar seus produtos, essencialmente, a partir do que represente maior lucro, sendo o aspecto qualitativo das edificações residenciais colocado em segundo plano ou simplesmente inexistente. Isso se deve a vários fatores, desde o “engessamento” do arquiteto em questões decisivas na fase de pré-projeto, à distância entre os projetos realizados e a adequação ambiental prometida nas propagandas, até o uso do IVV como referência para alterações qualitativas nos programas de necessidades dos empreendimentos. Porém, cabe salientar que o IVV é um índice de vendas e não de qualidade.

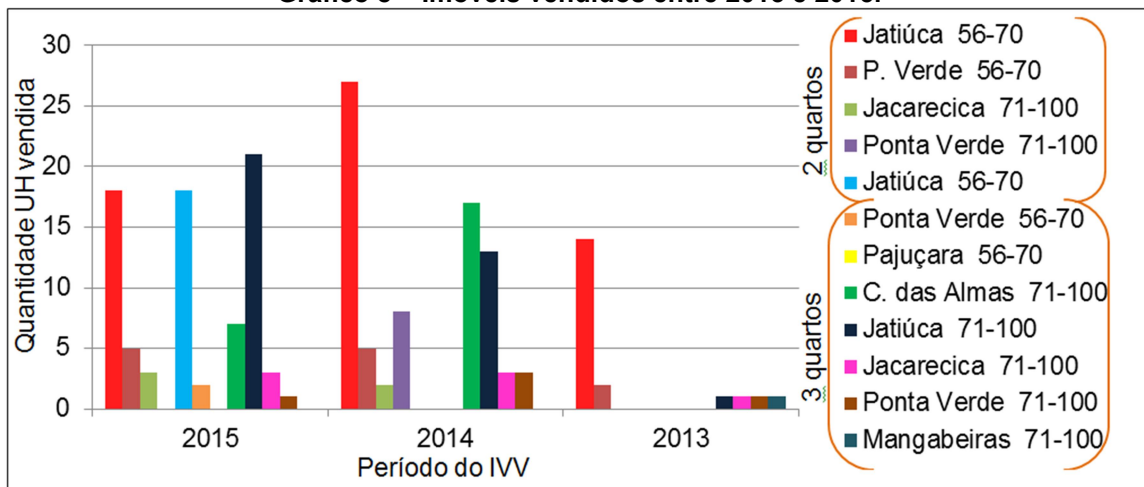
Nesse contexto, os imóveis tendem a ficar cada vez menores para que seja disponibilizado o maior número de apartamentos por pavimento tipo, obtendo-se o maior lucro. Além disso, é comum à maioria dos empreendimentos o uso de tipologias construtivas com pouca ou nenhuma inovação em relação à qualidade bioclimática (LEÃO JÚNIOR, 2008), o que pode afetar diretamente o desempenho termoenergético e luminoso da edificação. Entretanto, são esses os edifícios aos quais a população tem acesso para compra, dentro das suas possibilidades financeiras.

Foram utilizados os dados disponíveis nos relatórios mensais do IVV de janeiro de 2013 a julho de 2015. Considerando-se o perfil de uma família com filhos, foram excluídos os apartamentos com 1 quarto, com área inferior a 56m². Os apartamentos com 4 quartos e áreas maiores que 100m² apresentam custo mais elevado, não se enquadrando na classe de renda selecionada.

Com base nos seis bairros destacados e na classificação pela metragem dos imóveis proposta pelo IVV, agrupou-se as UHs com 2 e 3 quartos e com área entre 56m² e 100m² para avaliação.

O gráfico 8 apresenta o resumo anual dos bairros nas planilhas do IVV para o período e as tipologias definidas. Predominam as vendas de imóveis de dois quartos, com área entre 56 e 70m², localizados no bairro de Jatiúca. O pico de vendas ocorreu em 2014, entretanto, conforme os dados dos sete primeiros meses de 2015, este tende a ter número de vendas superior. Ainda na Jatiúca, houve um aumento de vendas dos imóveis de três quartos de 71 a 100m² entre 2013 e 2015, e o aparecimento de apartamentos de 3 quartos com áreas menores que 70m², em 2015.

Gráfico 8 – Imóveis vendidos entre 2013 e 2015.



Fonte: Adaptado de Sinduscon (2013, 2014, 2015).

Devido a predominância de imóveis de dois quartos, com maior número de vendas no bairro de Jatiúca, com área entre 56 e 70m², este foi o perfil de apartamento adotado

nesta pesquisa. Ao adotar o perfil mais vendido, pretende-se englobar um grupo representativo para a situação pesquisada. Observando-se os critérios apresentados, o objeto de estudo analisado nesta pesquisa foi o Edifício Saint Louis (figura 8), por estar enquadrado exatamente nas condições previstas.

Figura 8 – Imagem 3D do Edifício Saint Louis.



Fonte: Material publicitário do empreendimento²⁴.

O edifício situa-se no bairro de Jatiúca, com frente para a Rua Olindina de Campos Teixeira, Nº 130 e fundo voltado para a Rua Luis Lopes Agra, como pode ser observado no mapa da figura 9.

Figura 9 – Localização da edificação na cidade.



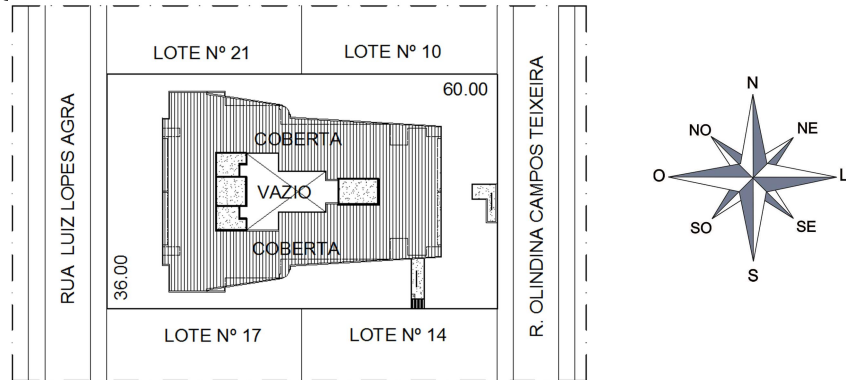
Fonte: Google Maps, acessado em outubro de 2015.

²⁴ Disponível no site <http://www.ceruttiengenharia.com.br/empreendimento.php?emp=1595>, acessado em setembro de 2015

3.3 Caracterização do Objeto de Estudo

A edificação está situada em terreno retangular, com as maiores fachadas orientadas a Norte-Sul, como mostra a figura 10. Com 12 pavimentos tipo e 12 apartamentos por andar, possui um total de 144 unidades habitacionais (UH).

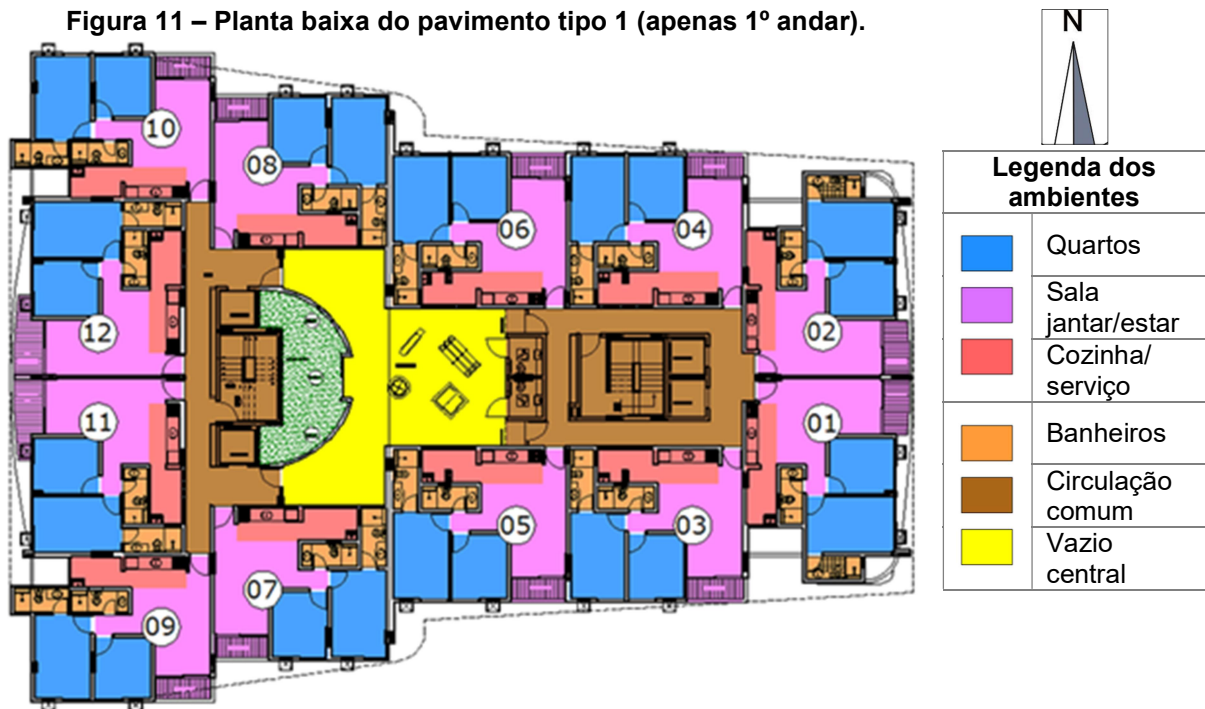
Figura 10 – Implantação da edificação no terreno, sentido Leste-Oeste.



Fonte: Adaptado do projeto arquitetônico²⁵

Internamente, a edificação possui dois blocos de circulação vertical, compostos por elevadores e escada, cada um para atender seis apartamentos. Esses blocos estão separados por um vazio descoberto, como visto nas plantas das figuras 11, 12 e 13.

Figura 11 – Planta baixa do pavimento tipo 1 (apenas 1º andar).



Fonte: Adaptado do projeto arquitetônico.

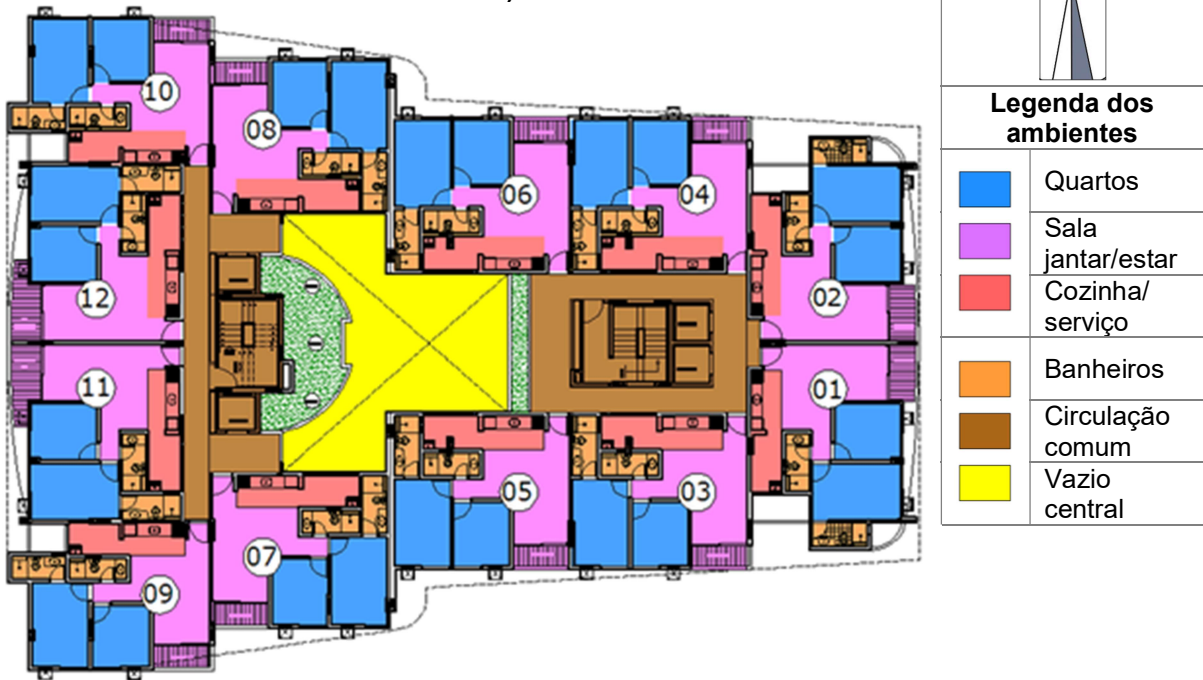
A edificação possui três pavimentos tipo, cuja diferença entre eles está apenas na área comum do prédio e nas proteções solares. O pavimento tipo 1 (figura 11) refere-se apenas ao primeiro andar, que possui uma sala chamada Office teen, 2 banheiros acessíveis a pessoas com necessidades especiais e, entre eles, um espaço para

²⁵ Projeto arquitetônico cedido pela construtora Cerutti Engenharia, em 2015.

playground que fica no centro do vazio descoberto.

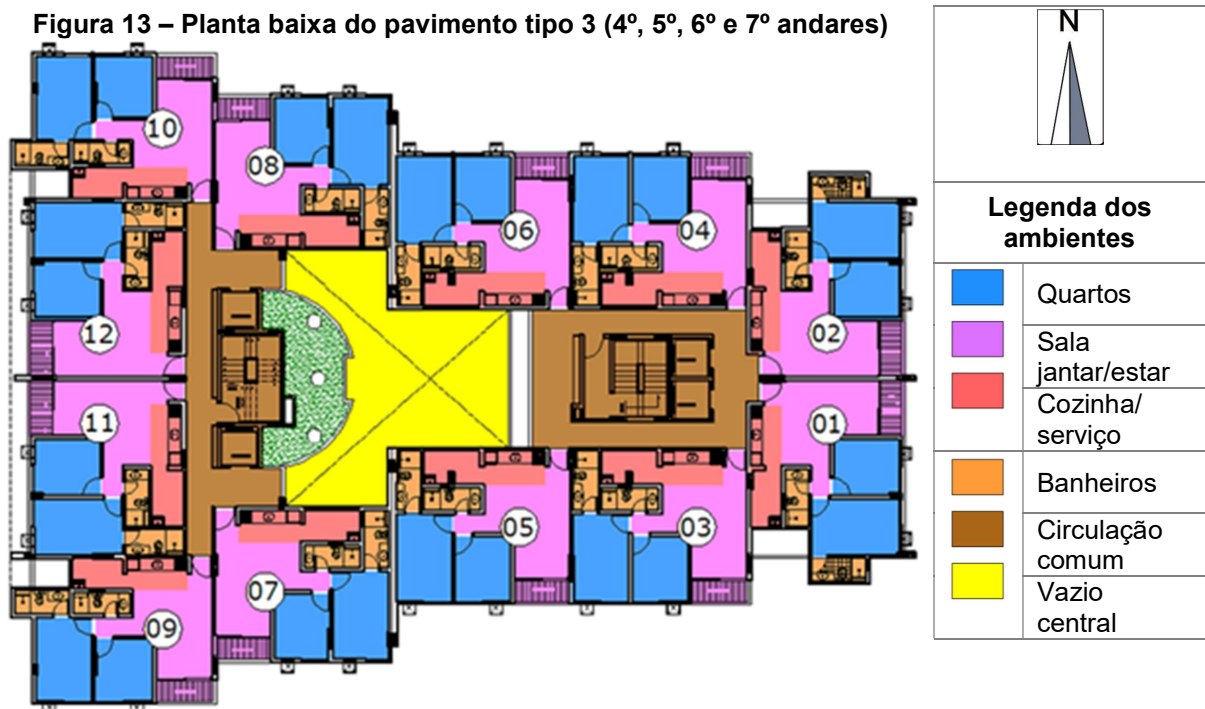
O pavimento tipo 2 (figura 12) refere-se aos andares 2º, 3º e 8º a 12º, e possui um elemento horizontal curvo na fachada que serve como um pequeno beiral para os quartos. Este detalhe também aparece no pavimento tipo 1.

Figura 12 – Planta baixa do pavimento tipo 2 (2º, 3º, 8º, 9º, 10º, 11º e 12º andares).



Fonte: Adaptado do projeto arquitetônico.

Figura 13 – Planta baixa do pavimento tipo 3 (4º, 5º, 6º e 7º andares)



Fonte: Adaptado do projeto arquitetônico.

Os demais andares (4º a 7º) são representados pelo pavimento tipo 3 (figura 13) e não possuem elemento curvo na fachada. Observa-se ainda que a cobertura da edificação é limitada por um beiral maior que as proteções curvas dos demais pavimentos, que pode ser visto em projeção nas figuras 10 a 13, contribuindo para o sombreamento do 12º andar (figura 13). Em todos os pavimentos tipo os apartamentos de cada terminação são iguais tanto em formato e área, quanto em posição na planta.

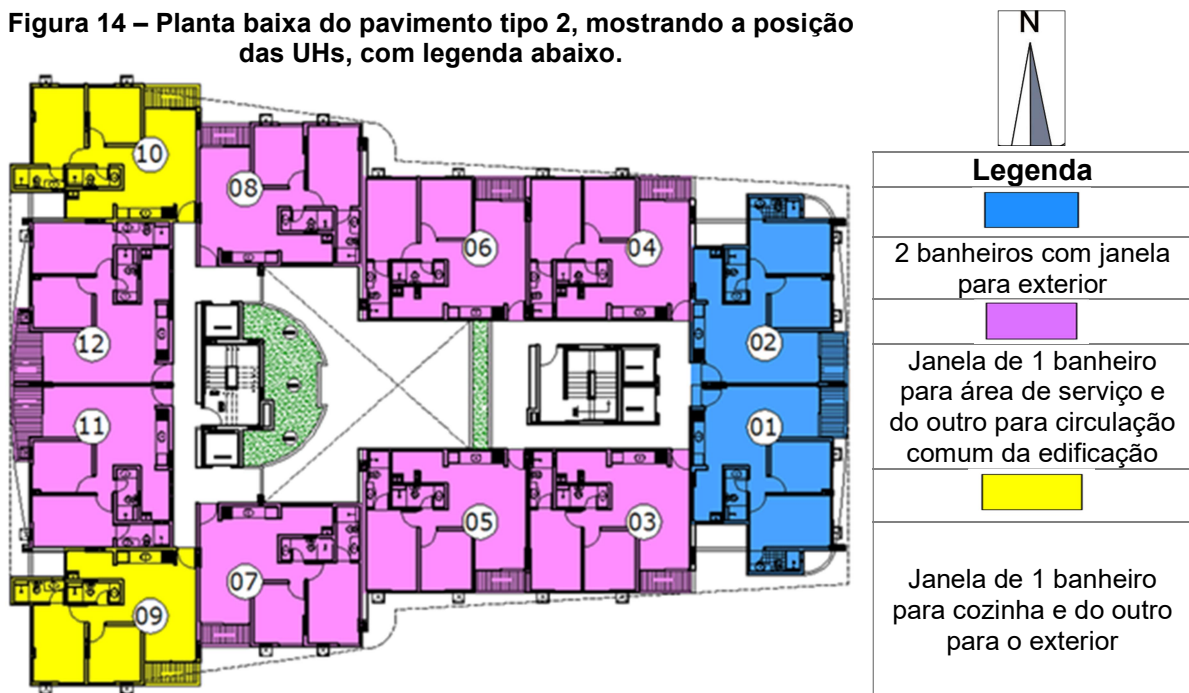
Em relação aos apartamentos, existem seis tipos de planta em cada pavimento, considerando o quesito área útil do imóvel, variando entre 59,27m² até 67,65m², como pode ser observado na tabela 7. Porém, a variação da composição da planta baixa se resume a três tipos ilustrados na figura 14, distintos principalmente pelo posicionamento dos banheiros. Outras diferenças são encontradas entre os três tipos de planta: os quartos possuem pouca variação de área, menor que 0,4m²; as terminações 01, 02, 09 e 10 (cores azul e amarelo) possuem a janela da cozinha voltada para o exterior, enquanto nas demais terminações (cor magenta) esta janela está voltada para o interior da edificação.

Tabela 7 – Áreas dos apartamentos agrupadas por terminação.

Terminações	Áreas dos apartamentos
01 e 02	65,88m²
03 e 04	61,72m²
05 e 06	61,87m²
07 e 08	62,45m²
09 e 10	59,27m²
11 e 12	67,65m²

Fonte: A autora.

Figura 14 – Planta baixa do pavimento tipo 2, mostrando a posição das UHs, com legenda abaixo.



Fonte: Adaptado do projeto arquitetônico.

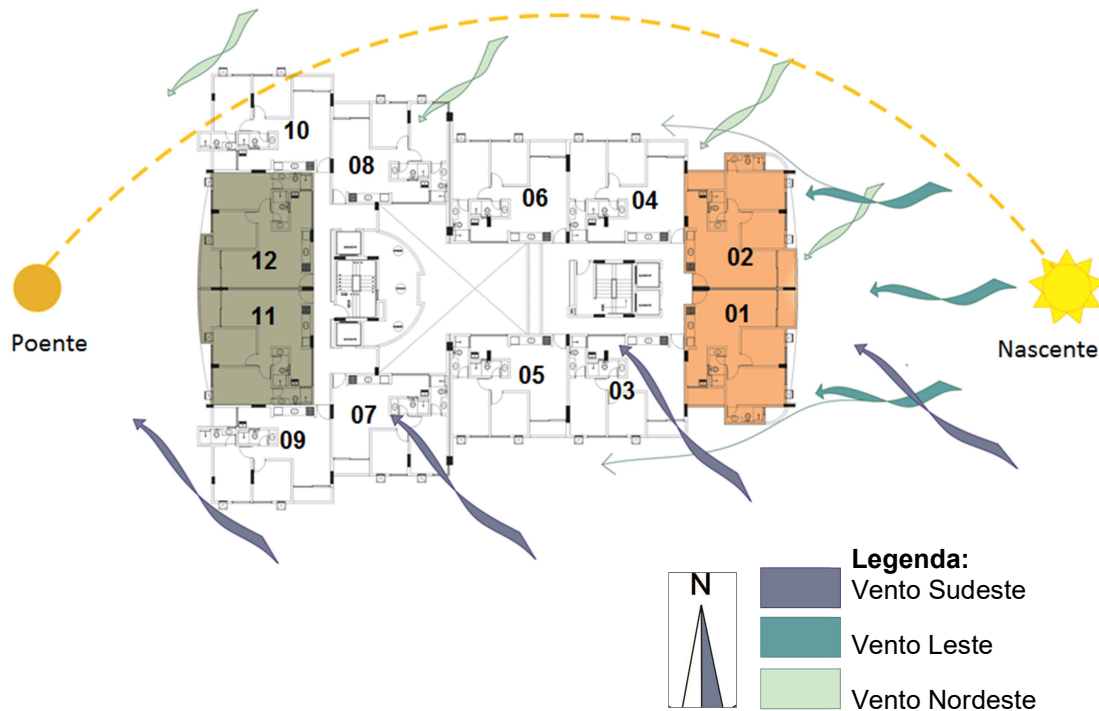
Quanto ao sistema construtivo, a edificação possui estrutura de pilares e vigas em concreto armado e laje do tipo colmeia. A cobertura é composta por telha de fibrocimento protegendo a laje das intempéries. As vedações são feitas em tijolo cerâmico 6 furos, rebocadas em ambos os lados e emassadas na face que recebe a pintura. As fachadas são completamente cobertas por pastilhas cerâmicas 10cm x 10cm, na cor branca em sua maior parte, com detalhes nas cores vermelho telha e preta. Internamente, todos os cômodos são pintados com tinta acrílica branco neve. O teto, forrado com gesso, também é pintado na cor branco neve. As esquadrias são de dois tipos: janelas e porta da varanda em vidro simples transparente (3mm) com moldura e caixilhos em alumínio preto (30mm de largura) e as demais portas em madeira clara de 30mm de espessura.

Essa configuração construtiva é muito comum na cidade de Maceió, sendo observada nas edificações deste padrão espalhadas pela cidade. Portanto, este objeto de estudo é representativo de um grande número de edificações na cidade, considerando as características já descritas em relação a número de vendas de imóveis, bem como em relação a sua tipologia construtiva.

Na figura 15 observa-se o posicionamento da edificação em relação aos ventos predominantes da cidade de Maceió. Como os três pavimentos tipo se diferenciam apenas em relação a detalhes de fachada (item 3.2), a figura 15 é representativa de toda a edificação. Na terminação 01, os apartamentos estão com as janelas dos quartos e da área social voltadas para o leste, enquanto as janelas dos banheiros e da cozinha voltam-se para o sul. Esta posição favorece o recebimento de três ventos predominantes em Maceió, que são Leste, Sudeste e Nordeste. Observa-se que o vento Sudeste tende a incidir em todas as aberturas da terminação 01, enquanto o vento Nordeste apenas nas aberturas frontais. Na terminação 02, o vento Nordeste incide em todas as aberturas e a incidência do vento Sudeste é mantida nos ambientes de permanência prolongada. A exposição ao vento Leste é semelhante à terminação 01. Portanto, dada a maior frequência do vento Sudeste em relação ao Nordeste em Maceió, a terminação 01 possui a localização mais favorável termicamente.

A fachada Oeste, por sua vez, aloca as terminações menos favoráveis quanto à incidência dos ventos predominantes, além de receber toda a insolação poente. Nela, os apartamentos 09 e 10 possuem as aberturas dos ambientes de longa permanência (quartos e sala), voltados para sul e norte, respectivamente. Esta característica faz com que os apartamentos 09 e 10 recebam os ventos Nordeste e Sudeste, respectivamente. Já as terminações 11 e 12, além de possuírem todas as janelas voltadas para o oeste, recebendo insolação direta no período vespertino, não recebem incidência de nenhum dos ventos predominantes, configurando-se como as terminações cuja localização é mais desfavorável.

Figura 15 – Incidência dos ventos predominantes na edificação estudada.



Fonte: A autora

Por outro lado, as terminações localizadas nas laterais da edificação estão voltadas para norte (terminações 04, 06, 08 e 10) e para sul (03, 05, 07 e 09). Na fachada norte, o vento Nordeste é recebido diretamente, entretanto na fachada sul os apartamentos estão mais favorecidos devido à incidência do vento Sudeste, mais frequente que o vento Nordeste.

Nesta pesquisa foi analisado o ambiente do quarto de casal. Primeiramente, pelo fato de ser um ambiente de permanência prolongada; segundo, pelo fato de que em apartamentos o uso de condicionadores de ar é feito geralmente nos dormitórios. Apesar de a sala ser um ambiente bastante usado para momentos em família, é no quarto onde atividades importantes são desenvolvidas, como o descanso e a leitura por lazer ou os estudos, por exemplo. Foram consideradas as terminações 01 e 02 para análise do desempenho térmico e as terminações 01, 02, 05 e 06 para desempenho luminoso.

3.4 Critérios para Avaliação do Objeto de Estudo

A edificação estudada, ou “Objeto Base”, foi modelada de acordo com as características descritas no item 3.2 (dimensões, localização, clima, orientação solar e sistema construtivo), as quais representam uma situação comum a muitas edificações localizadas em Maceió-AL. As demais características serão descritas nos itens seguintes (propriedades térmicas da envoltória, padrões de ocupação e de uso da ventilação,

orientação e localização do ambiente analisado, propriedades dos materiais), enumerando-se os dados de entrada requisitados pelos programas de simulação utilizados.

O “Grupo 1” compreende as simulações do Objeto Base de acordo com os critérios da NBR 15575. No “Grupo 2”, foi simulado o mesmo objeto, porém avaliando-o em função de diferentes critérios, obtidos a partir de normas internacionais e da literatura, aqui denominados “critérios alternativos”. A seguir são detalhados os procedimentos adotados para a avaliação da ventilação natural, do desempenho da luz natural e do desempenho termoenergético dos ambientes.

Avaliação qualitativa da ventilação natural

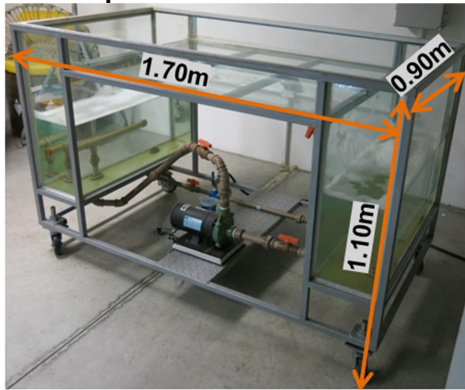
O clima quente e úmido está presente em grande parte do território brasileiro e tem como importante estratégia passiva de resfriamento a ventilação natural. Esta estratégia apresenta baixo custo energético e é indicada para solucionar o problema do desconforto térmico causado pela sensação de calor, apesar de ainda ser muito pouco explorada (TOLEDO, 2006).

O estudo do escoamento dos ventos nas unidades habitacionais selecionadas foi realizado através do método de visualização analógica do escoamento do ar, utilizando o equipamento mesa d’água, mediante ensaios com modelos em escala reduzida. Adotou-se o método do traçador (*tracer method*), utilizando a técnica de injeção direta do indicador no fluido (detergente para formação de espuma). Esse é um método adequado para experimentos analógicos com ventilação natural de edifícios em meio líquido, e facilita a adequada reprodução dos efeitos do escoamento do ar, bem como a observação instantânea deles (TOLEDO; PEREIRA, 2004).

O equipamento utilizado para simular a ventilação natural foi a mesa d’água do laboratório de conforto do Centro Universitário CESMAC, sendo do tipo canal aberto e paralelo, funciona em ciclo fechado. Ela é formada por uma estrutura de ferro, fechada com vidro e suas dimensões são 0,90m x 1,70m x 1,18m (respectivamente largura x comprimento x altura), como mostram as figuras 16 e 17.

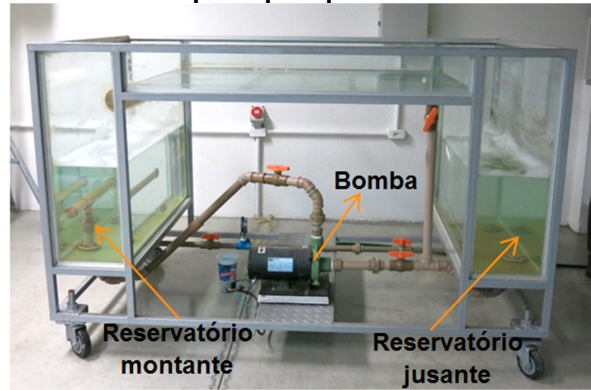
Para seu funcionamento, a mesa d’água usa a água acumulada em dois reservatórios laterais, sendo o reservatório montante, de onde a água sai, e o reservatório jusante, para onde a água escoar (TOLEDO, 2006). Compõe-se de um sistema hidráulico e um elétrico, onde um motor elétrico tem função de bombear a água de um tanque para outro. O detergente, usado como indicador, é adicionado em um dos tanques e o movimento da água bombeada gera a espuma que permite a visualização do escoamento do fluxo durante a simulação.

Figura 16 – Mesa d’água do experimento – dimensões.



Fonte: A autora.

Figura 17 – Mesa d’água do experimento – principais partes.



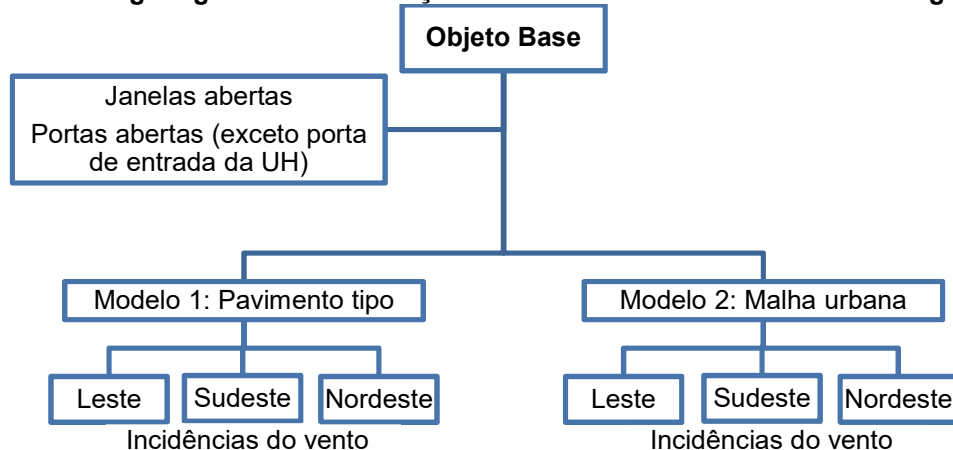
Fonte: A autora.

3.4.1.1 Procedimentos para simulação em mesa d’água – ventilação natural

Para realizar as simulações foram construídas duas maquetes, em duas diferentes escalas (1/75 e 1/300). O limite das escalas foi determinado em função da visualização dos resultados do experimento, visto que em maquetes muito pequenas pode tornar-se difícil visualizar o escoamento do fluido. Outro aspecto considerado foram as dimensões da mesa d’água, a fim de evitar que a proximidade da maquete com as paredes do equipamento interferisse no escoamento do fluido. Os dois modelos foram confeccionados com o material poliestireno extrudado XPS, conhecido como isopor XPS, Depron ou Isopor Pluma, que se diferencia do poliestireno expandido (isopor) por ser comprimido de maneira a ficar mais rígido, mais compacto e com melhor acabamento. O material foi pintado com tinta acrílica preta para melhor visualização da espuma na mesa d’água.

Cada um dos modelos de maquete física foi simulado sob incidência dos ventos predominantes de Maceió: Leste, Sudeste e Nordeste. Portanto, foram realizadas três simulações para cada modelo, totalizando seis simulações em mesa d’água (figura 18).

Figura 18 – Organograma das simulações a serem realizadas com a Mesa d’água.

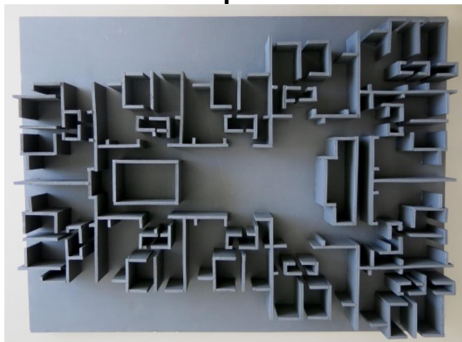


Fonte: A autora.

O primeiro modelo confeccionado (figura 19) foi o pavimento tipo da edificação, na escala 1/75. Foram consideradas todas as esquadrias abertas, exceto a porta de entrada do apartamento. A dimensão da abertura das esquadrias foi baseada na área efetiva de ventilação (Apêndice C). As paredes do modelo confeccionado foram representadas com espessura de 3mm, limite disponível do material, para maior aproximação à escala de 1/75. O quadro C1, do Apêndice C, apresenta a descrição de todas as esquadrias das UHs estudadas. Para esta simulação a edificação encontra-se sem obstáculos exteriores, exposta diretamente aos ventos.

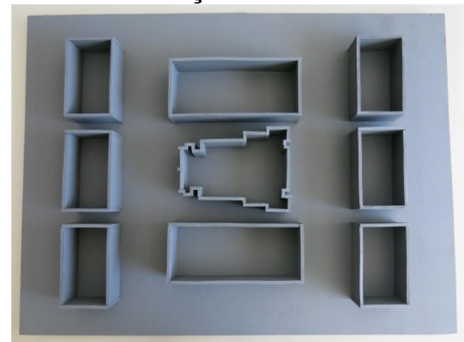
O segundo modelo (figura 20) foi confeccionado na escala 1/300 com o objetivo de visualizar a incidência dos ventos na edificação inserida na malha urbana. Foi considerado um modelo hipotético, cuja malha esteja totalmente ocupada por edificações com altura entre 10 e 15 pavimentos. Essa proposta foi definida com base na altura máxima permitida da região onde, de acordo com o código de edificações de Maceió (MACEIÓ, 2007), é de 15 pavimentos. Nessa área, há uma grande tendência de adensamento e se verificam outras construções de edifícios residenciais multifamiliares em andamento nos arredores. Portanto, admitiu-se um cenário caracterizado pela máxima ocupação dos terrenos do entorno. A figura 21 situa as terminações das UHs, os blocos de escada e o vazio central.

Figura 19 – Modelo físico do pavimento tipo.



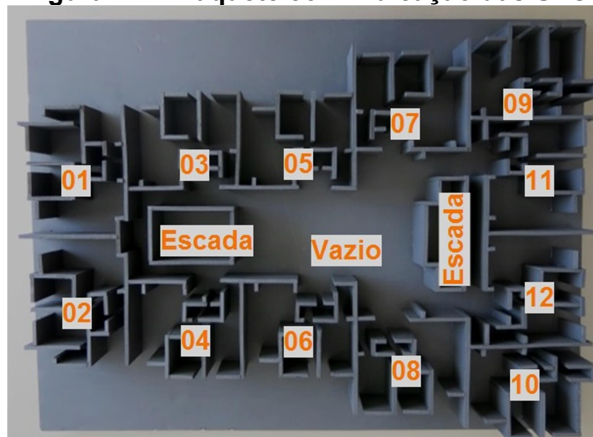
Fonte: A autora.

Figura 20 – Modelo físico da edificação e entorno.



Fonte: A autora.

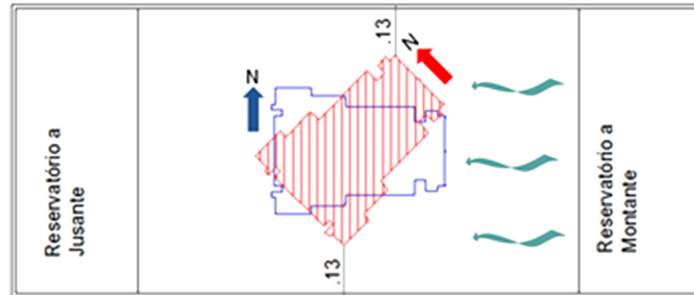
Figura 21 – Maquete com indicação das UHs



Fonte: A autora

A figura 22 mostra a proporção do pavimento tipo da edificação (modelo 1) na escala de 1/75 em relação à mesa d'água, com inclinação para 0° (vento Leste) e inclinação de 45° (vento Sudeste), mostrando que o fluxo do líquido tem espaço lateral desobstruído para escoamento. A inclinação para vento Nordeste é de 315° e possui proporção similar à inclinação 45°.

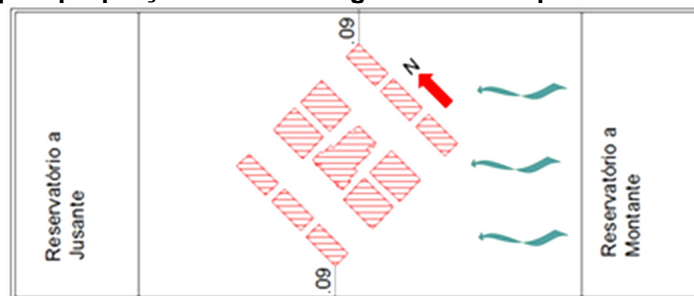
Figura 22 – Croqui – proporção da mesa d'água com a maquete da edificação (modelo 1).



Fonte: A autora

A figura 23 mostra o segundo modelo. As inclinações são as mesmas do modelo 1, em relação ao sentido de fluxo do líquido: 0° para simular a incidência do vento Leste; 45° para vento Sudeste e 315° para vento Nordeste.

Figura 23 – Croqui – proporção da mesa d'água com a maquete da edificação (modelo 2).



Fonte: A autora.

A visualização dos ventos durante as simulações foi registrada em fotos e vídeos, utilizados como base para analisar o fluxo dos ventos nos modelos físicos construídos. Os principais fluxos verificados foram destacados com setas, visando facilitar a análise e compreensão. Os resultados obtidos para as incidências predominantes de vento serviram como indicativo da possibilidade de escoamento dos fluxos de ar no ambiente, indicando maior ou menor probabilidade de resfriamento fisiológico, influenciando os usuários quanto à decisão de abrir e fechar janelas, bem como de usar o ar condicionado.

Avaliação do desempenho térmico e consumo de energia

Foram realizadas simulações computacionais com o programa EnergyPlus. A combinação dos resultados das simulações computacionais e da mesa d'água proporciona uma melhor visualização das condições ambientais internas, contribuindo com as análises de desempenho térmico. O programa EnergyPlus fornece os dados numéricos a respeito das trocas térmicas ocorridas nos ambientes, considerando um número de renovações de ar

determinado previamente ou os dados de ventilação fornecidos pelo arquivo climático. Já a mesa d'água possibilita a visualização do fluxo do vento permitindo conhecer seu caminho percorrido, as áreas mais ventiladas e aquelas com menor incidência de ventilação natural.

A seguir, apresenta-se a ferramenta de simulação termoenergética EnergyPlus os procedimentos de simulação e os critérios de avaliação utilizados.

3.4.1.2 O programa EnergyPlus

O programa de simulação computacional EnergyPlus, versão 8.1.0, é recomendado pela NBR 15575/2013 para avaliação de desempenho térmico de edificações. Ele foi criado a partir dos programas BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) e DOE-2, ambos desenvolvidos e lançados entre o final dos anos 1970 e início dos anos 1980. É distribuído pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos como ferramenta de simulação de carga térmica e análise energética de edificações e seus sistemas (ENERGYPLUS, 2013).

O programa integra vários módulos que simulam o comportamento do edifício e dos sistemas associados sob diferentes condições ambientais e operacionais, utilizando princípios fundamentais de balanço energético para cargas térmicas prediais²⁶ (MELO et AL., 2009).

3.4.1.3 Critérios avaliativos para desempenho térmico de edificações

A seguir são apresentados os detalhes referentes aos critérios de avaliação de desempenho térmico dos dois grupos de simulação estudados neste trabalho.

A NBR requer apenas a simulação da unidade habitacional (UH) localizada no último pavimento, com cobertura exposta e condições mais críticas no ponto de vista térmico (no caso desse objeto de estudo, o 12º pavimento, apartamento em contato com a coberta e com fachada orientada para Oeste). Entretanto, aqui foram realizadas também simulações para o 1º pavimento da UH oeste e para as UHs voltadas para Leste (1º e 12º pavimentos), a fim de comparar os resultados das avaliações de desempenho desenvolvidas segundo os critérios estabelecidos para os grupos 1 e 2. As UHs orientadas a oeste estão posicionadas na edificação de modo a não receber incidência direta de nenhum dos ventos predominantes de Maceió (Leste, Sudeste e Nordeste). Enquanto as UHs orientadas a leste estão posicionadas de maneira favorável ao recebimento dos três ventos predominantes. Estas condições estão detalhadas na análise bioclimática feita no capítulo 4.

²⁶ O balanço energético para cargas térmicas prediais (ou balanço térmico) permite o cálculo simultâneo dos efeitos radiante e convectivo na superfície interior e exterior, durante cada intervalo de tempo. As cargas térmicas estão relacionadas aos ganhos de calor internos através de pessoas, iluminação artificial, motores e cargas especiais; ganhos por radiação, condução e convecção, infiltração e renovação de ar (ENERGYPLUS, 2013).

Para a definição do período de avaliação das simulações termoenergéticas, no **Grupo 1** foi avaliado o dia típico de verão (24 horas). Como a cidade de Maceió pertence à Zona Bioclimática 8 (ZB8), não foi analisado o dia típico de inverno, assim como recomendado pela NBR 15575. Os ambientes foram considerados com ausência total de cargas internas (indivíduos e equipamentos de uso residencial). Como parâmetro de avaliação, foi adotada a diferença entre a temperatura interna máxima ($t_{i,max}$) e temperatura externa máxima ($t_{e,max}$) no dia típico de verão. No caso de Maceió, o valor definido pela norma como referência para a $t_{e,max}$ corresponde a 32,2°C (dia típico), estabelecendo como desempenho mínimo que $t_{i,max}$ seja menor do que $t_{e,max}$ (ABNT, 2013a).

A UH foi modelada com todos os seus ambientes (zonas térmicas), tendo sido selecionado para as análises o quarto de casal. As propriedades térmicas dos componentes construtivos (paredes e coberturas) foram definidas com base na NBR 15220-3 (ABNT, 2008b).

O entorno edificado foi desconsiderado e foi estabelecida uma taxa de renovação de ar constante, correspondente a 1r/h. Para a norma de desempenho, caso a unidade não atenda o critério mínimo de desempenho para a temperatura interna (t_i), onde a t_i deve ser menor ou igual que a t_e (temperatura externa), a edificação deverá ser novamente simulada. A nova simulação deve usar uma taxa de renovação de ar correspondente a 5r/h ou diminuir 50% da incidência solar direta através de sombreamento, ou adotar ambas as medidas para uma nova simulação (ABNT, 2013a). Para esta pesquisa, no intuito de obter dados para análises comparativas, foram estudados dois casos no Grupo 1: (i) o primeiro sem cargas térmicas internas (ocupantes e equipamentos), seguindo exclusivamente a norma e (ii) o segundo com a presença de cargas térmicas internas (seguindo todas as recomendações da norma, exceto pela ausência de cargas). Para ambos os casos considerou-se 1r/h e 5r/h. Com os dois casos citados pôde-se investigar qual a influência das cargas térmicas internas para o ambiente analisado seguindo os critérios avaliativos da NBR 15575/2013 e como a presença dessas cargas pode afetar os resultados.

Considerando-se que a relação entre temperatura externa e interna do ar para um dia típico, adotada pela NBR, simplifica a avaliação e exclui a relação entre ocupante e ambiente, foi elaborado o **Grupo 2** no intuito de representar condições de uso mais próximas da realidade da edificação. Nele foram simuladas todas as horas do ano, com ambientes ocupados e com uso de equipamentos e iluminação artificial (ASHRAE, 2013; BSI, 2007). Ao adotar como parâmetro o **nível de conforto do usuário**, utilizando como referência a ASHRAE 55 (ASHRAE, 2013), buscou-se investigar se a temperatura operativa do ambiente mantém-se dentro da faixa de conforto estabelecida nos períodos de uso da

ventilação natural, de acordo com o método adaptativo. Já que a residência também faz uso do ar condicionado em alguns períodos do dia, utilizou-se o método analítico para a definição do critério de conforto nesses horários. Desse modo, critérios de conforto foram utilizados como referência para a avaliação do desempenho térmico do ambiente. Portanto, nas simulações do Grupo 2 os ambientes foram modelados ocupados, dotados de equipamentos e sistema de iluminação artificial.

Os resultados foram gerados para cada hora do ano, sendo necessário estabelecer um sistema de classificação do desempenho térmico do ambiente estudado. A BSEN 15251 (BSI, 2007) apresenta métodos para avaliação das condições de conforto em um período de tempo. O método chamado de Porcentagem Fora dos Limites²⁷ calcula o número ou a porcentagem (%) das horas em que o edifício está ocupado enquanto o PMV ou a temperatura operativa está fora do intervalo especificado. Isso significa que as horas em desconforto são computadas. Por outro lado, Lamberts et al. (2013) sugere uma classificação de desempenho desenvolvida em proposta para uma norma brasileira de conforto térmico. Essa classificação baseia-se na porcentagem de horas em conforto (PHC) encontradas no ano. Optou-se por utilizar o método de contagem das horas em conforto, feito da seguinte forma: (i) Para as horas onde há uso exclusivo de ventilação natural foi calculada a porcentagem de horas em conforto (PHC), obtendo-se valores mensais e anuais. Neste caso, foi feita a relação entre o somatório de todas as horas do ano em que o ambiente manteve-se dentro da zona de conforto adaptativo, pelo total de horas naturalmente ventiladas no ano. (ii) Para as horas em que houve uso do aparelho de ar condicionado foi calculada a porcentagem de horas em conforto com ar condicionado (PHC/AC), considerando-se o PHC/AC do mês mais quente do ano. Para tal, fez-se a relação entre as horas artificialmente condicionadas enquadradas dentro do limite de PPD e o total de horas artificialmente condicionadas do mês.

O método do conforto adaptativo, utilizado para estudar ambientes naturalmente ventilados, foi aplicado na maior parte das horas de uso da edificação. Para o cálculo da Zona de Conforto, foram utilizadas as equações 3 e 4, respectivamente, para limites superior e inferior, considerando-se um nível de 80% de aceitabilidade para o conforto térmico (ASHRAE, 2013). Essa condição destaca que os outros 20% referem-se ao percentual de pessoas insatisfeitas com a condição de conforto.

Visando a adequada aplicação da norma, foram utilizados os dados climáticos do ano base deste trabalho (RORIZ, 2012), no intuito de obter as temperaturas médias diárias a serem utilizadas no cálculo da temperatura média prevalente no exterior (T_{pmo}). Para cada

²⁷ *Percentage outside the range* (BSI, 2007. Tradução nossa).

dia do período estudado (neste caso o período de um ano) é calculada uma T_{pmo} , como visto no item 2.3.1. Com todas as T_{pmo} do ano calculadas, pôde-se definir o gráfico da zona de conforto para Maceió.

$$\text{Limite superior: } T_{o_s} = 0,31 \times T_{pmo} + 21,3 \quad (\text{Equação 3})$$

$$\text{Limite inferior: } T_{o_i} = 0,31 \times T_{pmo} + 14,3 \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

T_o = Valor limite da temperatura operativa do ambiente interior

T_{pmo} = Temperatura média prevalente no exterior.

As temperaturas obtidas nas simulações foram confrontadas com a zona de conforto limitada a 80% de aceitabilidade. Em seguida foram verificados os períodos de conforto e desconforto para o quarto de casal por mês e por ano. A classificação de desempenho foi feita conforme as categorias apresentadas no quadro 2, baseado no percentual das horas enquadradas na zona de conforto adaptativo (PHC). Devido ao clima da cidade de Maceió e à sua localização na Zona Bioclimática 8, considerou-se como critério de classificação o conjunto do PHC anual e do PHC dos meses mais quentes do ano (novembro a abril).

Quadro 2 – Categorias de classificação de acordo o percentual de horas em conforto.

Categoria	Porcentagem de horas em conforto por ventilação natural (%)	Classificação
I	PHC \geq 80%	Superior
II	60% \leq PHC < 80%	Intermediário
III	50% \leq PHC < 60%	Mínimo
IV	PHC < 50%	Insuficiente

Fonte: Adaptado de Lamberts et al. (2013)

Por fim, também foi realizada uma avaliação em função do somatório de graus hora de resfriamento (GHR), no intuito de verificar a intensidade do desconforto por calor (SORGATO et al., 2014). Os graus hora de resfriamento referem-se ao somatório de graus excedentes ao limite superior da zona de conforto, considerando-se todo o intervalo de horas avaliado.

Para os períodos do dia em que o condicionamento artificial é utilizado, aplicou-se o método do voto predito (baseado nos índices PMV/PPD), adotado pela ASHRAE 55 e pela BS EN 15251. Para seu cálculo, foram utilizados dois valores de velocidade do ar, sendo (1) a ausência de movimento do ar ($V_{ar} = 0,0\text{m/s}$) e (2) o limite máximo de velocidade para a

aplicação do método pela ASHRAE 55 ($V_{ar} = 0,2\text{m/s}$)²⁸. Foram adotadas as recomendações das normas internacionais onde $-0,5 < PMV < +0,5$. De acordo com a ASHRAE (2013), para essa condição, o PPD requerido é de 10%. Entretanto, essa é uma condição difícil de ser conseguida na maioria dos casos, já que efeitos de desconforto local podem assumir uma contribuição adicional de mais 10% do PPD em relação ao desconforto previsto pelo PMV. Espera-se que o PPD total num edifício com $PMV \pm 0,5$ seja de 20% (ASHRAE, 2013). Dentro dessas condições, foi elaborado o quadro 3 para classificação do ambiente estudado. Foi utilizado como critério de classificação o percentual de horas condicionadas artificialmente em que o ambiente permaneceu dentro dos limites estabelecidos de PPD (PHC/AC).

Quadro 3 – Categorias de classificação de acordo com PMV/PPD.

Categoria	Porcentagem de horas em conforto por Ar condicionado (%)	PPD (%)	PMV	Classificação
I	PHC \geq 80%	PPD \leq 20%	$-0,5 < PMV < + 0,5$	Superior
II	$60\% \leq PHC < 80\%$			Intermediário
III	$50\% \leq PHC < 60\%$			Mínimo
IV	PHC $<$ 50%			Insuficiente

Fonte: Adaptado ASHRAE (2013); Adaptado de Lamberts et al. (2013).

Quanto às **condições de ventilação**, para o Grupo 2 adotou-se a ventilação natural ao invés de uma taxa de renovação fixa, utilizando-se os dados de velocidade e direção do vento existentes no arquivo climático de Maceió, visando aproximar a simulação da realidade em que a edificação está inserida. Também foram feitas simulações na mesa d'água, no intuito de avaliar o escoamento do vento, aspecto desconsiderado pela NBR 15575, mas de suma importância para o clima quente e úmido (item 3.4.1).

O Quadro 4 apresenta a síntese dos parâmetros de modelagem adotados para as simulações do Grupo 1 (avaliado segundo critérios de desempenho determinados pela NBR 15575) e Grupo 2 (avaliado segundo critérios de desempenho normas internacionais e na literatura).

²⁸ A ASHRAE (2013) limita em 0,2m/s a velocidade do ar para uso do método do PMV. Acima desse valor, a ASHARE 55 recomenda condições adicionais para viabilizar o uso do método. Optou-se por usar as condições gerais de aplicação do PMV, respeitando a velocidade limite de 0,2m/s.

Quadro 4 – Parâmetros de modelagem adotados para as simulações dos grupos 1 e 2.

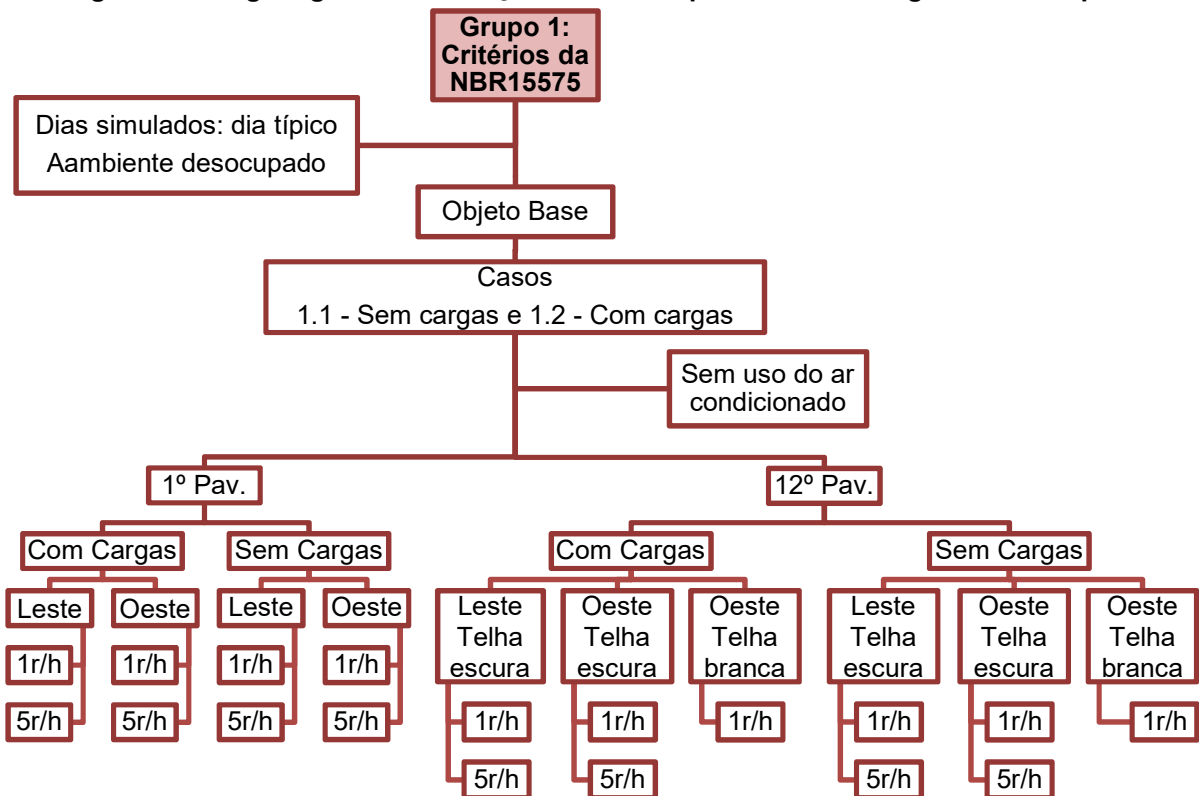
Desempenho termoenergético	Grupo 1	Grupo 2
Período de simulação	Dia típico de verão (24 h)	Ano inteiro (8760 h)
Cargas internas	Sem fontes internas de calor	Com ocupação por uma família com quatro pessoas, equipamentos e iluminação
Parâmetro de avaliação	Relação entre temperatura interna (t_i) e externa (t_e) ($T_{i,max} \leq T_{e,max}$)	Enquadramento na zona de conforto estabelecida (mínimo 60% das horas em conforto) ou PPD=20%
Orientação solar do ambiente	Duas orientações: mais favorável (abertura orientada a leste) e menos favorável (abertura orientada a oeste)	
Localização do ambiente	UHs no 1º pavimento e no 12º pavimento (cobertura)	
Condições de ventilação	Taxa fixa de renovação do ar (1r/h)	Ventilação natural de acordo com arquivo climático utilizado no <i>Energyplus*</i>

*O escoamento dos fluxos de ar no interior da UH foi avaliado com base em simulações realizadas com a mesa d'água.

Fonte: A autora

3.4.1.4 Procedimentos para simulação computacional termoenergética

Para todas as simulações desenvolvidas com o programa EnergyPlus foram consideradas as UHs do 12º e do 1º pavimento nas orientações leste e oeste (terminações 01 e 11). As simulações foram feitas para toda a UH, porém foi analisado apenas o quarto do casal. Para o Grupo 1 foram realizadas 18 simulações no total, como ilustra a figura 24.

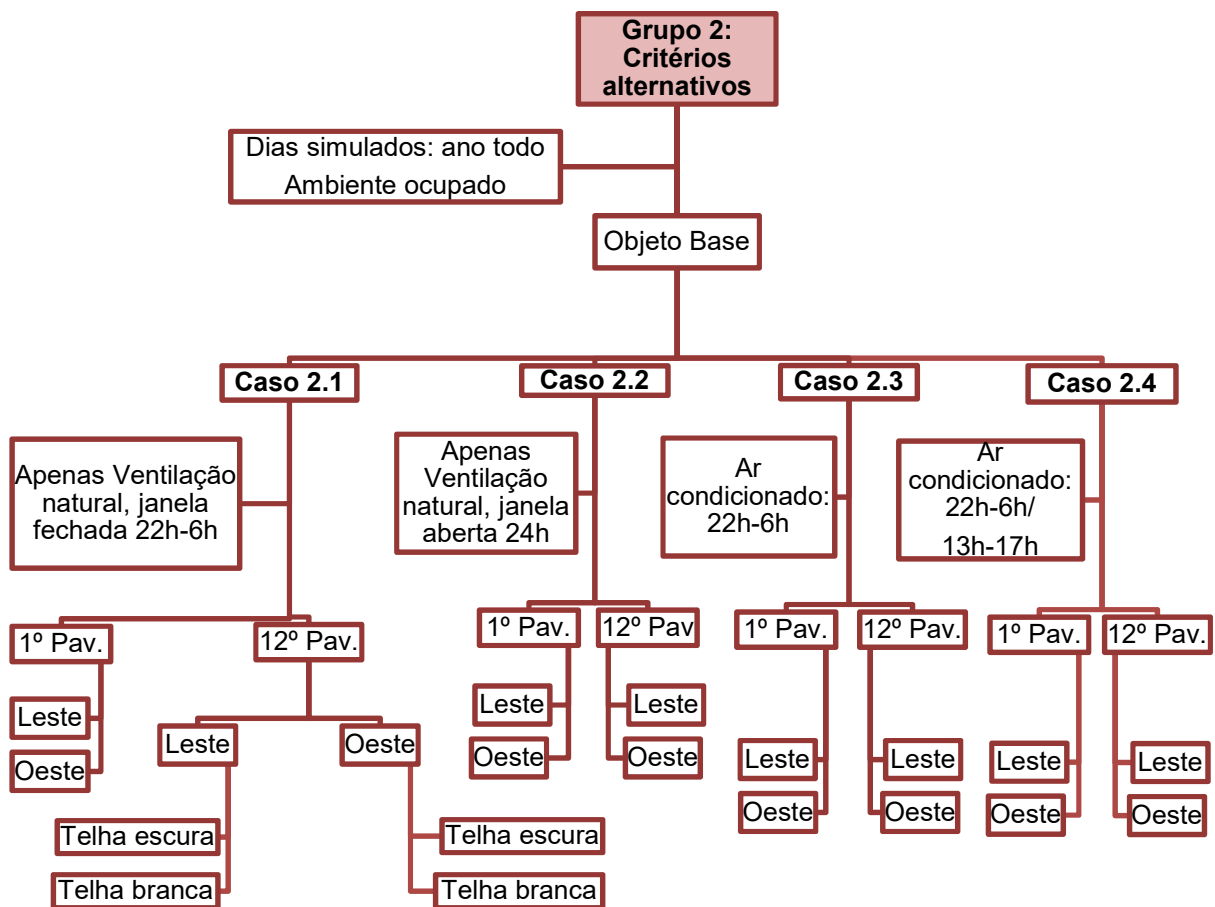
Figura 24 – Organograma - simulações de desempenho termoenergético do Grupo 1.

Fonte: A autora.

Todas as simulações do Grupo 1 referem-se aos dois casos cujas características baseiam-se nas recomendações da NBR 15575, sendo um deles considerando o uso das cargas térmicas internas. Ambos os casos adotam duas taxas de renovação de ar (1r/h e 5r/h). As simulações do Grupo 1 consideraram: (i) proteção solar da fachada de acordo com a edificação existente; (ii) ambiente com e sem ocupação e equipamentos elétricos (com e sem cargas internas); (iii) diferentes absorvâncias na telha de fibrocimento do 12º pavimento/oeste, com 1r/h (UH termicamente mais desfavorável).

Para o Grupo 2, foram realizadas 18 simulações com variações entre o uso exclusivo da ventilação natural e do ar condicionado, ilustradas na figura 25. Nesse caso, as simulações foram desenvolvidas para as 8760 horas do ano. Foram simulados o 1º e o 12º pavimento das orientações leste e oeste, com características definidas por 4 casos distintos, cuja descrição encontra-se no Quadro 5. Para a UH do 12º pavimento a oeste no Caso 1, onde as condições são termicamente mais desfavoráveis, foram consideradas simulações para telha escura e para telha clara.

Figura 25 – Organograma - simulações de desempenho termoenergético do Grupo 2.



Fonte: A autora.

Quadro 5 – Casos de estudo para avaliação do desempenho termoenergético.

CASO 2.1	CASO 2.2	CASO 2.3	CASO 2.4
Apenas ventilação natural	Apenas ventilação natural	Ventilação natural e ar condicionado	Ventilação natural e ar condicionado
Janelas fechadas: 22h-06h	Janelas abertas o dia todo.	Janelas fechadas: 22h-06h	Janelas fechadas: 22h-06h / 13h-17h
Janelas e portas internas abertas (exceto banheiros) durante o dia. Apenas janelas fechadas durante a noite (22h-06h)	Janelas e portas internas abertas (exceto banheiros) durante as 24h do dia.	Janelas e portas internas abertas (exceto banheiros) durante o dia. Janelas e portas fechadas durante funcionamento do ar condicionado.	Janelas e portas internas abertas (exceto banheiros) durante o dia. Janelas e portas fechadas durante funcionamento do ar condicionado.
Ocupação, Materiais, Iluminação: iguais nos 3 casos			

Fonte: A autora.

Para avaliação das simulações do Grupo 1 que contém cargas internas e de todas as simulações do Grupo 2, foi necessário definir padrões de uso e ocupação para o “Objeto Base”, que estão descritos ao longo deste tópico. Após a modelagem e configuração dos modelos a serem simulados foi feito o balanço térmico referente ao Caso 2.2 (Grupo 2) em sua condição mais desfavorável (12º pavimento orientado a oeste). Esse procedimento teve por objetivo identificar se as trocas térmicas realizadas no ambiente analisado (quarto de casal) estavam coerentes. As análises e gráficos encontram-se no Apêndice B para consulta.

3.4.1.4.1 Geometria e características construtivas dos modelos computacionais

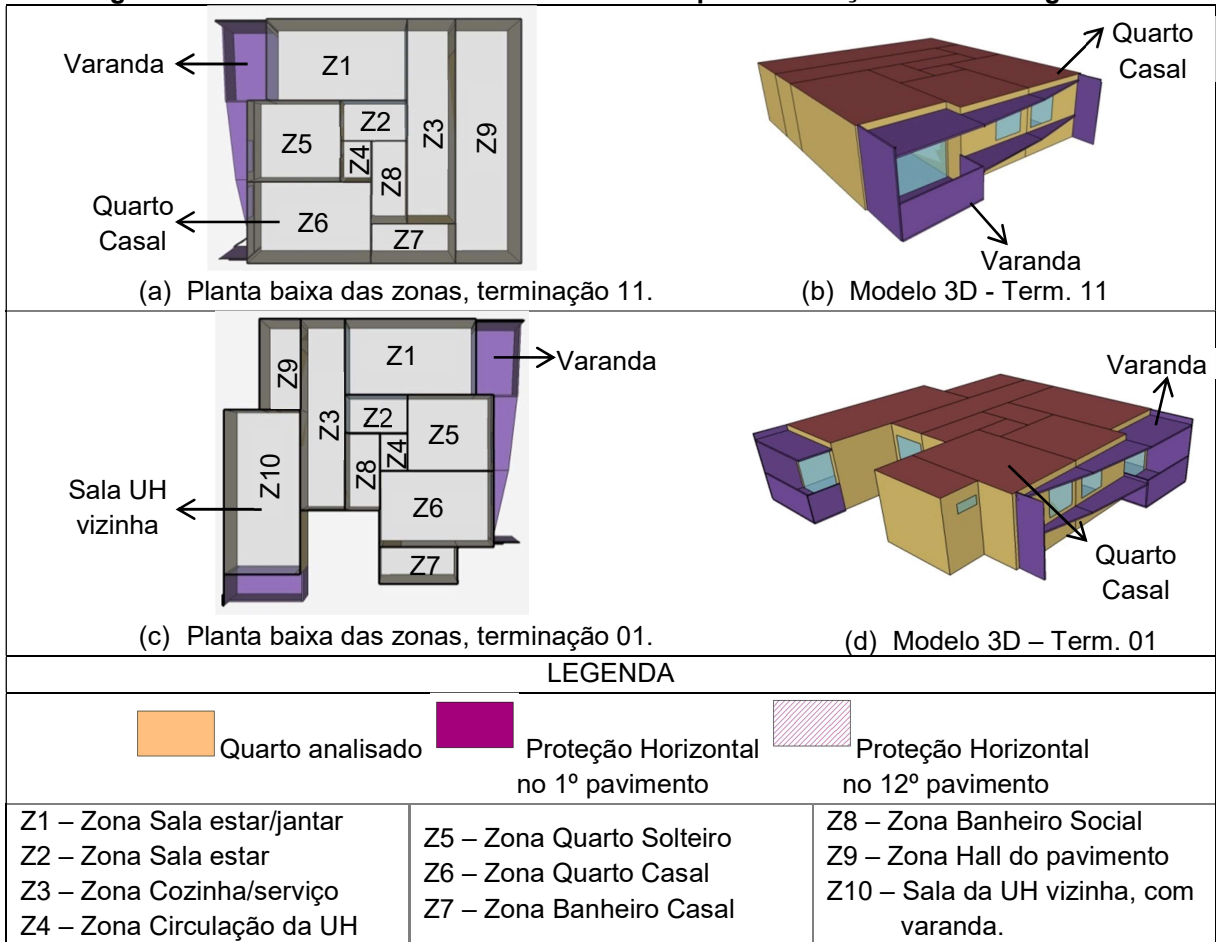
As UHs das terminações 01 (leste) e 11 (oeste) foram modeladas separadamente, conforme a figura 26. A diferença entre as UHs é apenas a localização do banheiro do quarto do casal e a diferença entre o 1º e o 12º pavimento é a proteção solar, o que pode ser conferido nas figuras 11 a 13 apresentadas no tópico 3.2.

Em todos os modelos, o apartamento foi dividido em nove zonas, sendo uma delas a circulação interna comum do prédio, para a qual a janela da área de serviço está voltada na terminação 11 (figura 26a e 24b). A varanda também foi modelada como uma proteção solar.

Cabe salientar que pelo fato dos apartamentos da edificação não possuírem contato direto com o solo (1º pavimento tipo está acima do pilotis), a temperatura do solo não foi estimada para as simulações²⁹, mantendo-se o padrão automático do *EnergyPlus*.

²⁹ A temperatura do solo é uma informação importante para a avaliação de habitações térreas, porque as trocas de calor que acontecem entre o piso da residência e o solo são determinantes no resultado final das trocas de calor do ambiente (PEREIRA, 2009).

Figura 26 – Plantas baixas e Modelos 3D – base para simulações termoenergéticas



Fonte: A Autora

As tabelas 8 e 9 apresentam as **propriedades térmicas das câmaras de ar e dos materiais** construtivos da edificação, obtidas a partir da NBR 15220-3 (ABNT, 2008b), calculadas de acordo com o procedimento indicado pela NBR 15220-2 (ABNT, 2008a) ou ainda obtidas a partir do relatório elaborado por Ordenes et al. (2003)³⁰. Para a definição das absorvâncias das superfícies, foram utilizados a NBR 15220 (ABNT, 2008b) e o trabalho de Dornelles (2008), que determinou a absorvância solar para diversas cores e tipos de tintas (látex acrílica e PVA). O Quadro 6 apresenta a composição das paredes, piso, teto e cobertura dos modelos simulados.

A pintura branca na telha de fibrocimento foi usada em apenas 3 simulações (Ver figuras 24 e 25). A telha de fibrocimento sem pintura, de acordo com Silveira et al. (2012), tem sua absorvância (α) diferenciada a depender do seu estado de conservação e uso, tendo a telha nova α de 0,59 e a telha suja (próximo ao tom de cinza escuro) α de 0,84.

³⁰ O conteúdo deste relatório apresenta a caracterização de materiais e de componentes construtivos nacionais, com propriedades térmicas calculadas para inserção em simulações computacionais, seguindo a NBR 15220/2008.

Devido à ausência da absorvância dessa telha na norma, foi assumido o valor de 0,71, condizente com a cor cinza de Dornelles (2008) e com a condição intermediária do estado de uso e conservação da telha. Entendeu-se que a telha nova, exposta ao tempo e a sujeira, tende a conservar a absorvância de 0,59 por pouco tempo.

Tabela 8 – Propriedades térmicas dos materiais.

Material	Condutividade térmica [W/m.K]	Densidade [Kg/m ³]	Calor Específico [J/Kg.K]	Absorvância	Resistência térmica [m ² .K/W]
Cerâmica (tijolo cerâmico 6 furos quadrados: 9x16x32cm)	0,90	1600	920	0,75	0,234
Argamassa de emboço 2,5cm	1,15	2000	100	0,30	0,022
Revestimento Cerâmico (branco)	0,90	1600	920	0,20	0,011
Revestimento Cerâmico (preto)				0,97	
Concreto maciço (para a laje) 10cm	1,75	2400	100	0,30	0,057
Gesso em placa (forro) 3cm	0,35	875	840	0,20	0,857
Cerâmica para piso 45x45x0,01cm	0,90	1600	920	0,20	0,011
Madeira para porta interna	0,15	600	1340	0,20	0,200
Telha de fibrocimento "suja" (espessura 0.7cm)	0,95	1900	840	0,71	0,007
Telha de fibrocimento pintada de branco (espessura 0.7cm)	0,95	1900	840	0,30	0,007

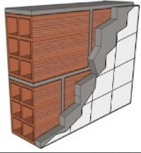
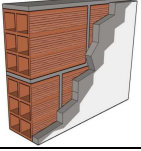
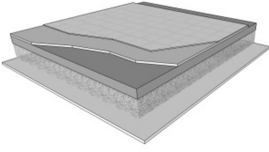
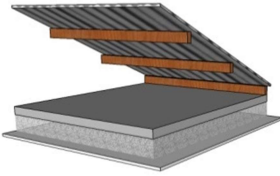
Fonte: Adaptada de NBR 15220 (2008); Ordenes et al. (2003); Dornelles (2008)

Tabela 9 – Câmaras de ar - descrição do local de aplicação e Resistência térmica

Câmaras de ar	Componente	Resistência térmica [m ² .K/W]
Superfície de alta emissividade e > 0,8 Fluxo de calor descendente	Teto (entre o forro de gesso e a laje colmeia)	0,21
Superfície de baixa emissividade e > 0,8 Fluxo de calor horizontal espessura 3cm	Parede (furos dos tijolos cerâmicos)	0,16

Fonte: Adaptada de NBR 15220 (2008)

Quadro 6 – Composição das partes da construção.

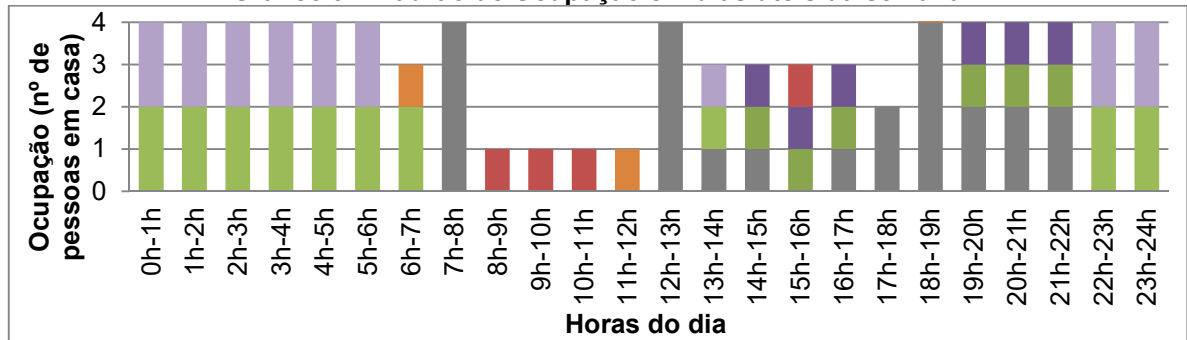
Parte da construção	Representação	Descrição dos materiais
Parede externa		<ul style="list-style-type: none"> → Tijolo cerâmico de 6 furos (LxHxP) 9x16x32cm → Argamassa de emboço → Revestimento cerâmico
Parede interna		<ul style="list-style-type: none"> → Tijolo cerâmico de 6 furos (LxHxP) 9x16x32cm → Argamassa de emboço → Tinta branco neve
Piso (1º e 12º pavimentos) Teto (1º pavimento)		<ul style="list-style-type: none"> → Piso cerâmico branco → Argamassa de emboço → Laje em concreto maciço → Câmara de ar → Placa de gesso para forro → Tinta branco neve
Teto 12º pavimento (coberta)		<ul style="list-style-type: none"> → Telha de fibrocimento → Câmara de ar → Laje em concreto maciço → Câmara de ar → Placa de gesso para forro → Tinta branco neve

Fonte: Adaptado de Eletrobras e PROCEL (2012).

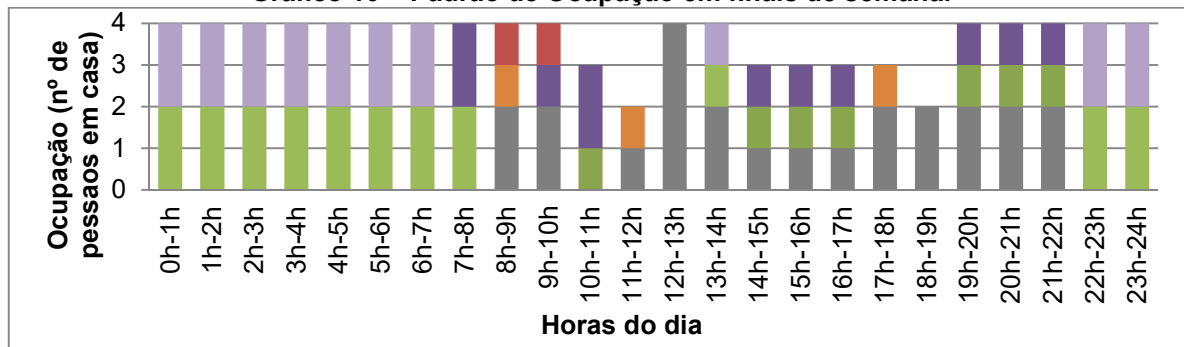
3.4.1.4.2 Cargas internas, padrões de uso e ocupação dos ambientes

Para caracterizar os padrões de **ocupação dos ambientes** foi idealizada uma família composta por um casal e dois filhos em idade escolar, estabelecendo-se uma rotina de ocupação para a residência. Cada ambiente abriga espaço para desenvolver determinadas atividades, listadas na legenda dos gráficos 9 e 10. Dentre elas, cabe destacar que atividades como estudar ou trabalhar, que exigem ações como ler e/ou escrever, são desempenhadas tanto nos quartos como na sala. O padrão de ocupação apresentado está dividido por horário e considera uma rotina de usos diferenciada entre os fins de semana e os dias de semana.

Gráfico 9 – Padrão de Ocupação em dias úteis da semana.



Fonte: A autora.

Gráfico 10 – Padrão de Ocupação em finais de semana.

Fonte: A autora.

Sala		Quarto Solteiro		Quarto Casal		Cozinha/Serviço	
	Sentado, ler, escrever, comer.		Dormir, Descansar.		Dormir, Descansar.		Cozinhar.
			Sentado, estudar.		Sentado, ler, escrever.		Limpar, lavar, passar roupas.

Para cada atividade descrita na legenda dos gráficos 9 e 10, o ocupante/usuário produz uma determinada quantidade de calor, denominada taxa metabólica. De acordo com ASHRAE (2013), essa é a taxa de transformação de energia química em calor por atividades metabólicas e é medida por área de pele. A tabela 10 apresenta as atividades realizadas, taxa metabólica por metro quadrado e o calor produzido por um adulto ao desempenhar cada atividade, indicando-se cada zona correspondente. Os valores das taxas metabólicas foram considerados na modelagem computacional com o programa EnergyPlus.

Tabela 10 – Taxa Metabólica e calor produzido por atividade realizada.

Zona	Atividade Realizada	Taxa metabólica (W/m ²)	Calor produzido para 1 adulto (área de pele=1,80m ²)
Sala jantar/jantar	Sentado	60	108
Quarto solteiro	Dormir, descansar	40	72
	estudar, digitar	65	117
Suíte casal	Dormir, descansar	40	72
	ler, escrever	60	108
Cozinha/Serviço	Cozinhar	95	171
	Limpar, lavar, passar roupas	115	207

Fonte: Adaptado de ASHRAE

Os padrões de abertura das janelas estão representados nos quadros 7 e 8. Para o caso 2.2 as janelas permanecem abertas durante as 24 horas do dia. Entretanto, para os casos 2.1 e 2.3 as janelas ficam fechadas das 22h às 6h (quadro 7). No caso 2.1 há uso exclusivo de ventilação natural e no caso 2.3 há uso de ventilação híbrida, sendo ventilação natural durante a maior parte do dia e o uso do aparelho de ar condicionado no período em que as janelas permanecem fechadas. No caso 2.4 (quadro 8) há novamente ventilação híbrida, porém, o ar condicionado é usado também entre as 13h e as 17h, diferenciando-se

do uso no caso 2.3. Em todos os casos o ano foi dividido em dois períodos: meses mais chuvosos (abril a setembro) e menos chuvosos (outubro a março) devido a necessidade de maior tempo de janela fechada nos períodos chuvosos. Para isso foi utilizada a tabela 6, que contém as médias de umidade relativa do ar (%) por mês para Maceió.

Quadro 7 – Padrões de abertura das janelas, por cômodo, para os casos 01, 02 e 03

Período	Dias da semana	Janelas por ambiente	Horários com janelas abertas – CASOS 2.1, 2.2 e 2.3																		
			22h - 06h	06h - 07h	07h - 08h	08h - 09h	09h - 10h	10h - 11h	11h - 12h	12h - 13h	13h - 14h	14h - 15h	15h - 16h	16h - 17h	17h - 18h	18h - 19h	19h - 20h	20h - 21h	21h - 22h		
Outubro a março	Dias úteis	Porta Sala/Varanda																			
		Janela Quarto solteiro																			
		Janela Quarto casal																			
		Janela Serviço																			
		Janela WCB suíte																			
		Janela WCB social																			
	Fim de semana	Porta Sala/Varanda																			
		Janela Quarto solteiro																			
		Janela Quarto casal																			
		Janela Serviço																			
		Janela WCB suíte																			
		Janela WCB social																			
Abril a setembro	Dias úteis	Porta Sala/Varanda																			
		Janela Quarto solteiro																			
		Janela Quarto casal																			
		Janela Serviço																			
		Janela WCB suíte																			
		Janela WCB social																			
	Fim de semana	Porta Sala/Varanda																			
		Janela Quarto solteiro																			
		Janela Quarto casal																			
		Janela Serviço																			
		Janela WCB suíte																			
		Janela WCB social																			

LEGENDA:



Janela Aberta



Janela Fechada

Quadro 8 – Padrões de abertura das janelas, por cômodo, para os casos 04

Período	Dias da semana	Janelas por ambiente	Horários com janelas abertas – CASO 2.4																		
			22h - 06h	06h - 07h	07h - 08h	08h - 09h	09h - 10h	10h - 11h	11h - 12h	12h - 13h	13h - 14h	14h - 15h	15h - 16h	16h - 17h	17h - 18h	18h - 19h	19h - 20h	20h - 21h	21h - 22h		
Outubro a março	Dias úteis	Porta Sala/Varanda																			
		Janela Quarto solteiro																			
		Janela Quarto casal																			
		Janela Serviço																			
		Janela WCB suíte																			
		Janela WCB social																			
	Fim de semana	Porta Sala/Varanda																			
		Janela Quarto solteiro																			
		Janela Quarto casal																			
		Janela Serviço																			
		Janela WCB suíte																			
		Janela WCB social																			
Abril a setembro	Dias úteis	Porta Sala/Varanda																			
		Janela Quarto solteiro																			
		Janela Quarto casal																			
		Janela Serviço																			
		Janela WCB suíte																			
		Janela WCB social																			
	Fim de semana	Porta Sala/Varanda																			
		Janela Quarto solteiro																			
		Janela Quarto casal																			
		Janela Serviço																			
		Janela WCB suíte																			
		Janela WCB social																			

LEGENDA: Janela Aberta Janela Fechada

Fonte: A autora

O quadro 9 apresenta os padrões de uso do ar condicionado, instalado apenas nos quartos, ocupados durante o seu funcionamento, denominados como “casos”: i) condicionadores de ar desligados em todos os horários; ii) aparelho ligado apenas à noite a partir das 22h, durante o sono e iii) o aparelho ligado à tarde das 13h às 17h (horários com temperatura externa mais elevada) e à noite, a partir das 22h, seguindo ligado durante o

período de sono. Esta variação aumenta em 4 horas o uso do ar condicionado no caso 3 em relação ao caso 2. O objetivo é avaliar qual o consumo de energia correspondente aos modelos que utilizam condicionamento artificial e verificar se é possível manter as condições térmicas dos ambientes analisados em conforto no Caso 01 apenas com o uso da ventilação natural, nos horários em que o equipamento encontra-se em funcionamento nos casos 02 e 03.

Quadro 9 – Padrão de uso do ar condicionado nos quartos/ casos estudados.

Casos	Ambiente	Horário de uso do ar condicionado	
Caso 2.1	Quartos de casal e de Solteiro	Sem uso	
Caso 2.2		Sem uso	
Caso 2.3		22h-06h	
Caso 2.4		22h-06h	13h-17h

Fonte: A autora.

Na tabela 11 estão apresentadas as condições de posse e consumo de equipamentos elétricos contabilizados para a residência analisada.

Tabela 11 – Posse e consumo de equipamentos elétricos.

Ambiente	Aparelhos Elétricos	Dias Estimados	Média	Consumo Médio Mensal	Potência
		Uso/Mês	Utilização/Dia	(kWh)	(W)
Sala	Aparelho de DVD	8	2 h	0,24	15
	Aparelho de som	20	3 h	6,6	110
	Telefone sem fio	30	24 h	2,16	3
	TV em cores - 40" (LED)	30	5 h	12,45	83
	Videogame	15	4 h	1,44	24
Quarto Casal	Notebook	30	6 h	3,6	20
Quarto Solteiro	Notebook	30	6 h	3,6	20
Banheiro Casal	Chuveiro elétrico	30	45	101,25	4500
Banheiro Solteiro	Chuveiro elétrico	30	45	101,25	4500
Cozinha	Cafeteira elétrica	30	1 h	6,56	218,67
	Liquidificador	15	15 min	0,8	213,33
	Batedeira	8	20 min	0,4	150
	Geladeira 2 portas frost free	30	24 h	56,88	79
	Forno micro-ondas - 25 L	30	20 min	13,98	1398
Serviço	Ferro elétrico automático a vapor	12	1 h	7,2	600
	Lavadora de roupas	12	1 h	1,76	146,67

Fonte: Adaptado de Tavares (2006), Eletrobras e PROCEL (2007) e PROCEL [2016]³¹

³¹ Dados estimados de consumo, disponíveis em <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BE6BC2A5F-E787-48AF-B485-439862B17000%7D>, acesso em: março de 2016.

Para a construção da tabela 11 observou-se os dados de Eletrobras e PROCEL (2007) em que a maior parte dos domicílios que fazem uso do aparelho de ar condicionado (60,38%) consomem acima de 300KWh/mês. Além disso, Tavares (2006) sugere três perfis de posse de equipamentos separados por faixa de consumo. Os equipamentos sugeridos para a faixa de consumo acima 240KWh/mês foram adaptados para esta pesquisa.

A definição do **padrão de uso da iluminação artificial** seguiu o padrão de ocupação dos gráficos 9 e 10. Para este estudo, a iluminação artificial foi avaliada em sua contribuição para o consumo energético, sendo utilizada à noite e nos horários em que a iluminação natural precisa ser complementada (após as 17h e antes das 7h). Na tabela 12 estão as potências utilizadas em cada ambiente e em cada horário. Na tabela 13 estão listadas as lâmpadas por tipo, com sua potência e quantidade por ambiente.

Tabela 12 – Potência das lâmpadas, de acordo com o uso dos cômodos.

Dias da semana	Ambiente	Potência em uso por horário (W)																
		22h - 06h	06h - 07h	07h - 08h	08h - 09h	09h - 10h	10h - 11h	11h - 12h	12h - 13h	13h - 14h	14h - 15h	15h - 16h	16h - 17h	17h - 18h	18h - 19h	19h - 20h	20h - 21h	21h - 22h
Dias úteis	Circulação														15	15	15	15
	Sala jantar/estar													25	50	50	50	50
	Quarto solteiro												70			78	78	78
	Suíte casal												70			78	78	78
	Cozinha		25											25				
	Serviço		25		25									25				
	wcb social		42													42		
	wcb casal									42								
Fins de semana	Varanda														15	15	15	15
	Sala jantar/estar													25	50	50	50	50
	Quarto solteiro												70			78	78	78
	Suíte casal												70			78	78	78
	Cozinha				25									25				
	Serviço				25									25				
	wcb social		42													42		
	wcb casal									42						42		

Fonte: A autora.

Tabela 13 – Potência e número de lâmpadas por ambiente.

Ambiente	Nº de lâmpadas	Tipo/Potência lâmpada	Potência instalada por ambiente
Circulação	1	Fluorescente 15	15
Sala jantar/estar	2	Fluorescente 25	50
Quarto solteiro	1	Halógenas 70	78
	1	Fluorescente 8	
Suíte casal	1	Halógenas 70	78
	1	Fluorescente 8	
Cozinha	1	Fluorescente 25	25
Serviço	1	Fluorescente 25	25
wcb social	1	Halógenas 42	42
wcb casal	1	Halógenas 42	42

Fonte: A autora.

3.4.1.4.3 Definição dos parâmetros de simulação da ventilação natural para o EnergyPlus

As análises do impacto da ventilação natural, feitas a partir das simulações computacionais, têm como objetivo avaliar sua influência sobre a temperatura interna dos ambientes. Difere-se da análise feita com a mesa d'água, descrita no item 3.4.1, que diz respeito ao percurso do fluxo do vento. Para realizar o cálculo da ventilação natural o programa *EnergyPlus* requer dados de entrada (*input*) referentes à pressão do vento nas aberturas da fachada. Foi utilizado o programa CPCalc+ (versão 3.001), no intento de encontrar os coeficientes de pressão no centro de cada uma das janelas e portas da fachada.

O CPCalc+ é um programa que calcula o coeficiente de pressão do vento no envelope de uma edificação para modelagem de fluxo do vento. Foi desenvolvido pelo Programa de Pesquisa Europeia *PASCOOL – Passive Cooling of Buildings* (Resfriamento Passivo de Edificações, em tradução livre), da Comissão de Comunidades Europeias, Diretório Geral de Energia (GROSSO, 1995).

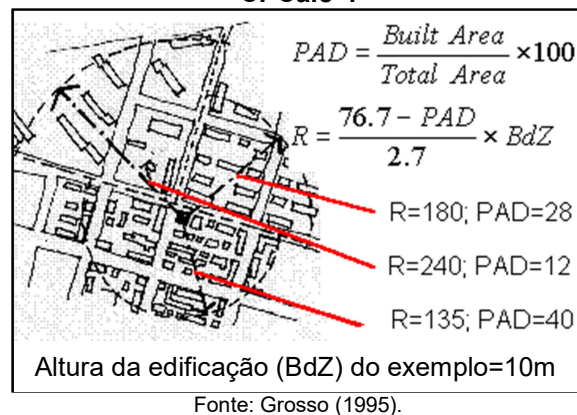
O programa possui como limitação o formato da edificação, visto que só funciona para envelopes em forma de bloco retangular. Para modelar a edificação estudada, cuja planta possui fachadas com dimensões variadas, admitiu-se duas situações: para o cálculo dos coeficientes de pressão na fachada Leste, o bloco do edifício foi representado como um paralelepípedo com dimensões de 19,45 m (largura) x 41,55 m (comprimento) x 38,40 m (altura); na fachada Oeste, as dimensões adotadas foram 30,75 m (largura) x 41,55 m (comprimento) x 38,40 m (altura) (Figura 27). Admitiu-se uma cobertura plana em ambos os casos. A rugosidade do terreno foi considerada correspondente a uma área urbana de

densidade média e a altura média das edificações do entorno com 38 metros. Outro aspecto considerado no CPCalc+ é chamado de Plan Area Density (PAD), um parâmetro relacionado ao padrão de taxa de ocupação do entorno do objeto de estudo (figura 28). Para este parâmetro, foi feito o cálculo do PAD de três setores do entorno da edificação estudada, sendo o valor de entrada (input) no programa a média de todos os PAD calculados. Para a edificação estudada foi utilizado o valor de 40, que é também o valor máximo permitido pelo programa.

Figura 27 – Dimensões das fachadas.



Figura 28 – Modelo de cálculo de PAD no CPCalc+.



Foram calculados os coeficientes de pressão de cada abertura para todos os ângulos entre 0° e 360°, com intervalos de 15°. Os valores resultantes do CPCalc+ foram inseridos no *EnergyPlus* para as simulações da ventilação natural.

Nos modelos da terminação 11 a janela da cozinha está voltada para o hall do prédio. Por sua vez, o hall tem uma abertura voltada para um átrio central, descoberto (vide figuras 11 a 13). Por não ser possível calcular o coeficiente de pressão da abertura voltada para o átrio descoberto, o hall foi considerado como uma zona fechada, cuja única abertura é a janela da UH. O possível fluxo de vento nestas aberturas foi estudado apenas na mesa d'água.

Avaliação do desempenho da iluminação natural

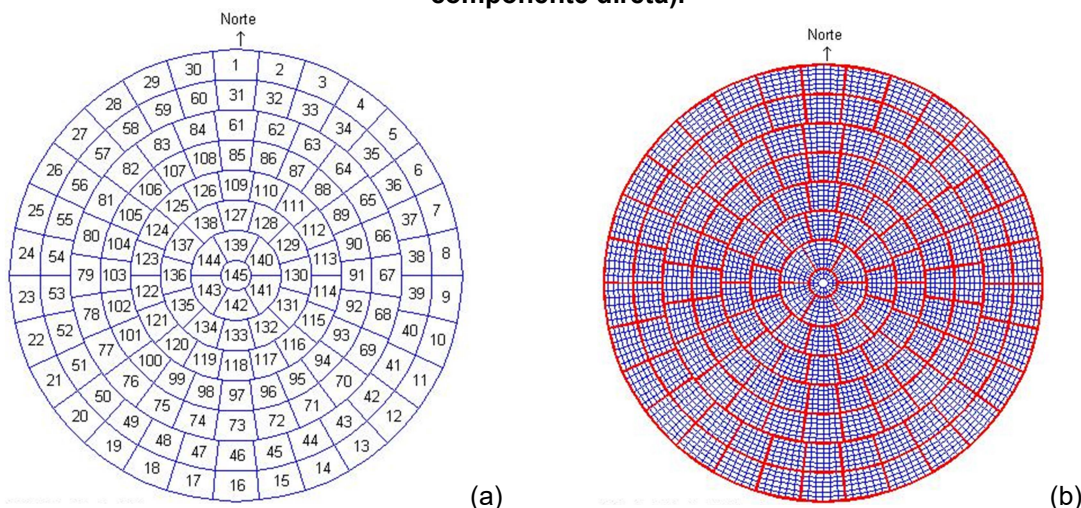
A investigação a respeito do desempenho luminoso na edificação aqui estudada restringe-se à avaliação da iluminação natural. A NBR 15575 recomenda o uso de simulação computacional ou medição *in loco* e cálculos para avaliação da iluminação natural e artificial, de acordo com critérios específicos. Na presente pesquisa foi utilizada a ferramenta computacional TropLux.

3.4.1.5 O programa TropLux

O programa Troplux, versão 7.3.1.³², possibilita a modelagem de geometrias complexas, o uso de materiais com transmissão e reflexão difusa, especular e mista e também a simulação sob diferentes tipos de céu. A validação do programa foi realizada por Cabús (2002). De acordo com o autor, o programa TropLux se baseia em três conceitos fundamentais: o método Monte Carlo, o método do raio traçado e o conceito de coeficientes de luz natural.

O método Monte Carlo é uma abordagem estatística para solucionar integrais múltiplas. Ele é baseado na premissa de que conhecendo a probabilidade de ocorrência de cada evento separado, é possível determinar a probabilidade com que a sequência completa de eventos irá ocorrer. Este método atua em conjunto com o método do raio traçado que, por sua vez, possui como técnica seguir o caminho de um raio luminoso entre superfícies. A principal vantagem do método do raio traçado é a possibilidade de dar soluções teóricas simples para geometrias complexas. Nele a reflexão especular e a transmissão regular são calculados de forma simples, porém, os eventos difusos ou mistos não têm restrições para serem calculados, podendo necessitar de grande tempo de processamento. Neste ponto o método Monte Carlo tem papel importante, melhorando o desempenho do programa através do uso de algoritmos numéricos sofisticados (CABÚS, 2005).

Figura 29 – Céus padronizados: a) Subdivisão em 145 partes – CIE (cálculo da componente refletida) e b) Subdivisão em 5221 partes sobre o CIE 145 (cálculo da componente direta).



Fonte: (a) CIE (1994) *apud* Cabús (2002) (b) Cabús (2002).

O conceito de coeficientes de luz natural foi baseado na proposta de Tregenza e Waters (1983) *apud* Cabús (2005). Ao uso dos coeficientes se aplica a subdivisão de céu

³² Versão disponível pelo grupo de pesquisa em iluminação (GRILU/UFAL), em <<http://www.ctec.ufal.br/grupospesquisa/grilu/novo/software/view/9>>. Acesso em: 30 Mar. 2015.

proposta pela CIE (Comission Internationale de L'Eclairage), que considera a abóbada celeste dividida em 145 partes para o cálculo da componente refletida da luz e utiliza uma subdivisão mais detalhada, com 5221 partes, visando aperfeiçoar a precisão dos resultados para o cálculo da componente direta da luz (figura 29).

3.4.1.6 Critérios avaliativos para desempenho da iluminação natural

Assim como na avaliação do desempenho térmico, para a iluminação natural também foram criados dois grupos com critérios distintos para realização das simulações. O primeiro grupo segue as recomendações da NBR 15575 e o segundo grupo avalia critérios baseados literatura científica existente. O Quadro 10 apresenta a síntese dos parâmetros de simulação adotados nos Grupos 1 e 2.

Quadro 10 – Critérios adotados para simulações de desempenho luminoso (iluminação natural) dos grupos 1 e 2.

Para Desempenho da Luz Natural	Grupo 1	Grupo 2
Período de simulação	Simular dias 23 de abril e 23 de outubro, às 9:30 e às 15:30.	Simular todos os dias do ano, entre 7:00 e 17:00.
Parâmetro de avaliação	Iluminância média do ambiente	Distribuição da iluminância do ambiente no intervalo de UDI (100 a 3000lx) / Porcentagem de horas alcançadas
Condição de céu	Céu com Nebulosidade média (50% de nuvens) / Tipo 10 (CIE)	Céu Dinâmico (DN)
Orientação das aberturas	Todas as orientações	
Localização do ambiente	UHs no 6º pavimento e no 12º pavimento (cobertura)	
Condição de uso das janelas	Todas as janelas e portas internas abertas (exceto banheiros)	

Fonte: A autora

O **Grupo 1** segue as determinações da NBR 15575 (ABNT, 2013a), com os seguintes parâmetros de simulação: períodos da manhã (9:30h) e da tarde (15:30h), respectivamente para os dias 23 de abril e 23 de outubro; latitude e a longitude do local da obra; dias com nebulosidade média (índice de nuvens 50%)³³; sem iluminação artificial ou obstruções à luz nas aberturas (cortinas ou persianas, por exemplo). A iluminância é calculada no centro dos ambientes, com altura de 0,75m em relação ao piso, para todas as orientações, nos diferentes andares (1º e 12º pavimentos), considerando o sombreamento proporcionado pelas edificações vizinhas.

A norma de desempenho estabelece ainda, como níveis de iluminação natural, os valores de iluminância necessários para alcançar cada nível de desempenho. Para o

³³ Dentre os 15 tipos de céu propostos pela CIE, aquele mais adequado para representar a condição típica de céu de Maceió é o tipo 10 (CABÚS, 2002).

ambiente do quarto são eles: $E \geq 60\text{lx}$ para mínimo (M); $E \geq 90\text{lx}$ para intermediário (I) ou $E \geq 120\text{lx}$ para superior (S).

Para o Grupo 1 foram gerados resultados referentes a iluminância média no ponto central do ambiente para cada dia e hora requeridos pela norma. Estes resultados foram comparados com os níveis de iluminância para classificação do nível de desempenho.

No entanto, sabe-se que a luz natural varia ao longo do dia e do ano, a depender de alguns fatores, entre eles a localização do Sol na abóbada celeste e o tipo de céu, por exemplo (TREGUENZA; LOE, 2004). A avaliação feita pela NBR 15575 para apenas dois dias e em dois horários a cada dia, não corresponde à realidade de uso da edificação e dificulta a avaliação do desempenho da luz, por estar restrita a apenas 4 horas de todo o ano. Partindo dessa premissa, os critérios adotados no Grupo 2 são baseados em normas e estudos realizados com uma proposta diferente da norma de desempenho, para posterior comparação de resultados.

As simulações do **Grupo 2** foram realizadas para todos os dias do ano, nos horários entre as 7h e as 17h, período iluminado unicamente com a luz natural. Além disso, o tipo de céu considerado para avaliação é o céu dinâmico existente no banco de dados do TropLux. Esta opção de céu baseia-se em uma distribuição estatística feita a partir dos dados meteorológicos de Maceió, que considera a variação real de tipos de céu padrão CIE, a cada hora (CABÚS, 2012).

Os critérios de avaliação utilizados nas análises das simulações do Grupo 2 incluem: i) a Iluminância Útil da Luz Natural (IULN) ou *Useful Daylight Illuminances* (UDI), como referência para intervalos de iluminância aceitáveis; ii) a distribuição das iluminâncias nos ambientes e iii) o total de horas do ano nas quais a iluminância foi mantida em cada intervalo de UDI.

Foi adotado um nível mínimo e um máximo de iluminância para ambientes residenciais de acordo com o intervalo aceitável de UDI entre 100lx e 3000lx (MARDALJEVIC et al., 2011). Foi desenvolvida a tabela 14, com uma classificação baseada nesses parâmetros. A classificação do ambiente advém do atendimento dos dois critérios, expostos na tabela: (i) a porcentagem de horas do ano (PH) em que a iluminância do ambiente permanece dentro do intervalo de UDI indicado e (ii) a porcentagem de área do ambiente (PA) em que a iluminância média global das horas avaliadas encontra-se dentro do intervalo de UDI.

Após realizar as simulações foram gerados dados, no próprio Troplux, referentes à porcentagem de horas em que o ambiente se encontra dentro ou fora de cada intervalo de UDI, considerando: (i) Intervalo I, $E < 100\text{lx}$; (ii) Intervalo II, $100\text{lx} < E < 500\text{lx}$; (iii) Intervalo III,

500lx<E<3000lx; (iv) Intervalo IV, E>3000lx; (v) total de horas dentro dos limites aceitáveis da UDI, 100lx<E<3000lx e (vi) total de horas fora dos limites aceitáveis da UDI, E<100lx e E>3000lx. As análises desses intervalos permitiu classificar o desempenho para o critério da Porcentagem de horas no intervalo de UDI (PH) e analisar a iluminação natural ao longo do ano, dentro do intervalo considerado para uso exclusivo da luz natural no ambiente (7h às 17h). Em seguida, foram geradas as isocurvas considerando a média global anual de iluminâncias. Estas isocurvas foram colocadas dentro do ambiente analisado para o cálculo da área do ambiente atingida pelos níveis de iluminância enquadrados dentro de cada intervalo de UDI, no intuito de encontrar a Porcentagem do ambiente no intervalo de UDI (PA) do ambiente. Na PA foram considerados os mesmo intervalos citados no cálculo da PH.

Tabela 14 – Categorias de classificação dentro do intervalo de UDI alcançado.

Categoria	Porcentagem do ambiente no intervalo de UDI – PA (500lx a 3000lx) (%)	Porcentagem do ambiente no intervalo de UDI – PA (100lx a 3000lx) (%)	Porcentagem de horas no intervalo de UDI – PH (500lx a 3000lx) (%)	Porcentagem de horas no intervalo de UDI – PH (100lx a 3000lx) (%)	Classificação
I	PA ≥ 80%(sem proteção solar) PA ≥ 60%(com proteção solar)	–	PH ≥ 80%	–	Superior
II	–	PA ≥ 80%(sem proteção solar) PA ≥ 60%(com proteção solar)	–	PH ≥ 80%	Intermediário
III	–	70% ≤ PA < 80%(sem proteção solar) 50% ≤ PA < 60%(com proteção solar)	–	70% ≤ PH < 80%	Mínimo
IV	–	PA < 70%(sem proteção solar) PA < 50%(com proteção solar)	–	PH < 70%	Insuficiente

Fonte: Adaptado de Eletrobras e PROCEL (2012).

Os critérios de desempenho mínimo no Grupo 2 baseiam-se na exigência do Regulamento Técnico da Qualidade para as edificações Residenciais – RTQ-R para obtenção das bonificações³⁴ do âmbito da iluminação natural. O Regulamento determina que, para ambientes sem proteção solar nas aberturas, a iluminância mínima adotada deve ser alcançada em pelo menos 70% do ambiente, em 70% das horas do ano; para ambientes com proteção solar nas aberturas, considera-se 50% do ambiente, em 70% das horas do ano (ELETROBRAS; PROCEL, 2012). Entretanto, o Regulamento considera o valor de 60lx

³⁴ Bonificações são pontuações atribuídas a iniciativas que aumentem a eficiência da edificação (ELETROBRAS; PROCEL, 2012).

como referência para atingir o nível mínimo de iluminância enquanto aqui será adotado o valor mínimo de 100lx, referente ao intervalo de UDI, como já explicitado.

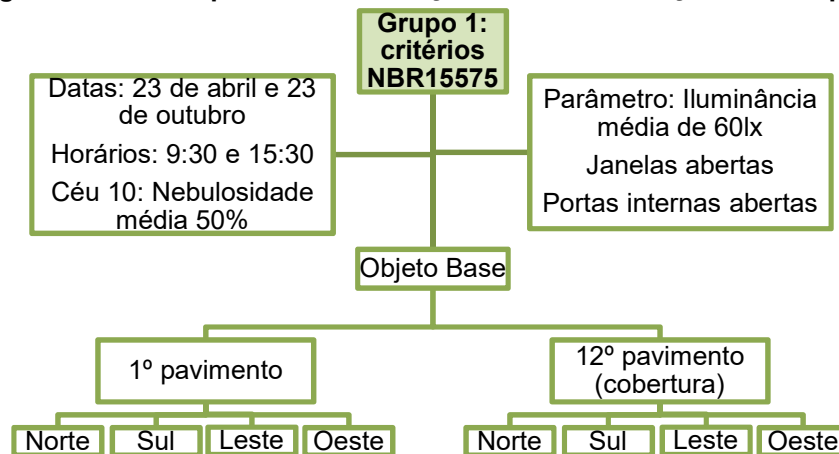
Acrescenta-se ainda que a proteção solar pode afetar a quantidade de luz que entra nos ambientes por diminuir a incidência da luz do sol. Sendo assim, seguindo os valores atribuídos pelo RTQ-R para ambientes com proteção solar será exigido um valor percentual menor para a classificação da distribuição da luz no ambiente. Entretanto, considera-se importante aprofundar as investigações relativas à dimensão da proteção solar em relação à quantidade de luz que tende a penetrar no recinto. Sobre esse aspecto, a NBR 15575 utiliza um critério de 50% de corte da radiação solar direta que entraria pela janela, como sugestão de alteração para as situações em que a edificação não atinja o desempenho térmico mínimo exigido. Entretanto este critério não é referenciado para o desempenho da iluminação natural. Nesta pesquisa, este critério de sombreamento foi adotado para a classificação da iluminação natural. Para validar a proteção solar como parâmetro classificatório do cálculo da PA – porcentagem de área do ambiente no intervalo de UDI (100lx a 3000lx) – o dispositivo de proteção solar deve garantir à janela um sombreamento mínimo de 50% das horas em que há incidência solar durante todo o ano, o que pode ser visualizado com uso de cartas solares. Como a carta solar contém o intervalo de horas entre 6h e 18h durante todo o ano, é este o período considerado para avaliação do dispositivo de proteção solar. Caso a abertura não atenda essa exigência, o parâmetro utilizado da PA deve ser o referente a aberturas sem proteção (Tabela 14). Destaca-se que a proteção solar considerada para a classificação do ambiente deve estar presente na própria edificação analisada, independente do sombreamento recebido do entorno, porque não há como se ter o controle das modificações que podem ocorrer no entorno.

Para ambos os grupos de simulação, foi avaliado o ambiente localizado nos pavimentos 1º e 12º, mantendo-se as janelas e portas internas abertas. Os modelos foram posicionados de modo que abertura do ambiente analisado seja orientada a Norte, Sul, Leste e Oeste.

3.4.1.7 Procedimentos para simulação computacional – iluminação natural

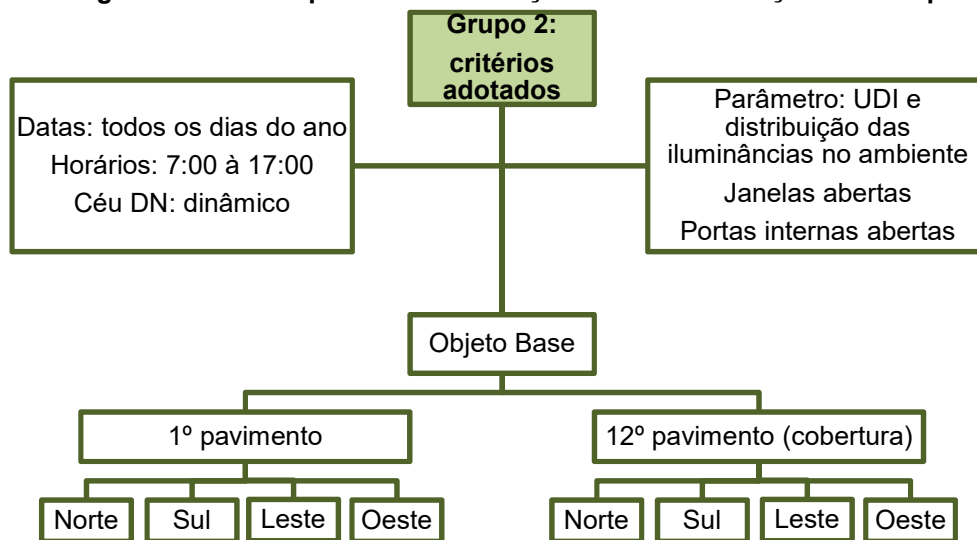
O objeto de estudo, denominado “objeto base” (conforme descrito no item 3.2), foi avaliado de acordo com os dois grupos de simulações para iluminação natural. Para o Grupo 1 foram realizadas 8 simulações para cada dia e horário requerido, totalizando 32 simulações (Figuras 30). Para o Grupo 2 foram feitas 8 simulações para todos os dias do ano, no período de 7h as 17h (Figuras 31). Portanto, totalizou-se 40 simulações de iluminação natural referentes ao quarto de casal.

Figura 30 – Desempenho da iluminação natural: simulações do Grupo 1.



Fonte: A autora.

Figura 31 – Desempenho da iluminação natural: simulações do Grupo 2.

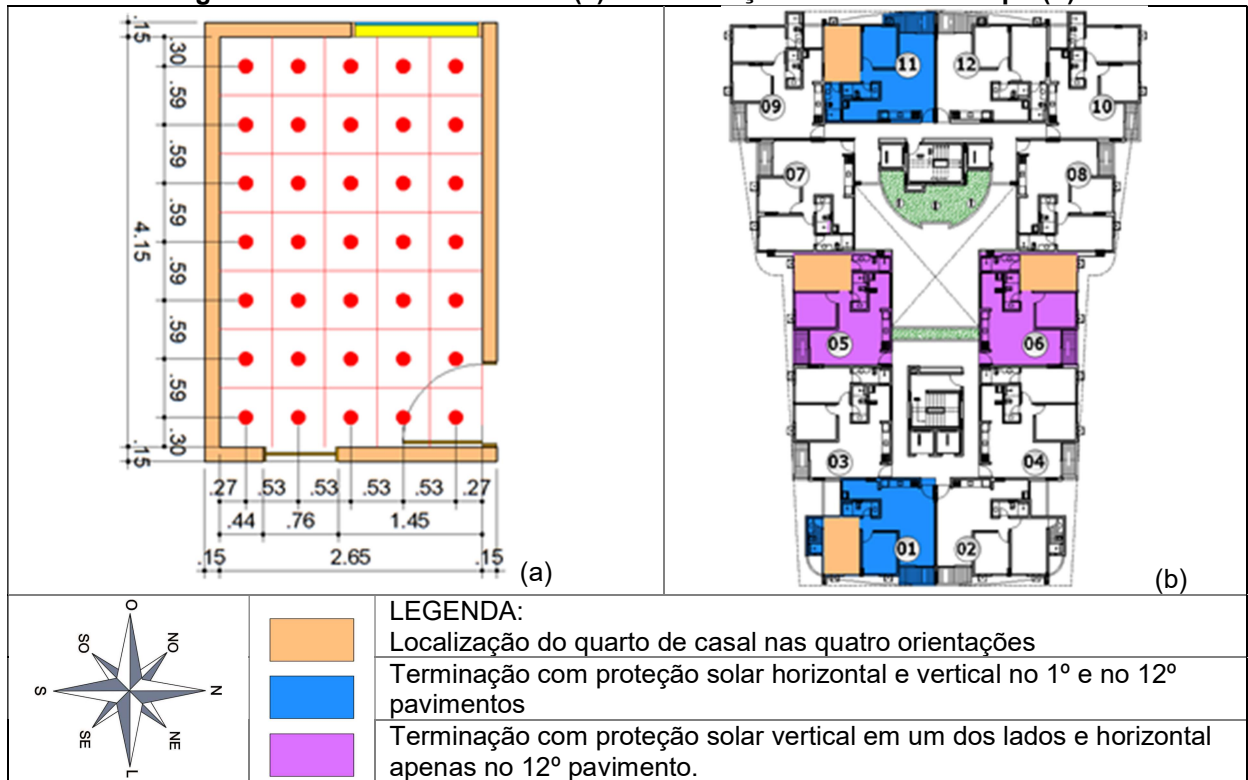


Fonte: A autora.

A figura 32(a) mostra o quarto de casal com a malha de pontos onde serão calculados os valores das iluminâncias, distribuídos no plano de trabalho a 0,75 m de altura em relação ao piso de acordo com as recomendações da NBR 8995 (ABNT, 2013d). Esta norma contém indicações apenas para ambientes de trabalho, entretanto, apresenta critérios para elaboração da malha de pontos de referência para o cálculo de iluminâncias em simulações computacionais.

A figura 32(b) destaca os apartamentos analisados de acordo com sua localização no pavimento tipo. Apesar das terminações 01 e 11 diferenciarem-se quanto à posição do banheiro, o quarto de casal é igual em formato e dimensões nas quatro terminações indicadas.

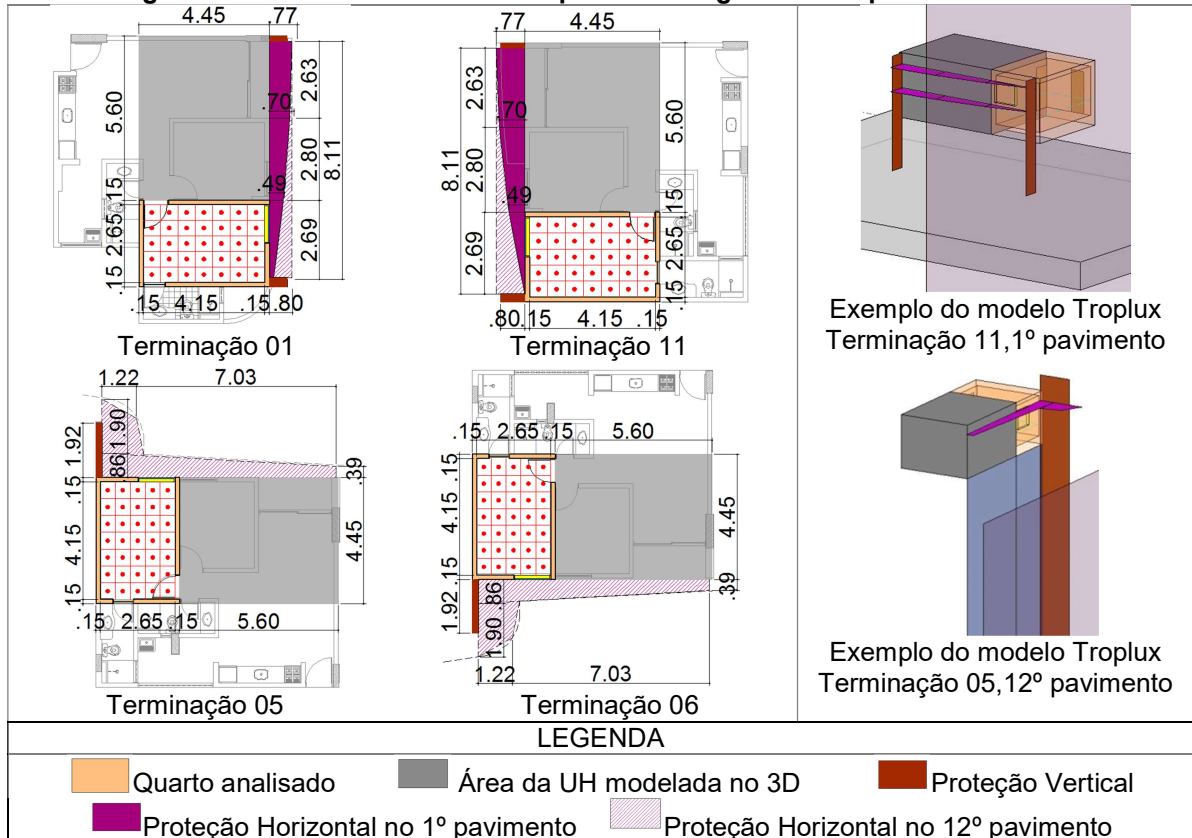
Figura 32 – Ambiente simulado (a) e sua localização no Pavimento Tipo (b).



Fonte: A autora

Foram construídos oito modelos tridimensionais com o auxílio do programa Troplux. A figura 33 apresenta as plantas baixas e as volumetrias construídas no programa.

Figura 33 – Plantas baixas usadas para modelagem e exemplos dos Modelos 3D

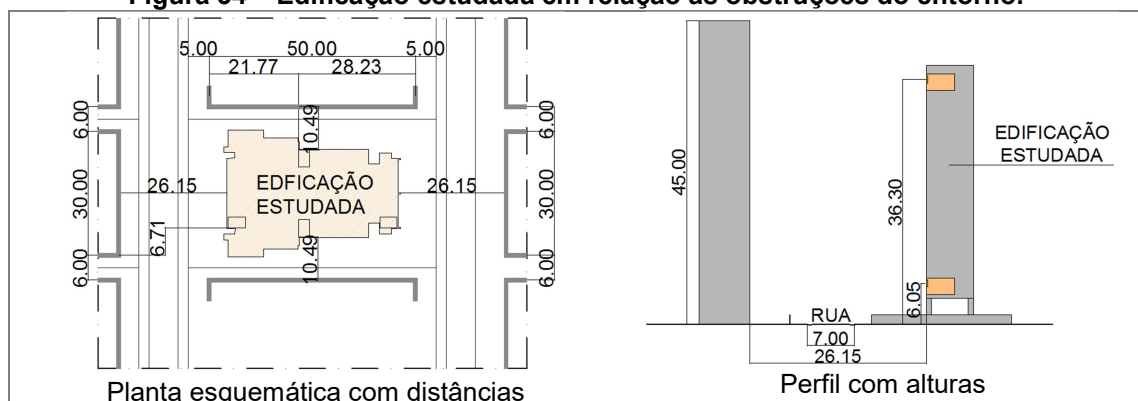


Fonte: A Autora

De acordo com a figura 33, as terminações 01 (leste) e 11 (oeste) são similares, porém com posicionamento espelhado e possuem proteção solar horizontal e vertical na fachada. As terminações 05 (norte) e 06 (sul), que possuem proteção horizontal apenas no 12º pavimento e proteção vertical em um dos lados, também têm planta espelhada. Foram construídos dois modelos para cada uma delas, sendo um para o 1º pavimento e outro para 12º pavimento. A extensão da fachada de cada modelo representada no programa foi delimitada pelas proteções verticais existentes, sendo representada a altura real da edificação. Nos casos em que a varanda saca em relação ao quarto, ela foi considerada como proteção solar na modelagem.

Para todas as simulações foram modeladas obstruções no entorno. Atualmente, a edificação está inserida em uma malha urbana com casas térreas nos terrenos vizinhos e prédios de alturas variadas nas quadras próximas. Porém, foi elaborado um cenário prevendo a ocupação máxima dos terrenos vizinhos, seguindo o código de obras de Maceió. Este cenário foi definido tendo por base a tendência crescente de construção de edifícios multifamiliares nos terrenos previamente ocupados por casas térreas nesta região da cidade. A edificação localiza-se na Zona Residencial 4 (ZR4), classificada como Uso Residencial 5 (UR-5). Para essa classificação, o Código determina os seguintes parâmetros urbanísticos: altura máxima de 15 pavimentos; taxa de ocupação máxima de 35% do terreno; recuo frontal mínimo de 5 m e 1,5 m de lateral (MACEIÓ, 2007). A figura 34 mostra a planta baixa esquemática da malha montada como cenário para obstruções e o perfil da rua, indicando-se a altura das obstruções.

Figura 34 – Edificação estudada em relação às obstruções do entorno.



No perfil, o bloco com altura de 45 metros corresponde a um edifício com 15 andares, representando as obstruções do entorno e está indicada também a altura das janelas do 1º e do 12º pavimentos da edificação objeto deste estudo.

Quanto aos materiais empregados e os valores de refletância e transmitância das superfícies, foram utilizados como referência os dados fornecidos por Dornelles (2008) e Tregenza e Loe (1998), conforme indicado na tabela 15.

Tabela 15 – Descrição dos elementos e materiais utilizados no modelo de simulação no TropLux

Ambiente	Elemento	Material	Refletância	Transmitância
Quarto (internamente)	Paredes	Tinta acrílica fosca (branco neve)	0,73	0
	Piso	Azulejo branco	0,7	0
	Teto	Tinta acrílica fosca (branco neve)	0,73	0
	Janela	Vidro comum	0,1	0,88
	Porta banheiro	Madeira clara	0,4	0
Fachadas	Parede da janela (Terminações 01 e 11)	Azulejo preto	0,033	0
	Parede da janela (Terminações 05 e 06)	Azulejo branco	0,7	0
	Demais paredes	Azulejo branco	0,7	0
	Teto	Tinta acrílica fosca (branco neve)	0,73	0
	Proteção Vertical	Azulejo vermelho escuro	0,215	0
	Proteção. Horizontal	Azulejo branco	0,7	0
	Piso do Pilotis	Azulejo cinza claro (cinza BR)	0,448	0

Fonte: Dornelles (2008) e Tregenza e Loe (1998)

As obstruções do entorno foram simuladas com refletância de 0,5 para todos os casos. Este valor representa uma condição intermediária de refletância, tendo em vista o cenário futuro com ocupação máxima dos terrenos vizinhos.

As simulações foram realizadas sem uso de mobiliário, considerando altura para o plano de trabalho de 75 cm, recomendada pela NBR 15575. O quarto possui banheiro privativo, sendo considerada a porta do quarto aberta e a do banheiro fechada.

Foi adotada a margem de erro estatístico para a componente difusa de 5%, padrão do programa. Foram seguidos como parâmetros de simulação o modo de hora solar, que trabalha com o tempo solar verdadeiro (TSV), a unidade dinâmica – absoluto, para medidas dadas em lux e o método de cálculo da iluminância horizontal difusa da IES (Illuminating Engineering Society).

Os procedimentos metodológicos adotados para avaliação da ventilação natural, do desempenho térmico e do desempenho luminoso basearam as simulações computacionais, simulações em mesa d'água e as avaliações dos resultados. Estes últimos são apresentados e discutidos no capítulo 4.

4 ANÁLISES DOS RESULTADOS

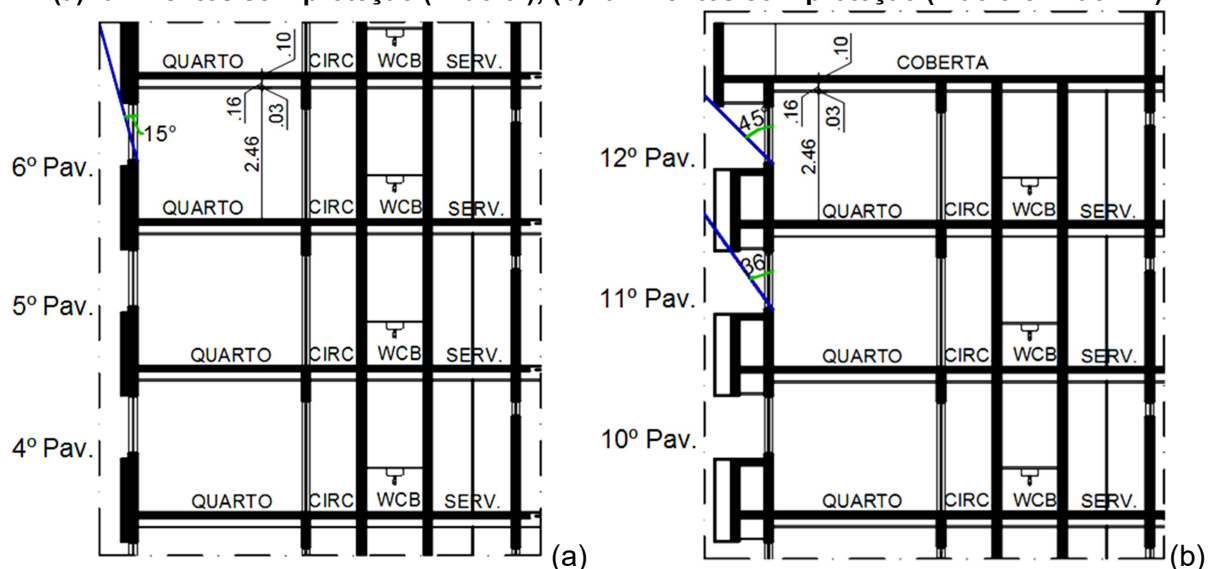
Este capítulo apresenta a análise dos resultados obtidos pelas simulações realizadas com os programas Troplux e EnergyPlus e pelos experimentos com a mesa d'água. São desenvolvidas as avaliações de desempenho luminoso e termoenergético dos ambientes em estudo, considerando-se também o papel da ventilação natural e sua influência no comportamento térmico do ambiente.

4.1 Análise da Incidência Solar na Edificação Estudada

Para a **análise da incidência solar**, foram elaboradas as cartas solares das terminações 01 (leste) e 11 (oeste), por representarem respectivamente as localizações que recebem a maior e a menor incidência de ventos predominantes em Maceió. Além disso, elas estão orientadas para nascente (01) e poente (11), caracterizando incidência direta de insolação pela manhã e pela tarde (figura 34).

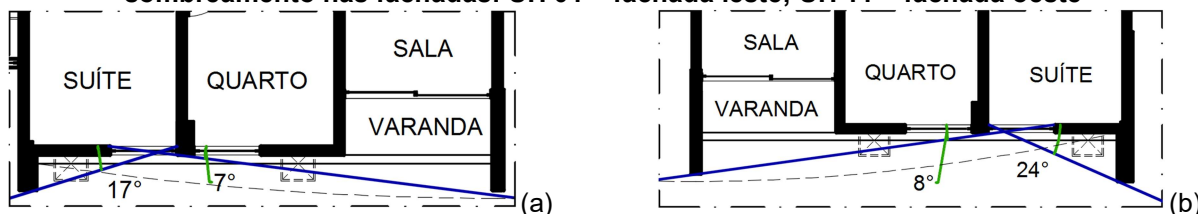
Tanto a leste quanto a oeste, as fachadas sofrem mudanças devido ao desenho de alguns pavimentos, o que não acontece nas outras orientações, como já descrito previamente (ver figuras 11 a 13). Por isso, considerando as terminações escolhidas, foram analisados os apartamentos do 6º, 11º e 12º andares, orientados para leste e para oeste, devido às diferenças nos ângulos de sombreamento correspondentes aos elementos da fachada, como expostos nas figuras 35, 36 e 37.

Figura 35 – Segmentos do corte longitudinal da edificação - ângulos verticais frontais de sombreamento nas fachadas leste e oeste (ângulos iguais em ambas as fachadas):
(a) Pavimentos sem proteção (4º ao 6º); (b) Pavimentos com proteção (1º ao 3º e 7º ao 12º)



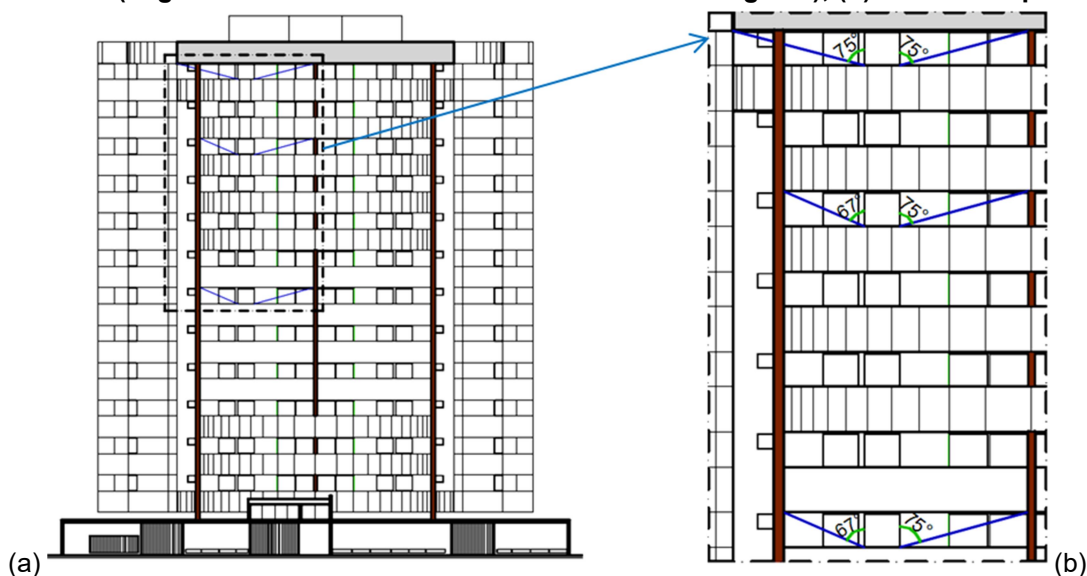
Fonte: Adaptado do projeto arquitetônico.

Figura 36 – Segmentos das plantas baixas das terminações 01 e 11 – ângulos horizontais de sombreamento nas fachadas: UH 01 – fachada leste; UH 11 – fachada oeste



Fonte: Adaptado do projeto arquitetônico.

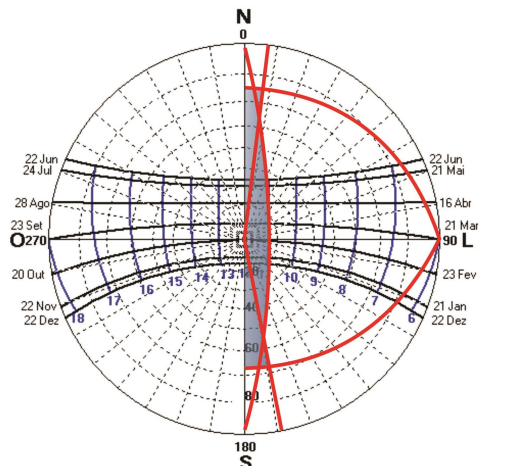
Figura 37 – Ângulos verticais laterais de sombreamento das fachadas leste e oeste: (a) Fachada leste (ângulos das fachadas leste e oeste têm valores iguais); (b) Detalhe ampliado



Fonte: Adaptado do projeto arquitetônico.

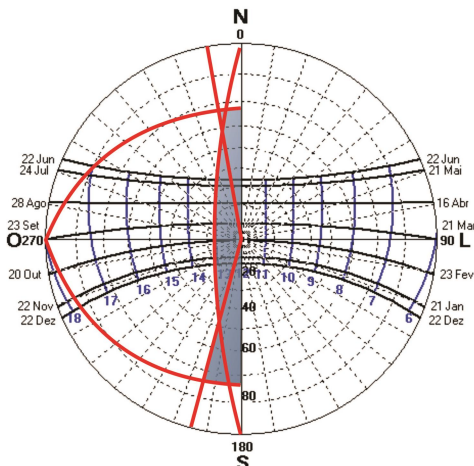
Para o 6º andar, onde não existem detalhes de fachada que possam contribuir com a proteção das janelas dos quartos, há apenas uma viga que torna a alvenaria mais espessa acima da janela. Assim, a luz solar incide diretamente no ambiente do nascer até às 11 horas para a unidade 01 e das 13 horas até o pôr do sol na unidade 11 (figuras 38 e 39).

Figura 38 – Máscara de sombra Pavimentos 4º ao 7º / Leste



Ângulos: $\alpha=15^\circ / \gamma_{direita} = 67^\circ / \gamma_{esquerda} = 75^\circ$
 $\beta_{direita} = 17^\circ / \beta_{esquerda} = 7^\circ$
 Fonte: A autora

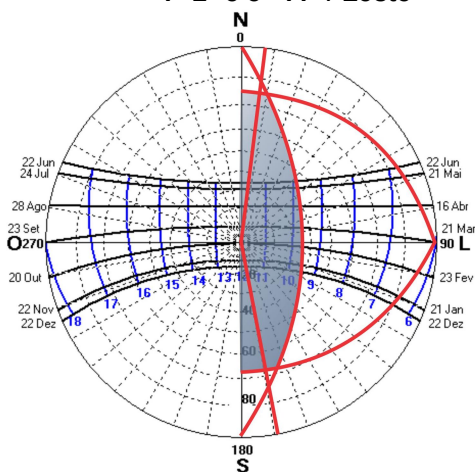
Figura 39 – Máscara de sombra Pavimentos 4º ao 7º / Oeste



Ângulos: $\alpha=15^\circ / \gamma_{direita} = 67^\circ / \gamma_{esquerda} = 75^\circ$
 $\beta_{direita} = 8^\circ / \beta_{esquerda} = 24^\circ$
 Fonte: A autora

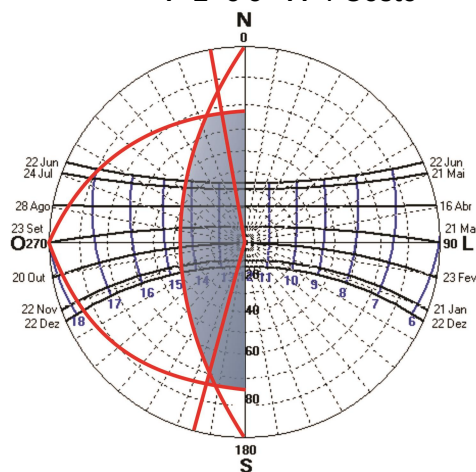
No 11º andar (figuras 40 e 41) a luz do sol alcança o interior do quarto desde o nascer do sol até as 9h30 a leste, enquanto a oeste o período de insolação compreende das 14h30 até o pôr do sol. Para as unidades da cobertura (12º andar), a incidência direta acontece do nascer do sol até as 9h na unidade 01 e das 15h ao pôr do sol na unidade 11 (figuras 42 e 43). Os apartamentos do 12º andar (figuras 42 e 43), apesar de estarem em contato direto com a coberta, o que proporciona maior exposição da envoltória à radiação solar do que nos outros andares, possuem também maiores dispositivos de sombreamento, proporcionando maior proteção das aberturas contra a radiação direta. Nos demais andares essa proteção diminui de tamanho e, conseqüentemente o período de sombreamento também diminui, chegando a apenas 1 hora de sombra por dia para os casos onde existe apenas uma viga como elemento sombreador na fachada (figuras 38 e 39).

Figura 40 – Máscara de sombra Pavimentos 1º-2º e 8º-11º / Leste



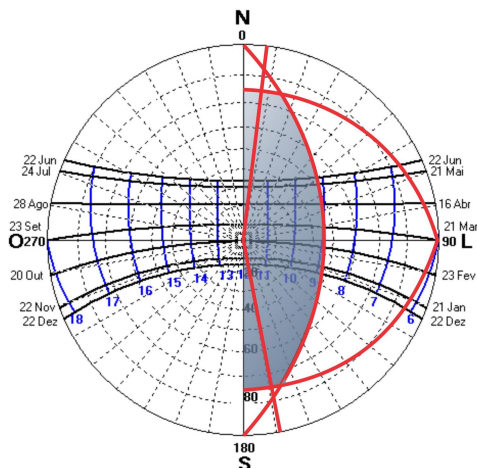
Ângulos: $\alpha=36^\circ / \gamma_{direita} = 67^\circ / \gamma_{esquerda} = 75^\circ$
 $\beta_{direita} = 17^\circ / \beta_{esquerda} = 7^\circ$
 Fonte: A autora

Figura 41 – Máscara de sombra Pavimentos 1º-2º e 8º-11º / Oeste



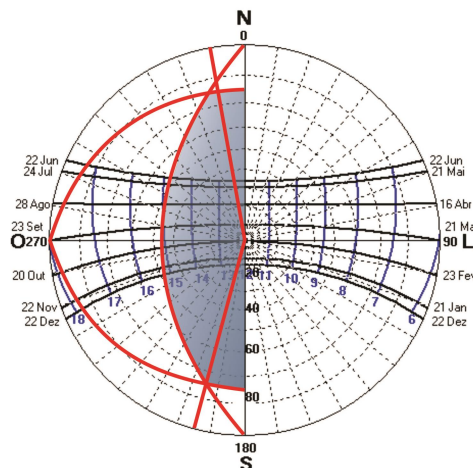
Ângulos: $\alpha=36^\circ / \gamma_{direita} = 67^\circ / \gamma_{esquerda} = 75^\circ$
 $\beta_{direita} = 8^\circ / \beta_{esquerda} = 24^\circ$
 Fonte: A autora

Figura 42 – Máscara de sombra Pavimento 12º / Leste



Ângulos: $\alpha=45^\circ / \gamma_{direita} = 75^\circ / \gamma_{esquerda} = 75^\circ$
 $\beta_{direita} = 17^\circ / \beta_{esquerda} = 7^\circ$
 Fonte: A autora

Figura 43 – Máscara de sombra Pavimentos 12º / Oeste



Ângulos: $\alpha=45^\circ / \gamma_{direita} = 75^\circ / \gamma_{esquerda} = 75^\circ$
 $\beta_{direita} = 8^\circ / \beta_{esquerda} = 24^\circ$
 Fonte: A autora

As UHs posicionadas nas terminações 01 e 02 (leste) tendem a ser mais favorecidas quanto ao desempenho térmico. Elas estão posicionadas na orientação nascente e recebem a maior incidência de ventos predominantes em Maceió, o que favorece a diminuição do calor acumulado e absorvido pelo ambiente. O oposto se dá com as terminações 11 e 12 (oeste), que recebem o sol poente diretamente, bem como pouca ou nenhuma incidência da ventilação predominante.

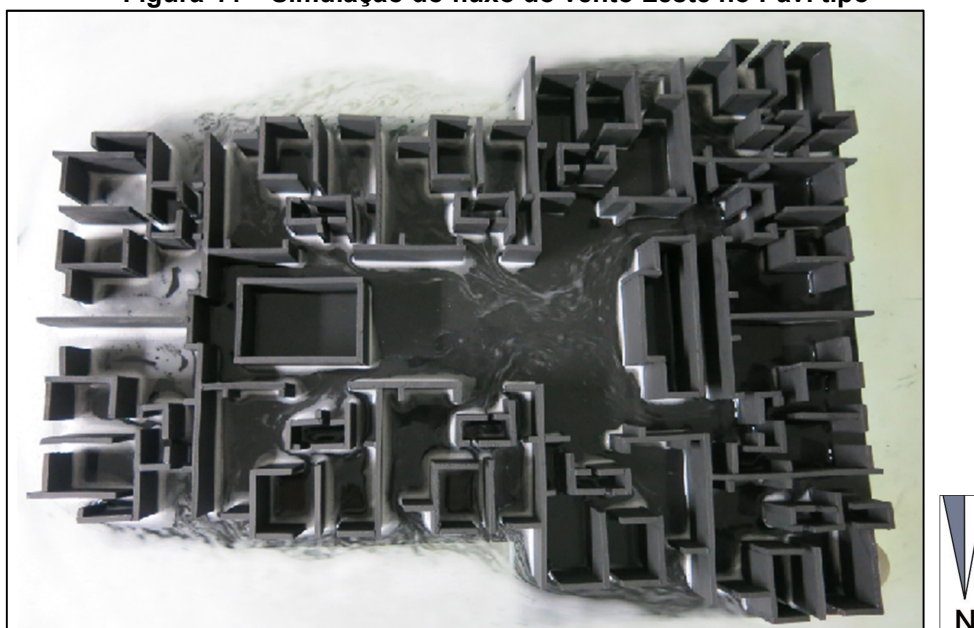
Nem todas as terminações leste e oeste nem os pavimentos citados possuem proteção solar. As proteções solares existentes ainda permitem incidência direta da insolação em alguns períodos do dia. Essas condições podem contribuir para o aumento da iluminação natural, mas também do calor acumulado no ambiente. De maneira geral, a ventilação natural no interior das edificações é desejável para o clima quente e úmido, no intuito de promover o resfriamento da edificação e também o resfriamento fisiológico dos usuários, contribuindo para o conforto.

4.2 Análise do Desempenho da Ventilação Natural

Nos ensaios com o modelo 1 observou-se que as terminações 01 e 02, voltadas para leste, são as mais favorecidas por receberem os três ventos predominantes. Nas três simulações todos os ambientes dessas unidades habitacionais (UH) foram beneficiados pelos ventos estudados.

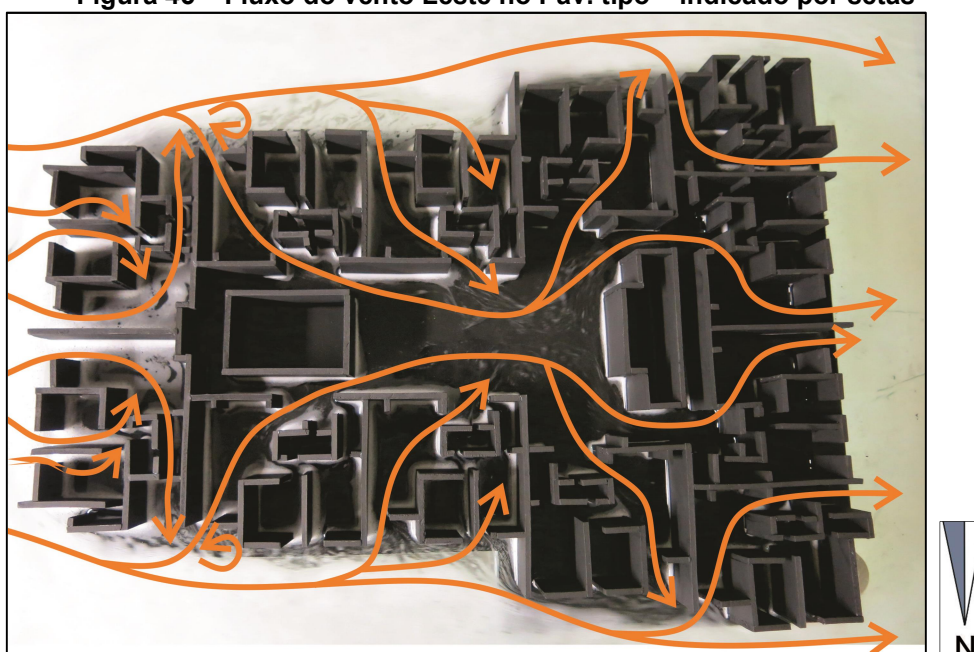
As terminações 03 a 08 possuem janelas de serviço voltadas para o interior da edificação (átrio). Essas aberturas funcionam como saída de ar possibilitando a ventilação cruzada na sala e cozinha. Observou-se que as UHs 03 a 06 receberam um menor fluxo do **vento L** principalmente na sala (figuras 44 e 45). As UHs 07 e 08 foram ventiladas apenas pelo fluxo de ar provenientes da zona interna do prédio, portanto, nesses casos, as janelas de serviço funcionaram como entrada para o vento leste. Entretanto, o **vento SE** (figuras 46 e 47) escoava diretamente pelas terminações 03, 05, 07 e 09 e o **vento NE** (figuras 48 e 49) pelas terminações 04, 06, 08 e 10.

Figura 44 – Simulação do fluxo do vento Leste no Pav. tipo



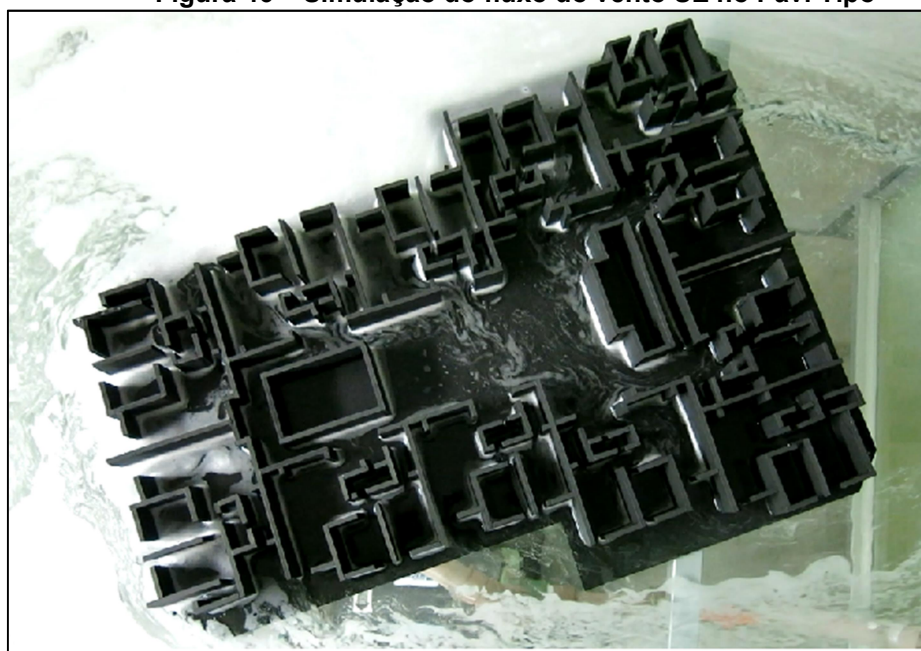
Fonte: A autora

Figura 45 – Fluxo do vento Leste no Pav. tipo – indicado por setas



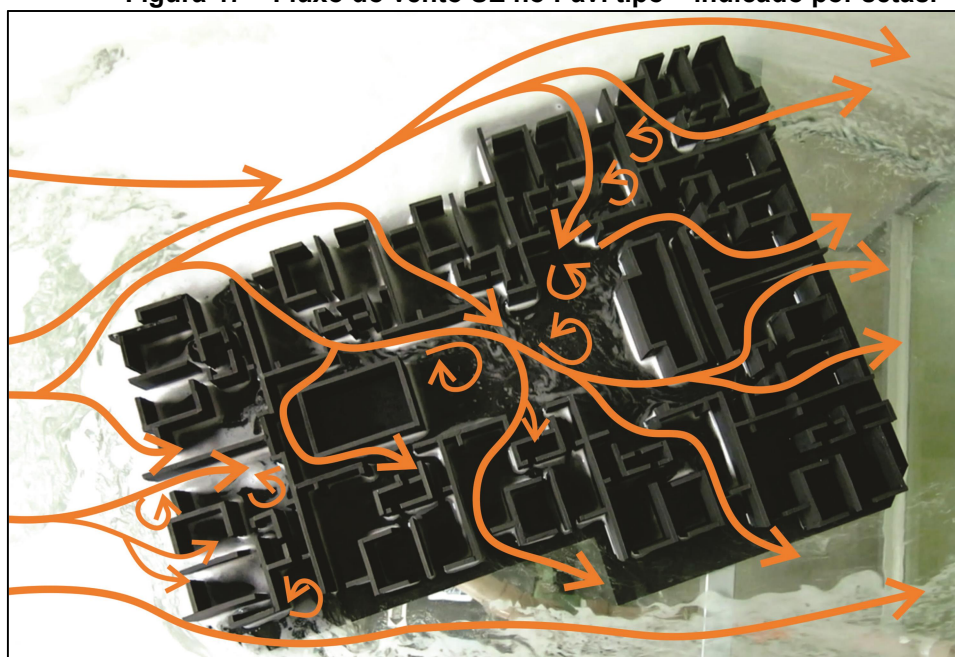
Fonte: A autora

Figura 46 – Simulação do fluxo do vento SE no Pav. Tipo



Fonte: A autora

Figura 47 – Fluxo do vento SE no Pav. tipo – indicado por setas.



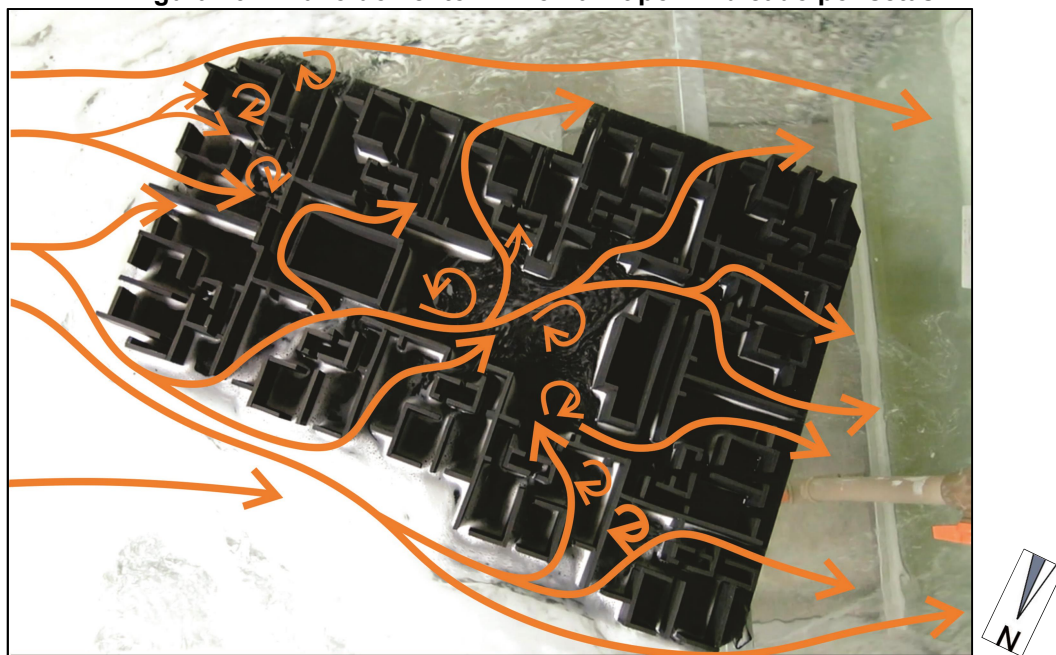
Fonte: A autora

Figura 48 – Simulação do fluxo do vento NE no Pav. tipo



Fonte: A autora

Figura 49 – Fluxo do vento NE no Pav. tipo – indicado por setas



Fonte: A autora

As terminações 11 e 12, voltadas para oeste, possuem localização mais desfavorável por não receberem diretamente nenhum dos ventos predominantes. O vento que pode chegar até essas terminações ao oeste procede unicamente do fluxo que atravessa os demais apartamentos e penetram pela janela da área de serviço. Apesar da existência de um pequeno fluxo que percorre esse trajeto, ter as janelas de serviço como

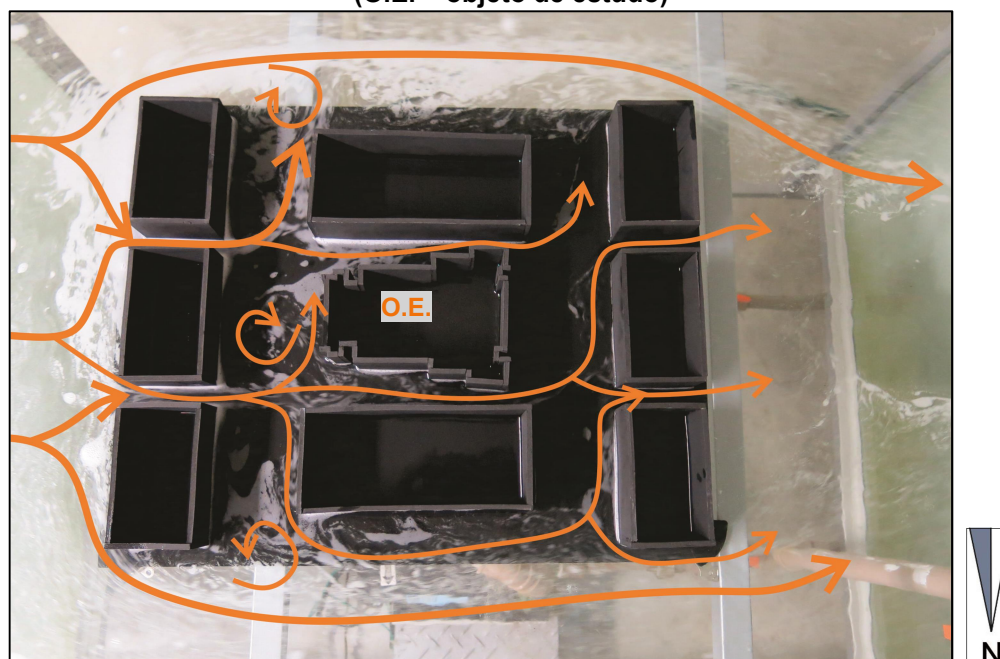
única entrada de ar, sem a penetração direta de ventos provenientes do exterior, prejudica o conforto dos ambientes internos nessas habitações.

Principalmente nas simulações dos ventos SE e NE (figuras 46 a 49), foram percebidas algumas zonas de recirculação de ar. Para o vento SE (figuras 46 e 47), destaca-se a sala nas terminações 02, 07 e 09 e no vento NE (figuras 48 e 49) as salas das UHs 01, 08 e 10. Também foi constante a presença desses vórtices na área central da edificação, onde existe um vazio descoberto, para ambas as direções do vento. A tendência nesta área central é que predomine a função de exaustão do ar que chega até ela. Uma limitação dos ensaios com a mesa d'água é a necessidade de analisar separadamente o ensaio do fluxo dos ventos que ocorre em planta baixa e em corte. Neste caso, as observações limitaram-se à planta baixa com o objetivo de observar o percurso da ventilação nos ambientes internos das UHs estudadas.

A existência desse vazio central pode se configurar como uma preocupação do projetista em melhorar a ventilação e viabilizar a entrada de luz natural para as áreas da cozinha e serviço, visto que a maior parte dos apartamentos tem as janelas desses ambientes voltadas para o interior da edificação. Todavia, apesar de melhorar a situação de alguns apartamentos, como nas terminações 5 a 8, cujas janelas estão diretamente voltadas para o vazio central, o desempenho será diferente para as demais terminações, que estão com as janelas voltadas para a circulação comum de acesso aos apartamentos.

As figuras 50 e 51 mostram o comportamento do vento Leste no Modelo 2 (edifício inserido na malha urbana). As edificações do entorno a barlavento restringem a passagem de parte da ventilação, cujo escoamento se dá pelos recuos laterais dos prédios. A fachada leste do objeto de estudo recebe a maior parte dos ventos, que também incide em menor proporção nas fachadas norte e sul. A fachada oeste não recebe ventilação Leste, como visto na figura 51, onde as esteiras de vento são representadas. Na figura 50 registra-se a presença de vórtices, sendo um deles localizado na frente da fachada leste. Essas zonas turbulentas, onde há recirculação do ar, podem contribuir para a concentração de ar.

Figura 50 – Fluxo do vento Leste na malha urbana – indicado por setas (O.E. = objeto de estudo)



Fonte: A autora

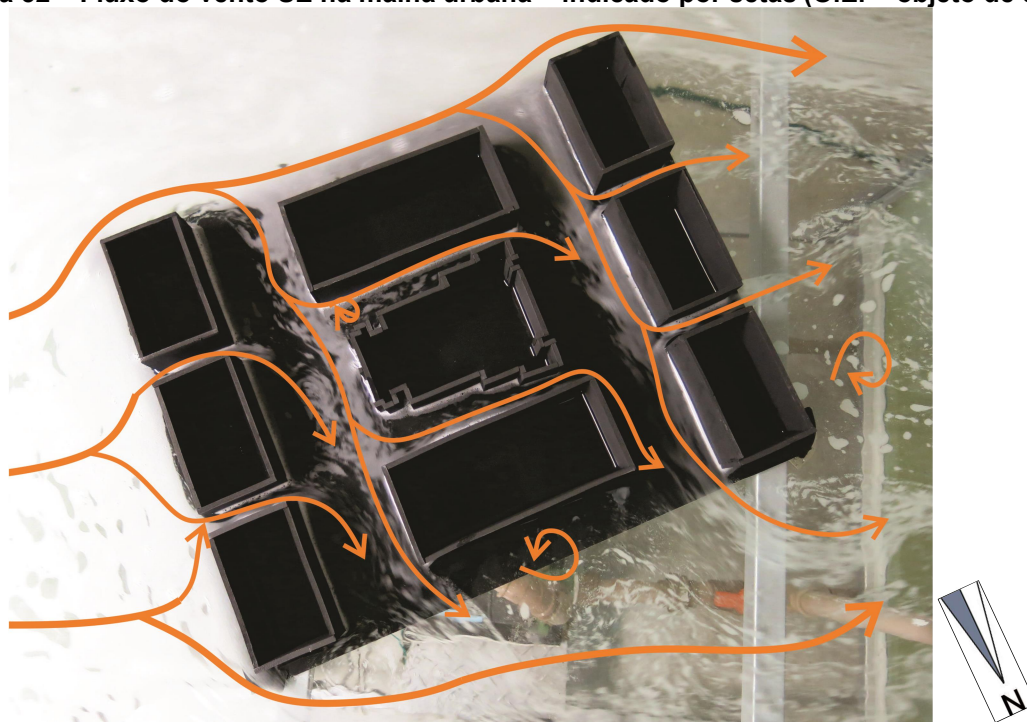
Figura 51 – Fluxo do vento Leste na malha urbana – esteiras de vento (O.E. = objeto de estudo)



Fonte: A autora

No ensaio do vento Sudeste para o modelo 2 (figuras 52 e 53) o escoamento também ocorre pelos recuos laterais dos prédios, porém a maior parte do vento escoia pelas ruas.

Figura 52 – Fluxo do vento SE na malha urbana – indicado por setas (O.E. = objeto de estudo)



Fonte: A autora

Figura 53 – Fluxo do vento SE na malha urbana – esteiras de vento (O.E. = objeto de estudo)



Fonte: A autora

Percebe-se maior incidência do fluxo na fachada Leste e uma menor incidência nas fachadas norte e sul, bem como uma zona de esteira de vento a oeste. Os vórtices também foram registrados, existindo uma pequena zona de recirculação do ar na fachada sul (figura 52).

O estudo do vento Nordeste assemelhou-se ao vento Sudeste: o fluxo do vento escoou pelos recuos laterais e pelas ruas; há formação de vórtices, sendo um deles localizado junto a fachada norte e há formação de esteira de vento na fachada oeste (figuras 54 e 55).

Figura 54: Fluxo do vento NE na malha urbana – indicado por setas (O.E. = objeto de estudo)



Fonte: A autora

Figura 55 – Fluxo do vento NE na malha urbana – esteiras de vento (O.E. = objeto de estudo)



Fonte: A autora

Considerações sobre simulações na mesa d'água

Os ensaios em Mesa D'água mostraram que as terminações 01 e 02, voltadas para o leste, estão na localização do pavimento tipo mais favorecida pelos ventos predominantes (Leste, Sudeste e Nordeste). Enquanto as terminações 11 e 12 à oeste são as mais desfavorecidas quanto ao fluxo dos ventos (quadro 11). Observa-se que 8 das 12 UHs da edificação possuem incidência de no mínimo dois ventos predominantes; duas são ventiladas por apenas uma direção predominante e outras duas unidades não recebem ventilação.

Quadro 11 – Incidência dos ventos em cada terminação

Ventos	Incidência dos ventos em cada terminação (terminação/orientação)											
	1/Leste	2/Leste	3/Sul	4/Norte	5/Sul	6/Norte	7/Sul	8/Norte	9/Sul	10/Norte	11/Oeste	12/Oeste
NE	X	X	--	X	--	X	--	X	--	X	--	--
SE	X	X	X	--	X	--	X	--	X	--	--	--
L	X	X	X	X	X	X	--	--	X	X	--	--

Fonte: A autora

Pode-se dizer que as UHs 1 a 3, 5 e 9, que recebem os ventos SE e L, estão em localização que favorece a incidência de ventilação ao longo de todo o ano. As terminações 4, 6 e 10 recebem pouca ventilação durante os meses chuvosos, sendo mais bem ventiladas no verão. Enquanto a terminação 7 tende a receber pouca ventilação no período de verão, sendo mais desconfortável para os usuários nesse período, a terminação 8 tende a receber pouca ventilação nos meses chuvosos. As UHs 11 e 12, por não receberem nenhuma ventilação direta, possuem a localização mais desfavorável.

A existência de apartamentos com ventilação prejudicada por sua orientação é uma situação comum, mas prejudicial para o conforto térmico dos usuários. No objeto de estudo, nota-se a preocupação com a ventilação natural e a iluminação através da incorporação de um grande vazio descoberto no centro do pavimento tipo. Contudo, ao posicionar a janela da área de serviço à sotavento em relação a porta da varanda à barlavento (área de entrada maior que área de saída) o fluxo do ar é reduzido. Bittencourt e Cândido (2008), afirmam que essa redução acontece porque parte da energia cinética do fluxo de ar é transformada em pressão estática ao redor da abertura de saída.

Ou seja, a ventilação cruzada existe na maior parte dos apartamentos, porém as UHs que dependem da circulação interna do ar, pelos corredores e vazio central, para receber algum fluxo de vento aproveitam pouco dessa possibilidade de ventilação, sendo prejudicadas. As UHs que recebem o vento leste tendem a manter uma velocidade interna do ar maior, e também a dar maior contribuição com a passagem de algum fluxo de vento

pela janela da cozinha. A área central do pavimento tipo, onde está o vazio descoberto, funciona principalmente como canal de exaustão para saída dos ventos que passam pelas janelas de serviço. Entretanto, há influência do entorno. As edificações dos arredores dificultam a passagem dos ventos que precisam desvia-las, passando pelos recuos entre os edifícios. Esse trajeto tende a diminuir a intensidade dos ventos que perdem sua força, podendo alterar a velocidade do ar nas aberturas de entrada. As esteiras de vento formadas atrás das edificações de entorno podem dificultar a entrada dos ventos pelas janelas dos apartamentos. Nesses locais foi percebida a formação de vórtices, o que pode contribuir para a concentração de ar, podendo levar calor indesejado para dentro da edificação.

4.3 Análise do Desempenho Térmico

O quadro 12 apresenta o resumo das simulações do Grupo 1 (critérios de avaliação da NBR 15575) e do Grupo 2 (seguindo critérios formulados com base na literatura e em normas internacionais) para avaliação do desempenho termoenergético. O quadro expõe também os respectivos resultados de classificação final para cada simulação realizada, analisados neste capítulo. Na coluna de classificação parcial observa-se o nível de desempenho do ambiente em cada simulação, enquanto a coluna de classificação final mostra o resultado final (prevalecendo a menor classificação dentre aquelas obtidas pelos ambientes individualmente).

Alguns aspectos do quadro 12 podem ser destacados para uma visão geral. O Caso 1.1 segue as diretrizes requeridas pela NBR 15575 e obteve classificação mínima para o 1º pavimento e para o 12º pavimento com telha pintada de branco. Já o Caso 1.2, que se baseia na mesma norma, porém acrescenta cargas térmicas internas ao ambiente analisado, manteve classificação insuficiente para todas as simulações. Para os casos 2.1 e 2.2, que fazem uso exclusivo de ventilação natural, a classificação final manteve-se em nível insuficiente na unidade mais desfavorável (12º pavimento/oeste). Entretanto, no caso 2.2, onde as janelas permanecem abertas durante as 24 horas do dia, o ambiente manteve-se em conforto por mais tempo, chegando ao nível intermediário no 1º pavimento das orientações leste e oeste. Os casos 2.3 e 2.4 fazem uso de ar condicionado em períodos específicos (ver quadro 9) e classificaram-se, respectivamente, com nível mínimo e intermediário de desempenho térmico. Nesses casos, durante o período de uso do ar condicionado, a classificação manteve-se em nível superior.

Quadro 12 – Síntese dos resultados das simulações

Grupo	Caso	Cargas internas	Trocas de ar com exterior / uso de ar condicionado	α da telha	Orientação	Pavimento	Classificação parcial de desempenho do ambiente	Classificação final de desempenho do edifício		
Grupo 1	Caso 1.1	Não	Fixa: 1 Renovação/h	0,71	Oeste	1º	Mínimo	Insuficiente		
						12º	Insuficiente			
					Leste	1º	Mínimo			
			12º	Insuficiente						
			0,3	Oeste	12º	Mínimo	Mínimo			
				Fixa: 5 Renovação/h	0,71	Oeste	1º		Mínimo	Insuficiente
	12º	Insuficiente								
	Leste	1º	Mínimo							
		12º	Insuficiente							
	Grupo 2	Caso 1.2	Sim	Fixa: 1 Renovação/h	0,71	Oeste	1º	Insuficiente	Insuficiente	
							12º	Insuficiente		
						Leste	1º	Insuficiente		
12º				Insuficiente						
0,3				Oeste	12º	Insuficiente	Insuficiente			
				Fixa: 5 Renovação/h	0,71	Oeste	1º	Insuficiente		Insuficiente
		12º	Insuficiente							
Leste		1º	Insuficiente							
		12º	Insuficiente							
Grupo 2		Caso 2.1	Sim	VN (JF/PF 8h/dia e JA/PA 16h/dia)	0,71	Oeste	1º	Insuficiente	Insuficiente	
							12º	Insuficiente		
						Leste	1º	Mínimo		
	12º				Insuficiente					
	0,3				Oeste	12º	Insuficiente	Insuficiente		
					Caso 2.2	Sim	VN (JA/PA 24h/dia)	0,71		Oeste
		12º	Insuficiente							
	Leste	1º	Intermediário							
		12º	Mínimo							
	Caso 2.3	Sim	Apenas VN (16h/dia) e apenas AC (8h/dia)	0,71	Oeste	1º	Mínimo	Mínimo		
						12º	Mínimo			
					Leste	12º/AC	Superior			
0,71				Leste		1º	Mínimo			
					12º	Mínimo				
				Caso 2.4	Sim	Apenas VN (12h/dia) e apenas AC (12h/dia)	0,71		Oeste	1º
12º	Intermediário									
Leste	12º/AC	Superior								
	0,71	Leste	1º				Superior			
12º			Superior							
Legenda:		JF = Janela Fechada					JA = Janela Aberta		VN = Ventilação Natural	
	PF = Porta Fechada		PA = Porta Aberta		AC = Ar Condicionado					

Fonte: A autora.

Grupo 1: Critérios da NBR 15575/2013

Apenas a avaliação do quarto do casal localizado na UH-Oeste do 12º pavimento seria suficiente para classificar a edificação. Contudo, esta pesquisa analisa também o quarto de casal nas UHs do 1º pavimento a oeste e do 1º e 12º pavimentos voltadas a leste,

com e sem cargas térmicas internas. Para a situação mais desfavorável são avaliados dois tipos de telha na cobertura, como previamente explicitado. O intuito é obter dados que contribuam para o aprofundamento dos estudos da abordagem adotada pela Norma.

A tabela 16 apresenta os resultados das temperaturas máximas do dia típico para as simulações realizadas a oeste. As temperaturas destacadas em laranja referem-se aos resultados requeridos pela NBR15575 para classificação da UH.

Tabela 16 – Temperaturas máximas do quarto de casal a oeste

Orientação	OESTE							
	Caso 1.1 Sem Carga térmica interna				Caso 1.2 Com Carga térmica interna			
Casos / Cargas internas	1r/h		5r/h		1r/h		5r/h	
Nº de renovações de ar/hora	1º	12º	1º	12º	1º	12º	1º	12º
Pavimento	1º	12º	1º	12º	1º	12º	1º	12º
Ti,max (dia típico)	31,9°C	34,2°C	31,7°C	32,5°C	34,3°C	36,6°C	32,8°C	33,6°C
Te,max (dia típico)	32,2°C				32,2°C			

Fonte: A Autora.

Os resultados mostram que, nos dois casos do Grupo 1, a edificação não alcançou a classificação mínima de desempenho. Seguindo os critérios adotados pela NBR 15575, o 12º pavimento/oeste do Caso 1.1, mesmo com 5r/h, mantém-se com a Ti,máx acima da Te,máx, enquadrando-se como desempenho Insuficiente. Esta seria a única simulação necessária para a avaliação pela norma, sendo os demais resultados avaliações desta pesquisa. Deve-se atentar que o beiral do pavimento da cobertura é maior que nos outros andares da edificação e, de acordo com o estudo da carta solar (figuras 38 a 43), garante o sombreamento durante 50% das horas em que a janela recebe sol, ou seja, já está enquadrado na exigência da norma.

O resultado da simulação da UH mais desfavorável (12º pavimento/oeste/1 r/h), com uso de telha clara, mostrou que a Ti,max foi de 31,5°C, obtendo-se uma redução de 2,7°C em relação ao mesmo ambiente com telha mais escura, resultando na classificação com desempenho Mínimo. A mudança de cor da telha e a manutenção para evitar acúmulo de sujeira seriam suficientes para o quarto analisado enquadrar-se na NBR 15575/2013.

Quanto ao 1º pavimento do Caso 1.1, por não estar em contato direto com a coberta, enquadra-se na classificação mínima da norma, mesmo com a abertura da janela menos sombreada, pois seu beiral é menor do que aquele existente no 12º andar.

Ao requerer que a avaliação de desempenho térmico seja feita em um ambiente vazio, a norma desconsidera as cargas térmicas internas que fatalmente estarão presentes durante o uso de uma residência. Essas cargas correspondem ao calor emitido por pessoas, equipamentos elétricos e iluminação. O Caso 1.2 avalia o quarto com as mesmas condições estabelecidas pela norma, porém com a presença das cargas térmicas internas.

Os resultados na tabela 16 registram o aumento da temperatura interna em todas as simulações do Caso 1.2, em relação ao 1.1. Para ambos os andares, a temperatura aumentou 2.4°C com 1r/h e 1.1°C para 5r/h.

Em caso de proceder com a mesma intervenção feita na avaliação sem cargas internas, trocando a telha por uma de cor clara ($\alpha = 0,3$), o resultado da $T_{i,max}$ é de 34,23°C, ainda acima da $T_{e,max}$. No caso 1.2, a presença das cargas internas torna a classificação do quarto de casal insuficiente, ainda que utilizando a mesma estratégia de alteração da absorvância da telha.

Portanto, a ausência das cargas internas pode distanciar o ambiente simulado da realidade que os usuários encontrarão quando estiverem morando nas edificações aprovadas pela norma.

Na tabela 17 estão os resultados das simulações realizadas nas UHs a Leste. Nesta orientação, apesar das temperaturas terem sofrido pequena alteração, o desempenho das UHs do Caso 1.1 também obteve classificação insuficiente segundo os parâmetros da NBR 15575/2013.

O primeiro pavimento conseguiu alcançar a classificação mínima no Caso 1.1, para 1r/h e 5r/h.

Ao serem adicionadas as cargas internas nas UHs avaliadas a leste, Caso 1.2, foi verificado o aumento da $T_{i,máx}$, assim como aconteceu nas UHs voltadas a oeste. Com 1r/h o aumento da temperatura em ambos os andares chega a 2,4°C e com r/h chegou a 1°C. Neste caso nenhuma simulação alcançou classificação mínima.

Tabela 17 – Temperaturas máximas do quarto de casal a leste

Orientação	LESTE							
	Caso 1.1 Sem Carga térmica interna				Caso 1.2 Com Carga térmica interna			
Casos / Cargas internas	1r/h		5r/h		1r/h		5r/h	
Nº de renovações de ar/hora	1º	12º	1º	12º	1º	12º	1º	12º
Pavimento								
$T_{i,max}$ (dia típico)	31,8°C	33,8°C	31,8°C	32,7°C	33,8°C	36,2°C	32,7°C	33,7°C
$T_{e,max}$ (dia típico)	32,2°C				32,2°C			

Fonte: A Autora.

Grupo 2: Critérios Baseados na literatura e em normas internacionais

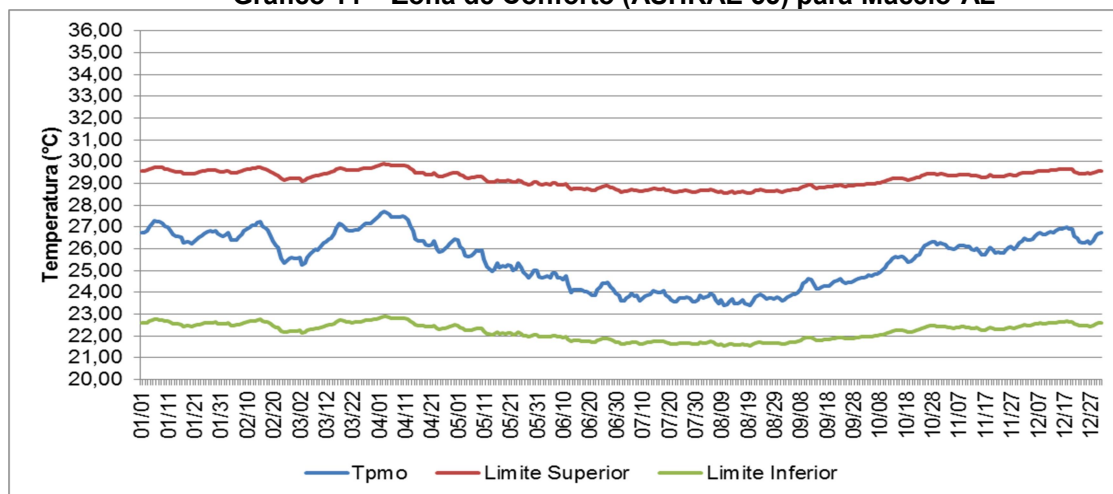
Para este grupo de simulações foram definidos quatro casos, sendo os dois primeiros utilizando apenas a ventilação natural, com variação nos padrões de abertura das janelas da UH, e os dois últimos com variações nos horários de uso do ar condicionado.

O critério de classificação de desempenho térmico para ambientes é o Percentual de Horas do ano em Conforto (PHC). Para os horários em que o quarto do casal é

naturalmente ventilado, o PHC/VN mede o percentual as horas do ano em que o ambiente permaneceu dentro da Zona de Conforto Adaptativo. Para as horas onde há uso exclusivo do ar condicionado, o PHC mede o percentual de horas do mês mais quente em que o ambiente permaneceu em conforto pelo método do PMV/PPD. Ambos os critérios são detalhados no capítulo 3.

O gráfico 11 expõe a Zona de Conforto para a cidade de Maceió, determinada segundo parâmetros da ASHRAE 55 (2013). Para construção do gráfico feito o cálculo da temperatura média prevalente no exterior (T_{pmo}), necessária para o cálculo dos limites superior e inferior da zona de conforto, utilizando o arquivo climático da cidade disponibilizado por Roriz (2012).

Gráfico 11 – Zona de Conforto (ASHRAE 55) para Maceió-AL



Os gráficos apresentados neste capítulo mostram todos os dados das UHs no 12º pavimento, por serem situações mais críticas, visto que estão com a cobertura exposta. Para o 1º pavimento, são apresentados os resultados em texto, entretanto, todos os gráficos com resultados das simulações podem ser consultados no Apêndice D

4.3.1.1 Grupo 2: Caso 2.1: Ventilação natural + janela fechada à noite (22h - 06h)

No Caso 2.1 (Quadro 13), o quarto de casal passa a maior parte do dia com as janelas e portas abertas, fechando-se apenas a janela entre as 22h e as 06h, durante o período de 8 horas que corresponde à ocupação de duas pessoas dormindo. Não há, neste caso, o uso de condicionadores de ar.

Quadro 13 – Caso 2.1/Grupo 2 – Estratégia para resfriamento do ambiente, h/dia.

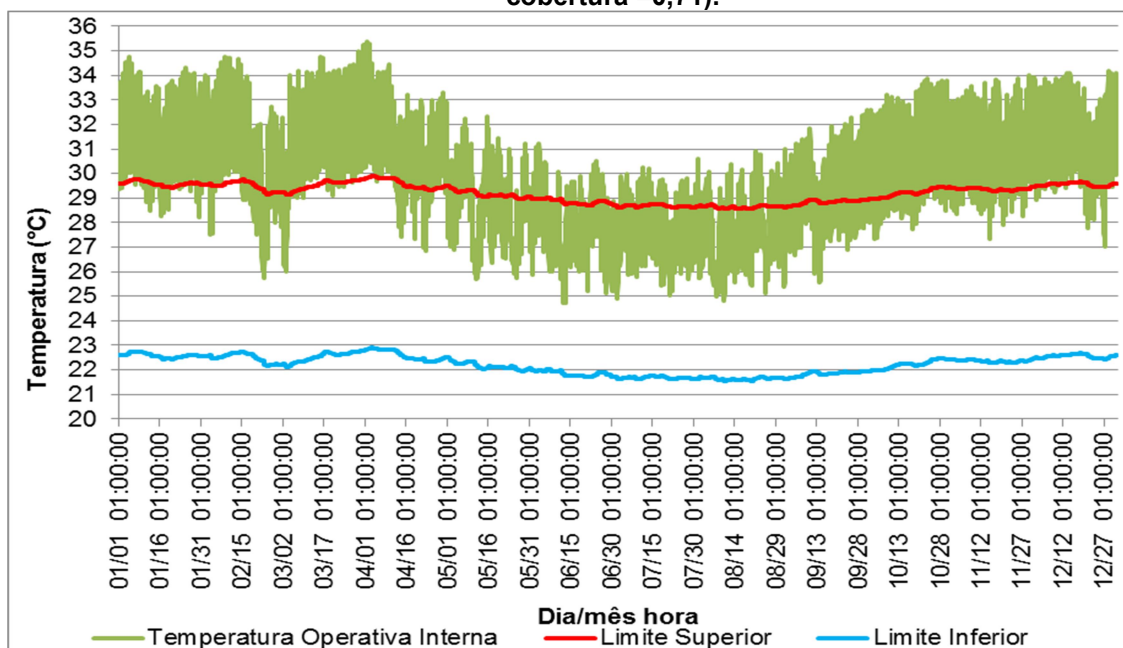
Hora (h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Tipo de resfriamento	VN (JF/PA)						VN (JA/PA)																VN (JF/PA)	
Legenda:	AC	Ar condicionado						VN	Ventilação natural						JF	Janela Fechada								
	PF	Porta Fechada						JA	Janela Aberta						PA	Porta Aberta								

Fonte: A autora.

a. Ambientes orientados a Oeste

O gráfico 12 ilustra a variação da temperatura operativa (T_o) no ambiente orientado a oeste localizado no 12º pavimento, em comparação com os limites da zona de conforto adaptativo. Percebe-se que na maior parte do tempo a T_o do quarto de casal está acima do limite superior da zona de conforto, resultando em desconforto por calor para os usuários.

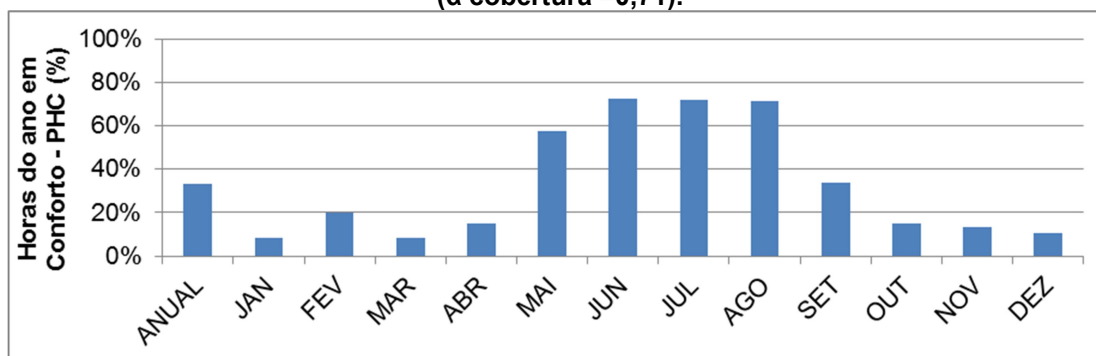
Gráfico 12 – Caso 2.1/Grupo 2 – Zona de Conforto Adaptativo – 12º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).



Fonte: A autora.

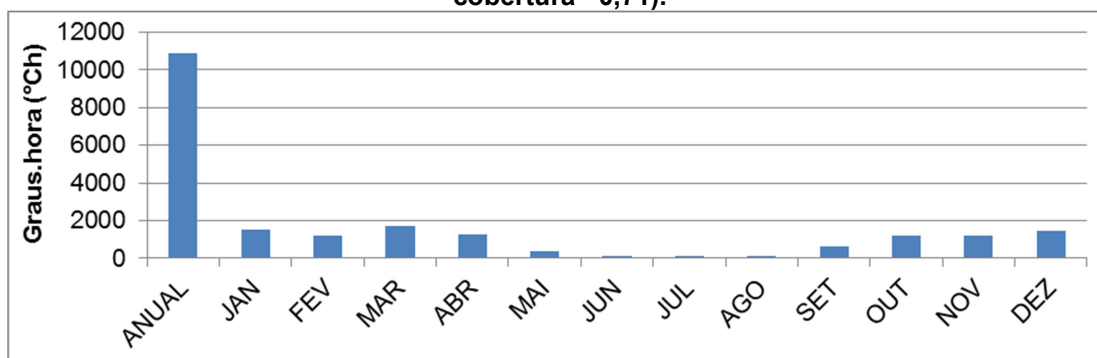
Nos meses de setembro a abril, entre 66,4% a 91,5% das horas do ano apresentaram desconforto (gráfico 13). Estes meses apresentaram em média 1267,3 °Ch (graus hora de resfriamento - GHR) (gráfico 14). Já os meses de maio a agosto (meses mais chuvosos e com temperatura mais amena) apresentaram menores somatórios de graus hora de resfriamento: 385,9°Ch, em média. O total anual de GHR para o Caso 2.1 foi de 10.895 °Ch.

Gráfico 13 – Caso 2.1/Grupo 2 – Percentual de Horas em Conforto (PHC) – 12º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).



Fonte: A autora.

Gráfico 14 – Caso 2.1/Grupo 2 – Graus Hora de Resfriamento (GHR) – 12º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).

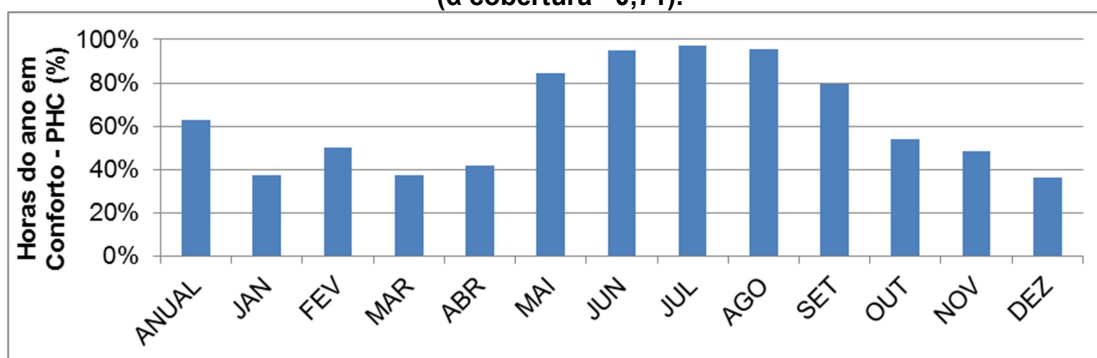


Fonte: A autora.

De acordo com o gráfico 13, durante oito meses (entre setembro e abril), o Percentual de Horas em Conforto para ventilação natural (PHC) é inferior a 20%, alcançando apenas 8,5% nos meses de janeiro e março. Entre maio e agosto, o PHC alcança valores maiores que 50%. Tais condições não se enquadram nos critérios estabelecidos para classificação mínima ($50\% \leq \text{PHC} < 60\%$), conforme definido na Metodologia. Portanto, o desempenho deste ambiente é classificado como Insuficiente.

A UH orientada a Oeste localizada no primeiro pavimento apresentou melhor desempenho em comparação àquela localizada no 12º andar, visto que a cobertura exposta do 12º pavimento tende a absorver mais calor para o ambiente. Os resultados mostraram que o 1º pavimento/Oeste apresentou temperaturas dentro da zona de conforto por mais tempo ao longo do ano (ver gráfico 15). Isso leva ao PHC que durante seis meses do ano (entre maio e outubro) foi superior a 50%. Nos demais meses (de novembro a abril) variou entre 36,2% e 49,8%, enquanto o PHC anual foi igual a 62,7% (gráfico 15).

Gráfico 15 – Caso 2.1/Grupo 2 – Percentual de Horas em Conforto (PHC) – 1º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).

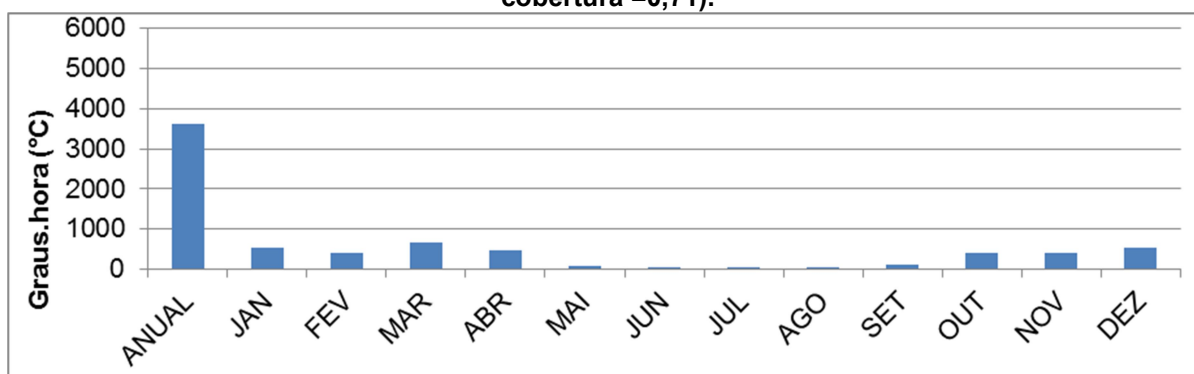


Fonte: A autora.

O valor anual do PHC garantiria a classificação Intermediária da UH no 1º andar ($60\% \leq \text{PHC} < 80\%$), porém, ao analisar as porcentagens mensais, dentre os meses mais quentes do ano (novembro a abril), percebe-se que a classificação é insuficiente. Esta edificação estaria reprovada quanto ao desempenho térmico para este caso.

Observando-se os somatórios de graus hora de resfriamento (GHR), o ambiente obteve GHR anual igual a 3.609,17 °Ch. Neste caso, entre maio e agosto, foram acumulados em média 26 °Ch/mês. O mês de março obteve GHR igual a 664,03 °Ch, verificando-se uma redução superior a 60% em comparação ao ambiente localizado no 12º pavimento (gráfico 16).

Gráfico 16 – Caso 2.1/Grupo 2 – Graus Hora de Resfriamento (GHR) – 1º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).

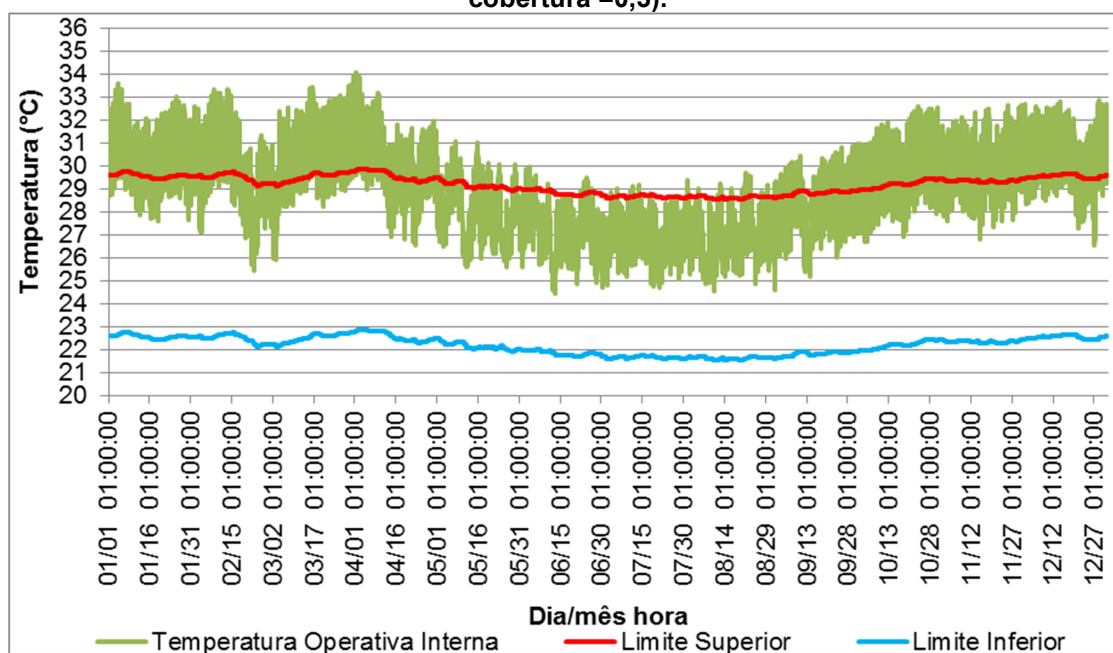


Fonte: A autora.

Percebe-se aqui a influência da coberta, superfície exposta diretamente à insolação, contribuindo para o aumento das temperaturas internas no ambiente estudado. A absorvância (α) das telhas utilizadas para as simulações na cobertura foi de 0,71, referente à telha escura com pouco acúmulo de sujeira. A fim de reduzir os ganhos de calor, a UH do 12º pavimento foi simulada novamente considerando-se a telha pintada de branco ($\alpha = 0,3$).

O gráfico 17 apresenta a variação da T_o do quarto de casal no 12º pavimento, com uso de telha pintada de branco.

Gráfico 17 – Caso 2.1/Grupo 2 – Zona de Conforto Adaptativo – 12º pavimento/Oeste (α cobertura =0,3).

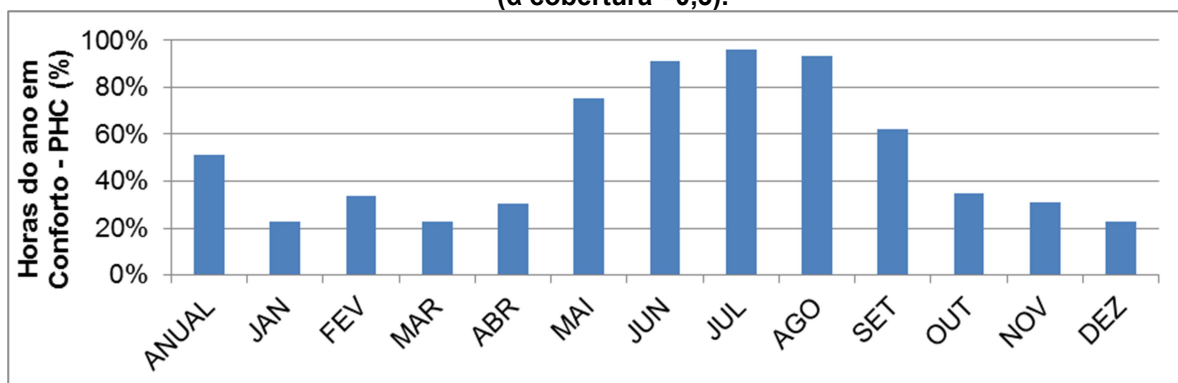


Fonte: A autora.

Percebe-se que as suas temperaturas operativas (T_o) horárias ao longo do ano deslocaram-se para baixo em relação ao gráfico 12 (mesma UH/Oeste, porém sem pintura branca na telha), ficando mais tempo dentro da Zona de Conforto.

Observando o gráfico 18, percebe-se que o PHC está abaixo de 50% de outubro a abril, variando de 61,9% e 96,2% nos meses de maio a setembro. O PHC anual chegou a 51,3%. Este resultado é Insuficiente dentro da classificação de conforto, devido aos meses mais quentes (novembro a abril) estarem fora da zona de conforto. Faz-se necessário salientar a importância da classificação estar relacionada com os seis meses mais quentes do ano e não com a média anual. Neste caso, a média anual estaria dentro da classificação Mínima, porém durante os meses mais quentes do ano o PHC variou entre 22,8% e 31,2%, o que representa um alto índice de ocorrência de desconforto.

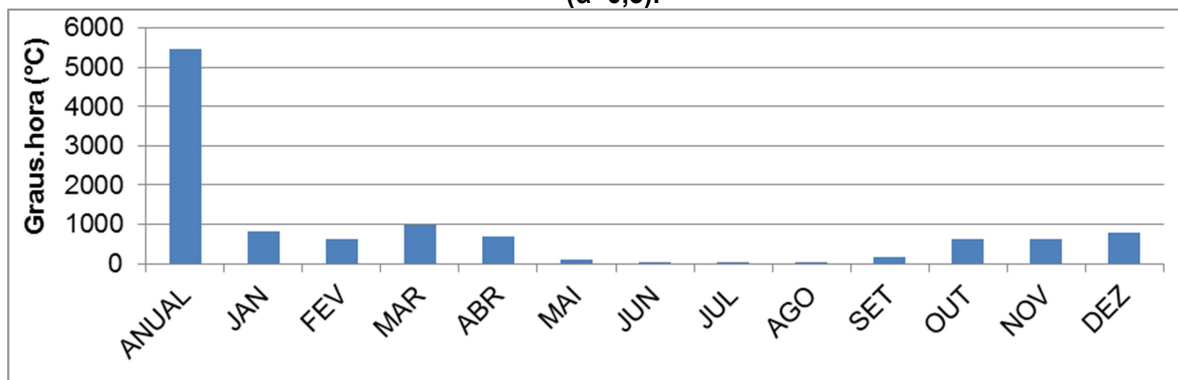
Gráfico 18: Caso 2.1/Grupo 2 – Percentual de Horas em Conforto (PHC) – 12º pavimento/Oeste (α cobertura =0,3).



Fonte: A autora.

Com relação ao calor acumulado no período de um ano, com a telha clara obteve-se GHR de 5.449,20 °Ch, uma redução de 50% em relação ao 12º pavimento simulado com telha escura ($\alpha = 0,71$) (gráfico 19).

Gráfico 19: Caso 2.1/Grupo 2 – Graus Hora de Resfriamento (GHR) – 12º pavimento/Oeste ($\alpha=0,3$).



Fonte: A autora.

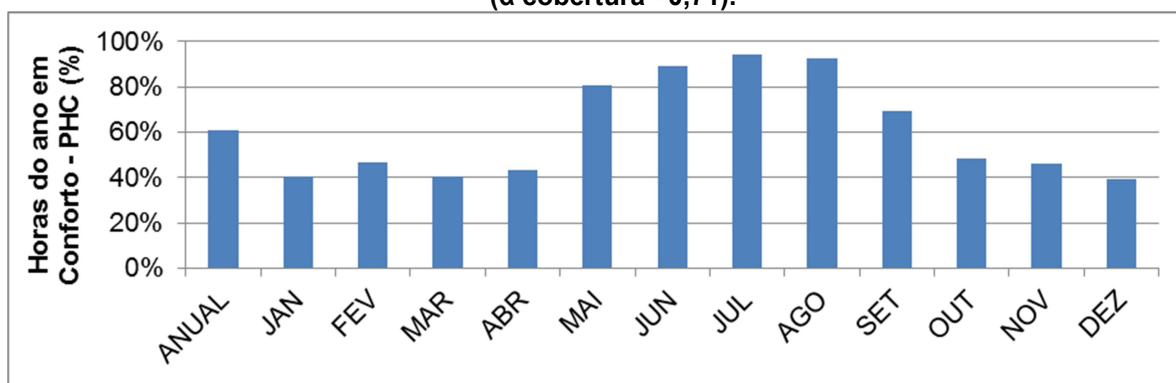
b. Ambiente orientado a Leste

O ambiente localizado no 12º pavimento, quando orientado a Leste, apresentou desempenho superior em relação ao oeste (ambos com telha escura) resultando em menor acúmulo de calor por GHR e maior PHC.

O gráfico 20 mostra que o PHC anual dessa simulação foi de 60,6%, um acréscimo de 29,4% nas horas em conforto em relação ao ambiente localizado no 12º pavimento orientado a oeste. Entre outubro e abril o PHC mensal variou de 39,5% a 48,4. Verificou-se, também em relação ao oeste, uma redução de 51,3% no somatório de graus hora de resfriamento (gráfico 21), com um valor anual de 5.305,9 °Ch, variando de 14,4 °Ch em julho a 943,7 °Ch em março.

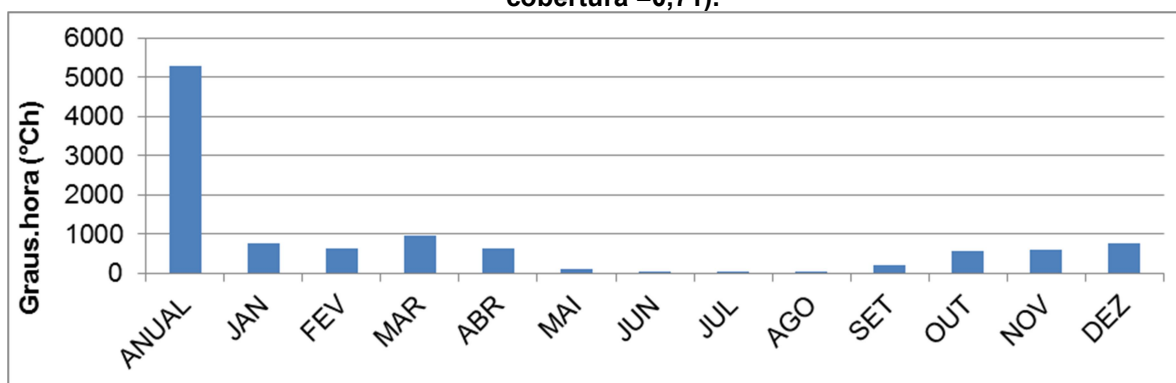
Tais resultados correspondem a uma classificação com nível Insuficiente de desempenho térmico pois durante os meses mais quentes do ano (de novembro a abril) o PHC é inferior a 50%.

Gráfico 20 – Caso 2.1/Grupo 2 – Percentual de Horas em Conforto (PHC) – 12º pavimento/Leste (α cobertura =0,71).



Fonte: A autora.

Gráfico 21 – Caso 2.1/Grupo 2 – Graus Hora de Resfriamento (GHR) – 12º pavimento/Leste (α cobertura =0,71).



Fonte: A autora.

Com relação aos resultados obtidos para o ambiente situado no primeiro pavimento, orientado a leste, como esperado, verificou-se um desempenho térmico mais favorável. O total anual de GHR foi 2342,5 °Ch. No mês de julho, o valor registrado é

0,04°C/h e o valor máximo encontrado é de 445,88 °Ch no mês de março. O PHC anual dessa simulação atingiu o valor de 75,9% e em todos os meses do ano foram registrados percentuais acima de 50% das horas em conforto. Isoladamente, este ambiente obteve classificação mínima. Entretanto, em função dos resultados obtidos para o ambiente orientado a Oeste no 12º pavimento, o edifício simulado para o Caso 2.1 obteria classificação insuficiente.

4.3.1.2 Grupo 2: Caso 2.2: Ventilação natural + janela aberta 24h/dia

O Caso 2.2, que emprega exclusivamente de ventilação natural como estratégia de resfriamento, permanece com janelas e portas abertas 24 horas por dia (quadro 14).

Quadro 14 – Caso 2.2/Grupo 2 – Estratégia para resfriamento do ambiente, h/dia.

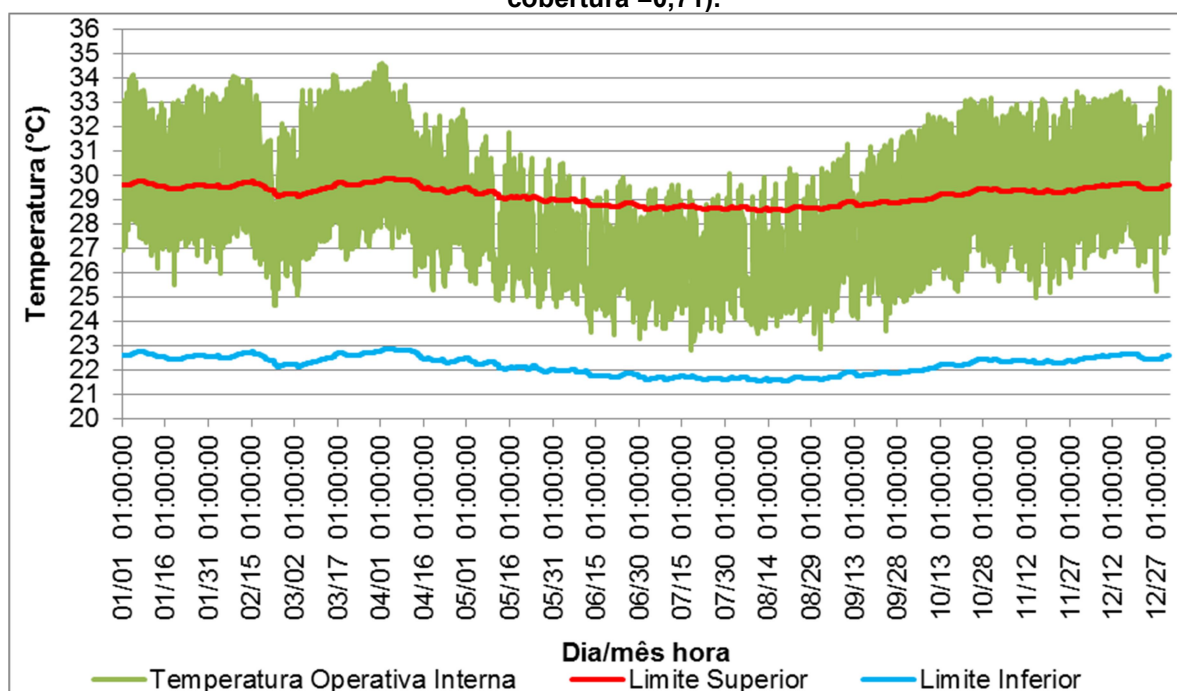
Hora (h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Tipo de resfriamento	VN (JA/PA)																							
Legenda:	AC	Ar condicionado							VN	Ventilação natural							JF	Janela Fechada						
	PF	Porta Fechada							JA	Janela Aberta							PA	Porta Aberta						

Fonte: A autora.

a. Ambientes orientados a Oeste

De acordo com o gráfico 22, observa-se que a temperatura operativa (To) do ambiente estudado enquadra-se na zona de conforto com maior frequência ao longo de todo o ano do que na mesma UH simulada para o Caso 2.1.

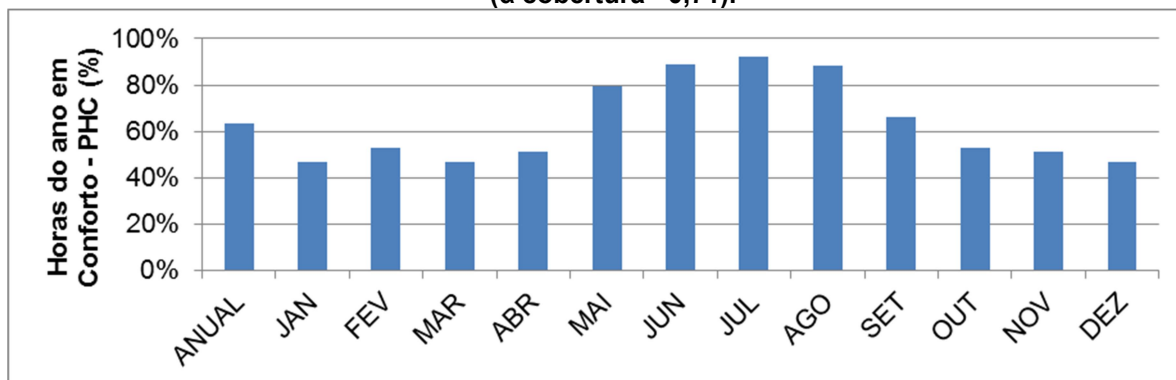
Gráfico 22 – Caso 2.2/Grupo 2 – Zona de Conforto Adaptativo – 12º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).



Fonte: A autora.

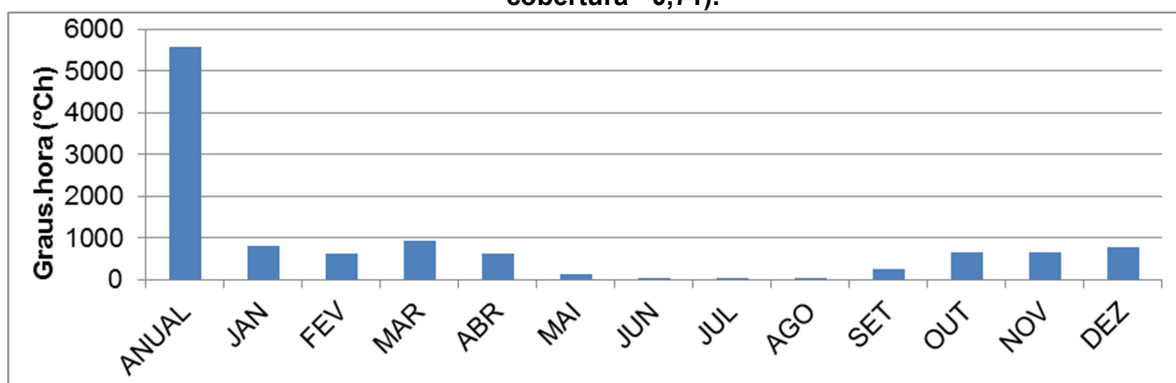
O PHC obteve 62,41% das horas do ano em conforto, com apenas três meses apresentando PHC menores que 50% (janeiro, março e dezembro). Os outros nove meses tiveram PHC variando entre 51,1% e 92,1%, como mostra o gráfico 23. Quanto ao GHR anual foi de 5572,43 °Ch, variando de 25,78 °Ch em julho a 931,28 °Ch em março (gráfico 24). O GHR anual apresentou uma redução de 48,8% em relação ao ambiente oeste situado no 12º pavimento simulado no Caso 2.1.

Gráfico 23 – Caso 2.2/Grupo 2 – Percentual de Horas em Conforto (PHC) – 12º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).



Fonte: A autora.

Gráfico 24 – Caso 2.2/Grupo 2 – Graus Hora de Resfriamento (GHR) – 12º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).



Fonte: A Autora.

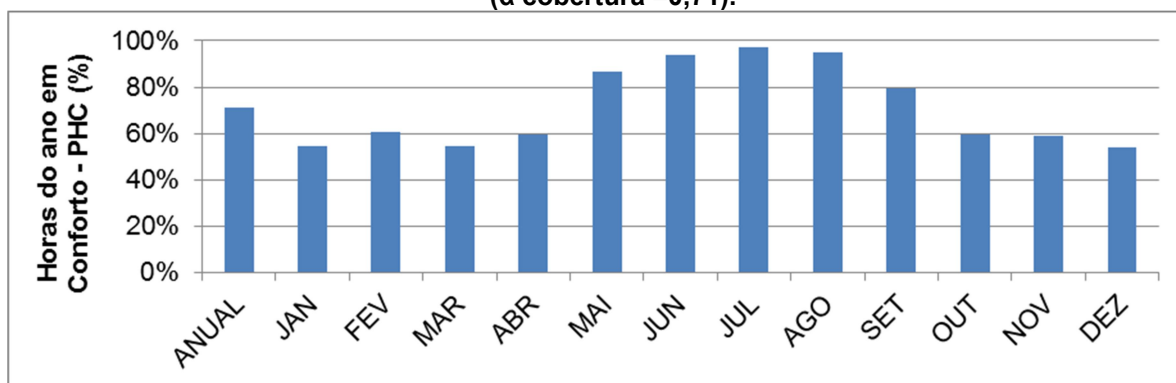
Observa-se que os percentuais mensais das horas em conforto são inferiores a 50% durante os meses de dezembro, janeiro e março, resultando no desempenho insuficiente.

O ambiente do 1º pavimento/Oeste apresentou GHR anual de 2141,07 °Ch, uma redução superior a 50% em relação ao ambiente localizado no 12º pavimento. Já o PHC anual alcançou 77,39%, em todos os meses registrando-se mais de 60% das horas em conforto. De acordo com tais resultados, este ambiente obteria a classificação intermediária.

b. Ambientes orientados a Leste

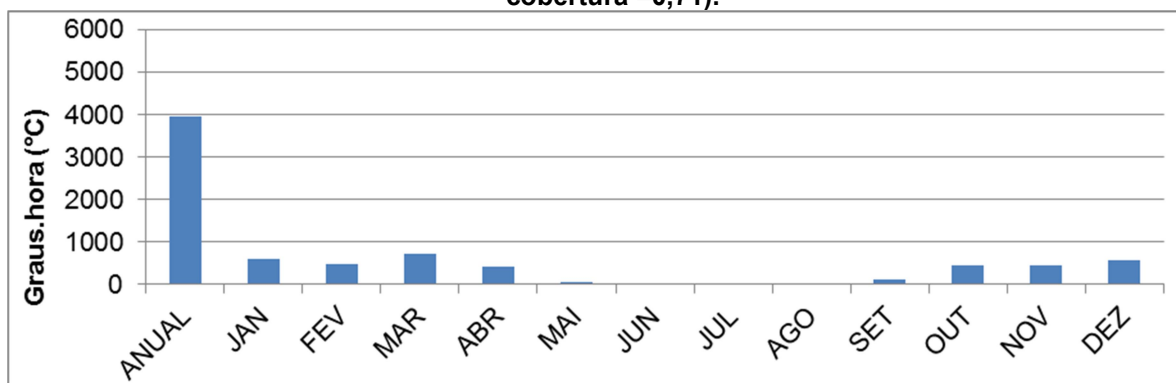
Conforme esperado, partindo da existência de incidência direta dos ventos leste, sudeste e nordeste, os ambientes orientados a Leste apresentaram resultados mais favoráveis do que na orientação Oeste. No 12º pavimento verificou-se uma diminuição de 28,8% no GHR anual em relação à UH Oeste, obtendo-se 3968,12 °Ch (gráfico 26). Também comparado com a UH Oeste o PHC aumentou 7,5%, atingindo 70,96% das horas do ano e todos os meses obtiveram PHC maior que 50% (gráfico 25), classificando-se como desempenho mínimo.

Gráfico 25 – Caso 2.2/Grupo 2 – Percentual de Horas em Conforto (PHC) – 12º pavimento/Leste (α cobertura =0,71).



Fonte: A Autora.

Gráfico 26 – Caso 2.2/Grupo 2 – Graus Hora de Resfriamento (GHR) – 12º pavimento/Leste (α cobertura =0,71).



Fonte: A Autora.

O ambiente localizado no primeiro pavimento, orientado a leste, obteve GHR anual igual a 1875,11 °Ch. Seu PHC atingiu 80,53% no ano e o menor valor mensal registrado foi de 65,19% em março, o que lhe confere uma classificação Intermediária. Entretanto, a classificação da edificação simulada no Caso 2.2, com 24 horas de ventilação natural, seria Insuficiente, devido ao PHC encontrado no 12º pavimento/Oeste.

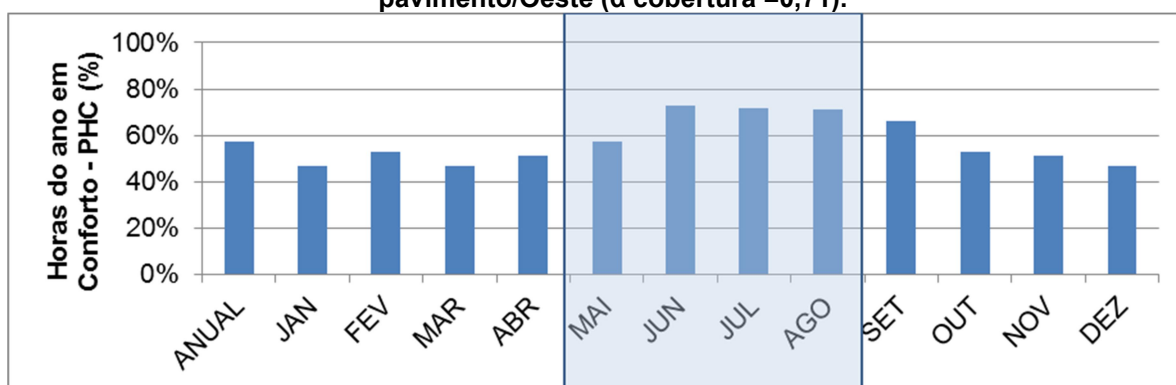
No Caso 2.1/Telha escura, a edificação obteve classificação Insuficiente. Empregando-se uma absorvância mais baixa na telha (cor branca), a edificação obteve resultados melhores, porém, permaneceu com classificação Insuficiente, por apresentar

PHC menor que 50% em mais da metade do ano (durante sete meses). No caso 2.2, ao considerar a permanência das janelas abertas durante as 24 horas do dia, há um aumento do PHC e diminuição dos GHR beneficiando o desempenho da edificação, que alcançou nível Mínimo.

Essa diferença encontrada nos resultados e, conseqüentemente, na classificação de desempenho de algumas UHs dos Casos 2.1 e 2.2, era esperada tendo em vista a possibilidade de resfriamento da ventilação noturna. Entretanto, restrições à ventilação noturna se impõem devido a questões de segurança e privacidade, de modo que os usuários podem ter restrições a permanecer com janelas e portas abertas durante todo o dia, o ano todo. Além disso, mesmo que os usuários considerem dormir com as janelas abertas, nos períodos chuvosos do ano essa condição pode ser alterada. Devido aos mais variados hábitos familiares possíveis para cada usuário das UHs, a consideração de fatores como clima e segurança devem ser levados em conta para avaliar a eficácia da ventilação.

Sendo assim, foi elaborado o gráfico 27 onde constam os resultados de uma configuração alternativa, na qual as janelas foram fechadas à noite, tal qual o Caso 2.1, durante os meses chuvosos e com temperaturas mais amenas (maio a agosto), mantendo-se a janela aberta por 24 horas nos demais meses, condição representada pelo Caso 2.2. Foi considerada a situação mais desfavorável, ambiente situado no 12º pavimento orientado a oeste, com telha escura.

Gráfico 27 – Mescla do Caso 2.1 e 22/Grupo 2 – Percentual de Horas em Conforto (PHC) – 12º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).



Fonte: A Autora.

Nessas condições de uso da edificação, o ambiente melhorou suas condições em relação ao caso 2.1, o PHC anual de aproximadamente 57%, mantendo PHC acima de 50% em nove dos doze meses do ano. Contudo, nos meses de janeiro, março e dezembro, o PHC contabilizou aproximadamente 46% das horas do mês, mantendo o desempenho térmico classificado como Insuficiente. Entretanto, atenta-se que pode ser trocada a absorvância a telha de cor branca, o que garantiria melhores valores de PHC e a possibilidade de classificação Mínima.

Portanto, o fator do uso das esquadrias na habitação, quanto a sua abertura e fechamento pelos usuários, pode ser uma questão importante para a classificação da edificação quanto ao conforto térmico.

4.3.1.3 Análise comparativa entre os grupos 1 e 2 (Casos 1 e 2) – apenas ventilação natural.

A comparação entre os grupos 1 e 2 é realizada apenas nos casos onde há uso exclusivo de ventilação natural (casos 1 e 2 de cada grupo), visto que a NBR 15575/2013 não considera o uso de condicionadores de ar para classificação do desempenho térmico das edificações residenciais.

Através da aplicação de estratégias de projeto arquitetônico apropriadas, é possível tornar o ambiente interno mais confortável, evitando o consumo excessivo de energia com climatização artificial. Para isso, é necessário que exista uma aproximação entre a simulação e a realidade de uso da edificação (padrões de uso, equipamentos e iluminação).

Através dos dados requeridos pela NBR 15575/2013, mesmo com a edificação alcançando o desempenho mínimo, não é possível avaliar as condições do conforto do ambiente interno. Essa afirmação baseia-se no fato de que a norma não considera o usuário e seu comportamento dentro da edificação. Dentre as simulações do Grupo 1, os resultados requeridos pela NBR 15575 referem-se ao 12º pavimento orientado a oeste. Verificou-se que após a mudança de cor da telha, a edificação seria aprovada com desempenho Mínimo. Contudo, não é possível visualizar de que maneira tal resultado beneficia o conforto dos usuários.

A NBR 15575 cita que o seu foco “está nas exigências dos usuários para o edifício habitacional e seus sistemas quanto ao seu comportamento em uso” (ABNT, 2013a). Entretanto a edificação passa a ter bom desempenho ao se comprovar o alcance de limites fixos de temperatura, independente do padrão de uso e ocupação que possa ter. Por outro lado, a abordagem adaptativa de conforto para edificações com uso exclusivo de ventilação natural coloca o usuário como ponto de partida, possibilitando verificar o impacto das modificações no projeto arquitetônico sobre as condições ambientais internas, tais como modificação do material utilizado na fachada, dimensionamento das aberturas e das proteções solares e/ou a localização da UH no pavimento tipo, bem como locação das aberturas de entrada e saída da ventilação.

Nas análises do Grupo 2, Casos 2.1 e 2.2, destaca-se a possibilidade de avaliação não apenas da temperatura interna do ambiente, mas também do tempo em que os usuários

serão submetidos a condições de conforto ou desconforto. Tais dados mostraram que, mesmo quando o ambiente alcançou um PHC anual acima de 50% (desempenho mínimo), o PHC mensal manteve-se abaixo desse limite durante os meses mais quentes. Ou seja, o valor anual camuflou uma situação de desconforto que existia em alguns casos na maior parte do ano. Para conseguir visualizar esse comportamento é preciso obter dados mais detalhados do que os exigidos pela NBR 15575/2013.

Outra questão é a ausência de quaisquer cargas internas no ambiente de simulação proposto pela Norma, aqui exemplificada pelo Grupo 1. Foi visto que o ambiente do 12º pavimento orientado a oeste, com uso de telha branca, foi aprovado pela norma com desempenho mínimo. Entretanto, apenas adicionando as cargas térmicas internas ao ambiente (pessoas, iluminação e equipamentos – seguindo os padrões de uso e ocupação adotados nesta pesquisa) o mesmo ambiente obtém classificação insuficiente. Percebeu-se que a ausência de cargas internas do Grupo 1 pode facilitar o alcance do desempenho mínimo pela edificação, mas distancia o ambiente estudado da realidade de uso.

4.3.1.4 Grupo 2: Caso 2.3: Ventilação natural (6h – 22h) + Ar condicionado (22h – 6h)

No Caso 2.3, o ambiente faz uso do ar condicionado das 22h às 6h, quando a janela e a porta são abertas, permitindo o uso da ventilação natural, exposto o quadro 15.

Quadro 15 – Caso 2.3 (Grupo 2) – Estratégia para resfriamento do ambiente, h/dia.

Hora (h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Tipo de resfriamento	AC (JF/PF)						VN (JA/PA)																AC (JF/PF)	
Legenda:	AC	Ar condicionado					VN	Ventilação natural					JF	Janela Fechada										
	PF	Porta Fechada					JA	Janela Aberta					PA	Porta Aberta										

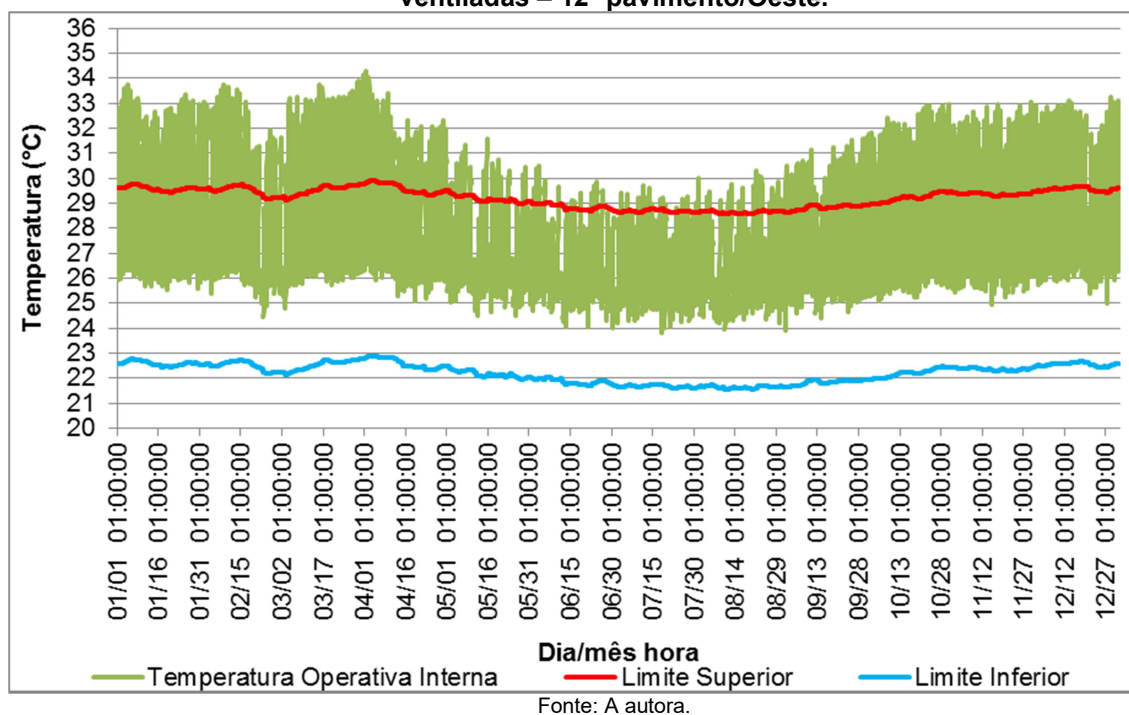
Fonte: A autora.

Para atribuir a classificação de desempenho de acordo com os critérios estabelecidos para o Grupo 2, é necessário analisar as horas ventiladas e as artificialmente condicionadas em separado. No Caso 2.3, têm-se um total de 2920 horas anuais com uso de ar condicionado e 5840 horas com ventilação natural.

O gráfico da zona de conforto (vide gráfico 11) é utilizado como referência para a avaliação do desempenho da edificação naturalmente ventilada para as 16 horas diárias nas quais esta estratégia é utilizada. Para analisar o conforto no ambiente durante o período de uso do ar condicionado, foi utilizado o método do Voto Predito, descrito na metodologia. Após identificar o mês com maior temperatura média do ar (mês de março), os índices PMV/PPD foram calculados, quantificando-se em quantas horas do mês, dentre as horas artificialmente condicionadas, o ambiente apresentaria um percentual de pessoas insatisfeitas (PPD) menor que 20%. Esse cálculo refere-se portanto ao percentual de horas em conforto, com uso do ar condicionado (PHC/AC).

O gráfico 28 mostra que a T_o do ambiente, durante as horas naturalmente ventiladas, apresenta uma amplitude térmica maior do que no Caso 2.1., devido ao uso ar condicionado, deslocando o gráfico para dentro da zona de conforto.

Gráfico 28 – Caso 2.3/Grupo 2 – Zona de Conforto Adaptativo para horas do ano naturalmente ventiladas – 12º pavimento/Oeste.



O gráfico 29 demonstra que somatório anual de graus hora de resfriamento (GHR) foi igual a 4728,78 °Ch, obtendo-se uma redução de 56,6% em relação ao Caso 2.1 e de 15,14% em relação ao caso 2.2, ambos com telha escura. O PHC (gráfico 30) referente às horas ventiladas do ano foi igual a 69%, obtendo-se no mínimo 57% de horas em conforto em todos os meses do ano. Dentre as simulações feitas para o 12º pavimento/Oeste, apenas os casos com uso de ar condicionado conseguiram atingir mais de 50% das horas naturalmente ventiladas de cada mês em conforto.

Gráfico 29 – Caso 2.3/Grupo 2 – Graus Hora de Resfriamento (GHR) – 12º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).

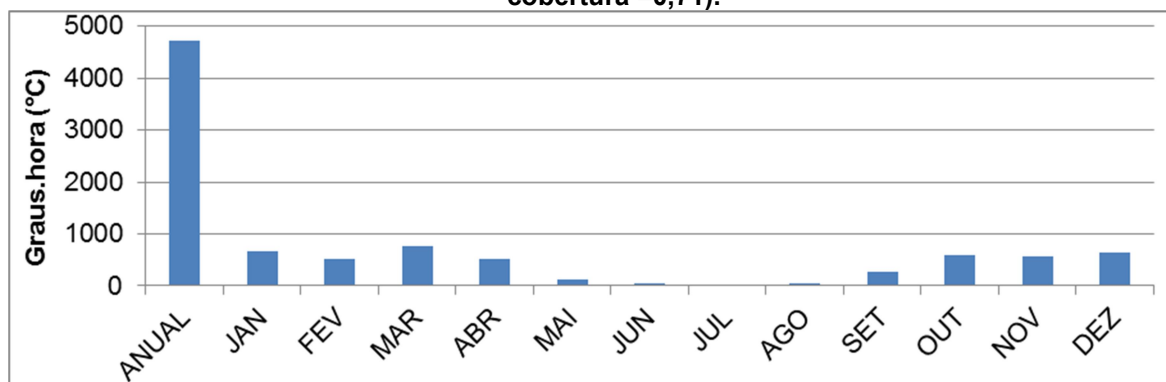
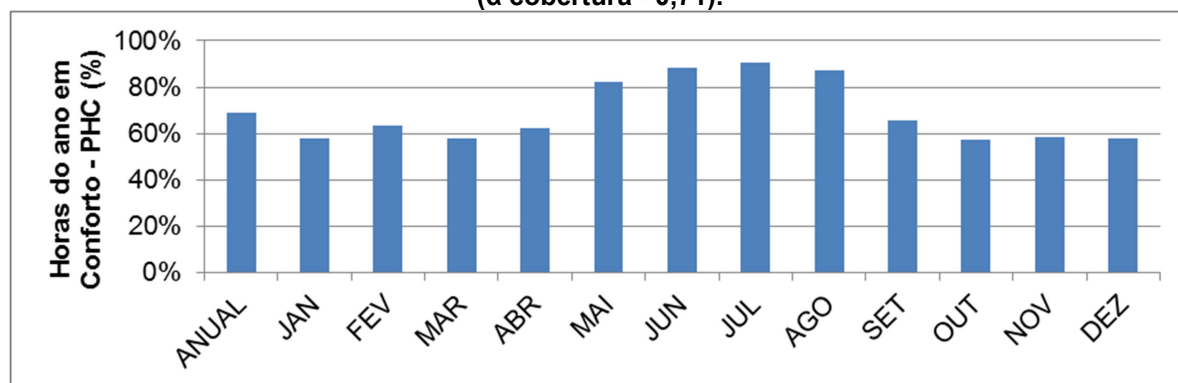


Gráfico 30 – Caso 2.3/Grupo 2 – Percentual de Horas em Conforto (PHC) – 12º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).



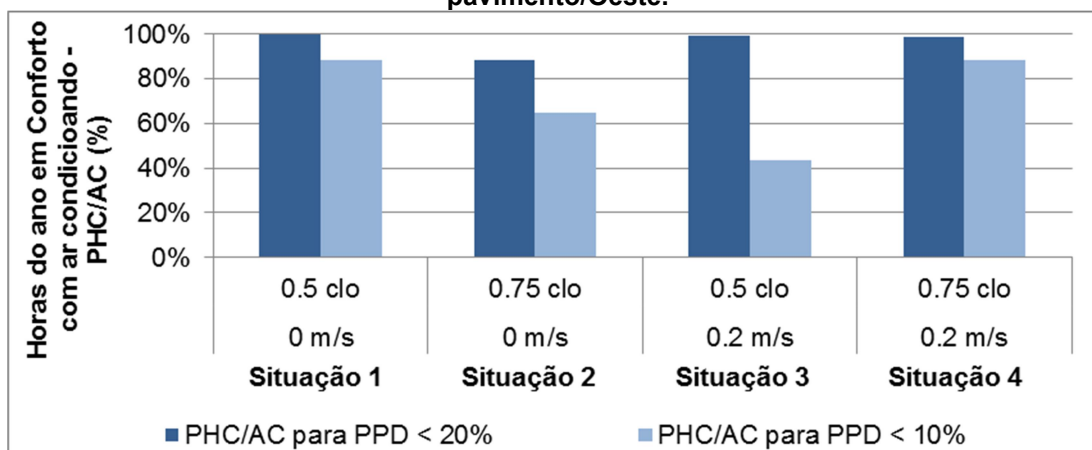
Fonte: A Autora

No 1º pavimento/Oeste os graus hora de resfriamento reduziram para 2549,10 GHR e o PHC anual sobe para 74,57% das horas naturalmente ventiladas. Todos os meses registraram valores acima de 50%, garantindo classificação Mínima. Nas UHs orientadas a leste, o PHC anual permanece acima dos 70% (70,75% para o 1º e 72% para o 12º pavimento), com todos os meses registrando valores de PHC > 50%. Esses resultados também atendem ao desempenho Mínimo ($50\% < \text{PHC} \leq 60\%$).

Todas as simulações do Caso 2.3 apresentaram comportamento similar ao registrado no gráfico 28, a T_o deslocou-se para o centro do gráfico. Durante o período de funcionamento do aparelho de ar condicionado o ambiente mantém a temperatura controlada. Foi adotado 24°C como temperatura de *setpoint* do ar condicionado para as simulações. Isso significa que durante o uso desse equipamento, a temperatura do ambiente é conservada abaixo desse valor. Ao desligar o aparelho às 6h as janelas são abertas, iniciando o período de ventilação natural. O quarto começa a aquecer gradativamente, devido às trocas de calor com o exterior. Às 22h o aparelho é ligado novamente, reiniciando o ciclo.

Os percentuais de horas do ano em conforto, com uso do ar condicionado (PHC/AC) estão apresentados no gráfico 31. Foram consideradas: uma situação de calma, com ausência de velocidade do ar e outra com velocidade de 0,2 m/s. Também se considerou o uso de vestimenta equivalente a 0,5 clo e 0,75 clo, totalizando 4 situações. Para uma melhor compreensão das diferenças entre essas situações, foi calculado o PHC/AC considerando-se como limites de conforto o alcance do percentual de pessoas insatisfeitas (PPD) inferior a 20% e também PPD < 10%. Entretanto, vale ressaltar que para classificação de desempenho desta pesquisa apenas o PPD < 20% é considerado.

Gráfico 31 – Caso 2.3/Grupo 2 – PHC das horas com ar condicionado (AC) – 12º pavimento/Oeste.



Fonte: A Autora

No gráfico 31, com ocorrência de calma (velocidade do ar nula), foram obtidas 100% das horas em conforto com vestimenta de 0,5 clo e 88,31% com vestimenta 0,75 clo. Todas as situações mantiveram-se com PHC/AC acima de 80% para PPD<20%. Entretanto, quanto a exigência do PPD<10%, a situação 3 obteve PHC/AC de 43,55%, sendo o pior resultado e 88,31% nas situações 1 e 4, como os melhores resultados. Os valores do gráfico garantiram o desempenho Superior para as horas com ar condicionado nas situações 1, 2 e 4, bem como desempenho intermediário na situação 3.

O conforto para os momentos de uso do ar condicionado dependem da temperatura de *setpoint* escolhida, da velocidade do ar e das vestimentas. Sabe-se que, numa residência, o aparelho de ar condicionado pode ser ajustado pelos usuários para adaptar-se às suas necessidades específicas. Em casa, o morador pode agasalhar-se com mantas ou agasalhos em caso de desconforto por frio ou ajustar a temperatura de *setpoint* de acordo com sensações térmicas. Esses fatores contribuem para que o uso do ar condicionado em residências seja um meio de conseguir elevar o nível de conforto ao máximo. Contudo, para alcançar esta condição, há um aumento do consumo de energia, causando um impacto no orçamento familiar.

4.3.1.5 Grupo 2: Caso 2.4: Desempenho da Ventilação natural e Ar condicionado (12 horas/dia).

Para o caso 2.4, o quadro 16 apresenta a visualização dos horários em que o ar condicionado está ligado, totalizando o uso do aparelho em 12 horas/dia, sendo 8h durante a noite e 4h durante à tarde. Nas outras 12 horas/dia foi utilizada a ventilação natural, o que significa 4.380 horas do ano em que o ambiente faz uso de cada estratégia.

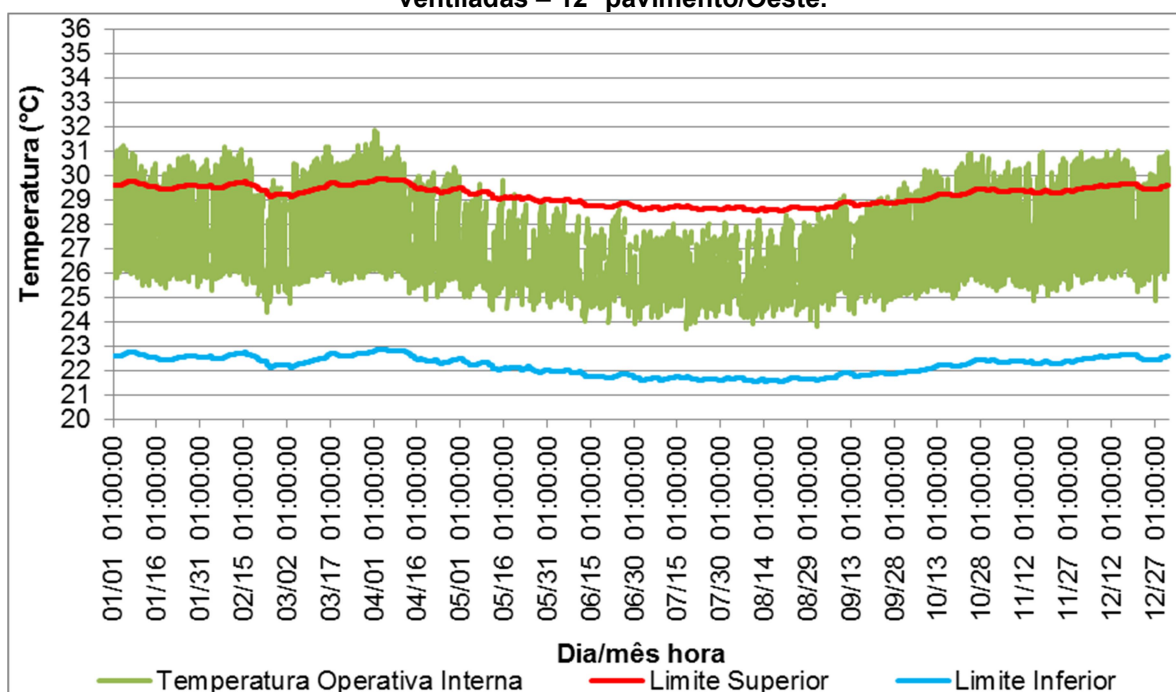
Quadro 16 – Caso 2.4 (Grupo 2) – Estratégia para resfriamento do ambiente, h/dia.

Hora (h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Tipo de resfriamento	AC (JF/PF)						VN (JA/PA)						AC (JF/PF)			VN (JA/PA)				AC (JF/PF)				
Legenda:	AC	Ar condicionado					VN	Ventilação natural					JF	Janela Fechada										
	PF	Porta Fechada					JA	Janela Aberta					PA	Porta Aberta										

Fonte: A Autora

O estudo do Caso 2.4, assim como aconteceu com no Caso 2.3, foi realizado em duas partes: análise das horas naturalmente ventiladas através do Gráfico da Zona de Conforto e das horas artificialmente condicionadas pelo método do Voto Predito.

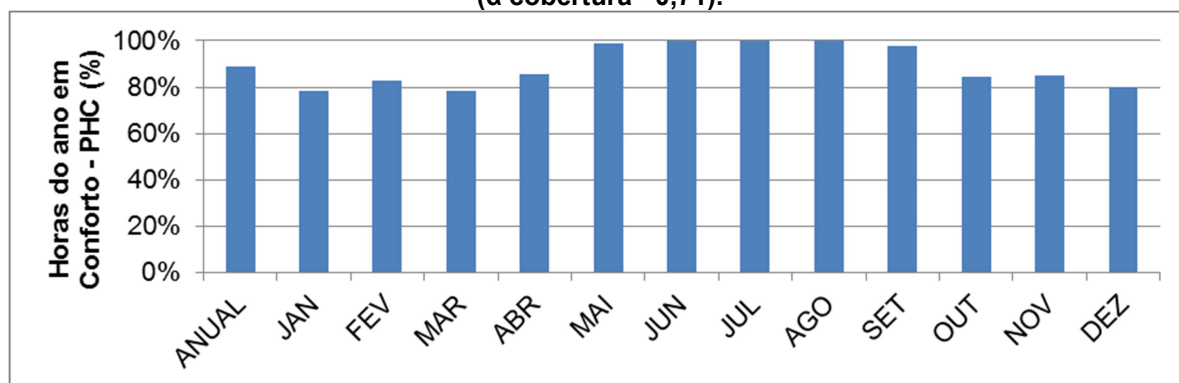
No gráfico 32, referente ao 12º pavimento orientado a oeste, pode-se analisar as horas naturalmente ventiladas. Observa-se que a temperatura operativa (T_o) enquadra-se predominantemente dentro da zona de conforto.

Gráfico 32 – Caso 2.4/Grupo 2 – Zona de Conforto Adaptativo para horas do ano naturalmente ventiladas – 12º pavimento/Oeste.

Fonte: A Autora

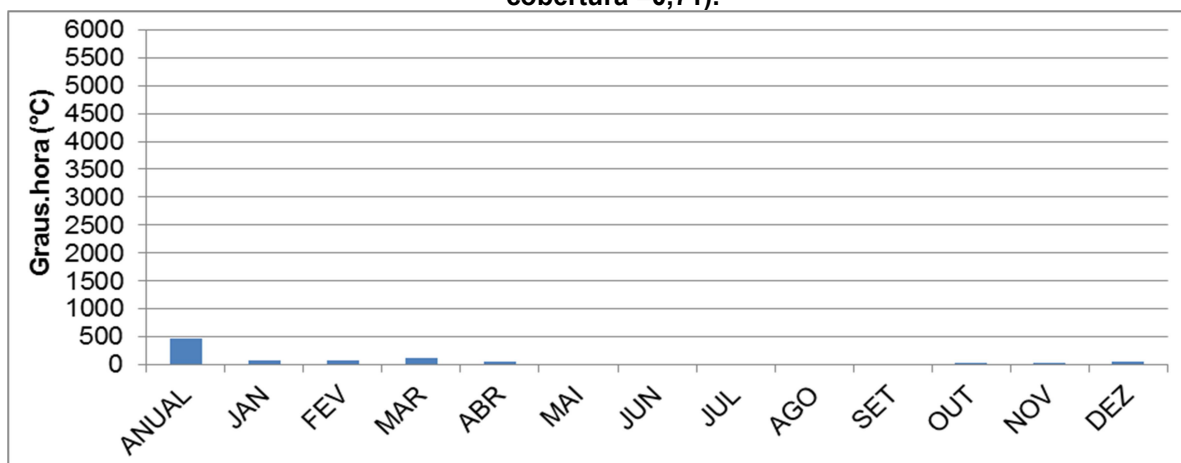
Foram registrados os menores valores de GHR em relação a todos os outros casos, dentre as horas ventiladas naturalmente, com o total de 460,53 GHR/ano (gráfico 34). Destaca-se que nos meses de junho, julho e agosto alcançaram-se 100% das horas em conforto. O gráfico 33 mostra o PHC das horas ventiladas, com valor anual de 89,13% das horas em conforto. O menor PHC mensal registrado foi de 78,36% em janeiro e março.

Gráfico 33 – Caso 2.4/Grupo 2 – Percentual de Horas em Conforto (PHC) – 12º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).



Fonte: A Autora

Gráfico 34 – Caso 2.4/Grupo 2 – Graus Hora de Resfriamento (GHR) – 12º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).



Fonte: A Autora

Para o 1º pavimento/Oeste registrou-se 131,77 GHR no ano, com PHC anual de 97,07%. O 12º pavimento/Leste acumulou 434,91 GHR e obteve PHC anual de 91,30%, apenas 2,17% acima da UH 12º/Oeste. Já o 1º pavimento/Leste, UH termicamente mais favorecida por sua localização na edificação e orientação quanto a posição solar, teve 100% de horas em conforto durante todo o ano.

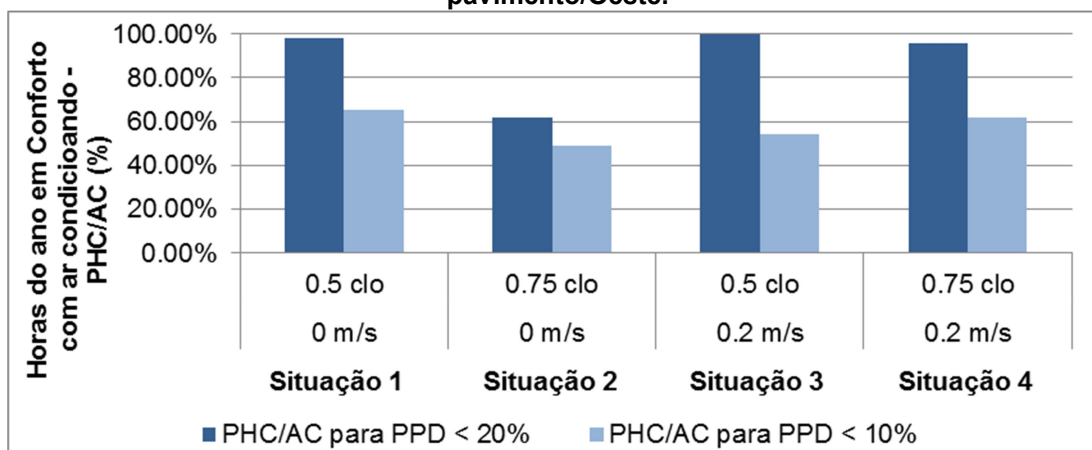
Apesar do resultado de PHC ser o melhor dentre todos os casos analisados, com classificação Intermediária, o consumo de energia é o maior registrado, como é tratado no item 4.3.2.6.

A melhora dos resultados do percentual de horas em conforto deste caso pode ser tida como um comportamento previsível ao considerar-se que durante a metade das horas do dia o ambiente é resfriado artificialmente a uma temperatura de *setpoint* de 24 °C. No início do dia, às 6h da manhã, após a abertura da janela e da porta, o ambiente começa a aquecer através das trocas de calor com o exterior. O aparelho de ar condicionado é ligado às 13h e desligado às 17h, resfriando o ambiente com a retirada do calor acumulado

durante o período em que houve unicamente ventilação natural. Ao reabrir portas e janelas, a temperatura do ambiente volta a aumentar até às 22h, quando o ar condicionado é religado, reiniciando o ciclo no dia seguinte.

Para avaliar o período com uso do ar condicionado, o gráfico 35 mostra os resultados da percentagem de horas do ano em conforto (PHC/AC). Assim como no Caso 2.3, aqui também foram analisadas quatro situações variando a velocidade do ar (velocidade nula e 0,2m/s) e a vestimenta (0,5clo e 0,75clo).

Gráfico 35 – Caso 2.4/Grupo 2 – PHC das horas com ar condicionado (AC) – 12º pavimento/Oeste.



Fonte: A Autora

Percebe-se que os resultados obtidos neste caso 2.4 foram menos confortáveis que no Caso 2.3, para as situações propostas. Com $PPD < 20\%$ o percentual de horas em conforto (PHC/AC) variou entre 61,83% na situação 2 e 99,73% na situação 3. Para o $PPD < 10\%$ a variação do PHC/AC foi de 48,92% na situação 2 e 65,32% na situação 1.

Com o ar condicionado programado para a temperatura de *setpoint* 24°C, com velocidade do ar nula e vestimenta equivalente a 0,5clo obtém-se o nível superior de conforto (situação 1). Para uma vestimenta equivalente a 0,75clo, o nível de conforto cai para o Mínimo (situação 2). Considerando a velocidade de 0,2m/s, com a vestimenta mais leve (0,5clo) obtém-se classificação Intermediária, enquanto com a vestimenta de 0,75clo, obtém-se nível Superior. Na Situação 4, isso aconteceu porque sob maior velocidade do ar, a sensação de frio aumenta, sendo necessário vestir um agasalho ou cobrir-se com uma manta. Já na situação 2, como não há movimento do ar, é necessário vestir roupas mais leves para aumentar o conforto, sendo 0,75clo desnecessário. Para a situação 2 vale salientar que o período em desconforto acontece todas as tardes, quando a temperatura externa do ar está mais elevada.

A classificação para o período com uso de ar condicionado e também para o período com ventilação natural foi de nível Superior para o Caso 2.4. Entretanto, a

classificação de desempenho satisfatória nesses casos está associada ao aumento do consumo de energia da edificação.

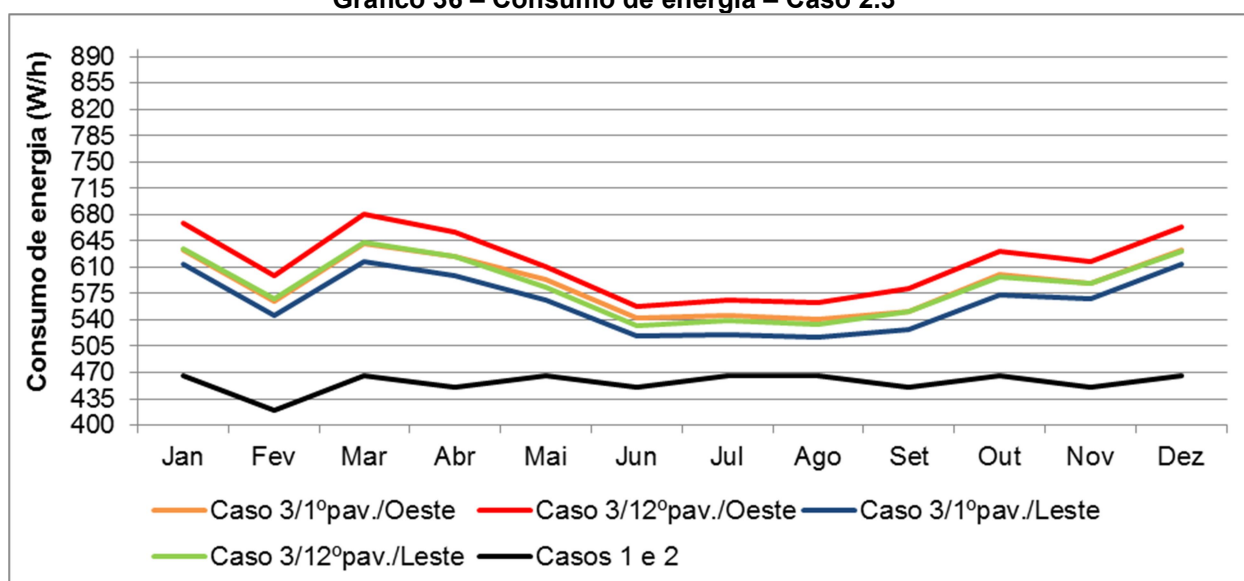
4.3.1.6 Análise comparativa entre os Casos 2.3 e 2.4: desempenho x energia.

Entre os casos que fazem uso do aparelho de ar condicionado (Casos 2.3 e 2.4), destaca-se o alto nível de conforto quando comparado com os casos onde há apenas ventilação natural. Entretanto, convém atentar que para alcançar esses níveis de conforto foi necessário consumir maior quantidade de energia elétrica.

O gráfico 36 mostra o consumo de energia por mês para cada UH analisada no Caso 2.3 em comparação com o consumo registrado nos casos 2.1 e 2.2. O gráfico refere-se à UH como um todo, apesar das análises de desempenho térmico restringirem-se ao quarto de casal. Isso significa considerar equipamentos e iluminação artificial, bem como aparelho de ar condicionado nos dois quartos, como já definido no capítulo 4.

Nos dois casos onde há exclusivamente uso de ventilação natural, o consumo de energia é restrito aos eletrodomésticos e equipamentos e à iluminação artificial da UH. Ao acrescentar o uso do equipamento de ar condicionado, o consumo de energia passa a variar de acordo com a orientação e com o pavimento da UH analisada. As UHs orientadas a leste registraram menor consumo de energia do que aquelas orientadas a oeste. Além disso, dentre as UHs na mesma orientação, aquelas localizadas no 1º pavimento apresentaram menor consumo do que no 12º pavimento. Sendo assim, a UH localizada no 1º pavimento/leste apresentou o menor o consumo de energia enquanto aquela localizada no 12º pavimento/oeste apresentou o maior consumo.

Gráfico 36 – Consumo de energia – Caso 2.3

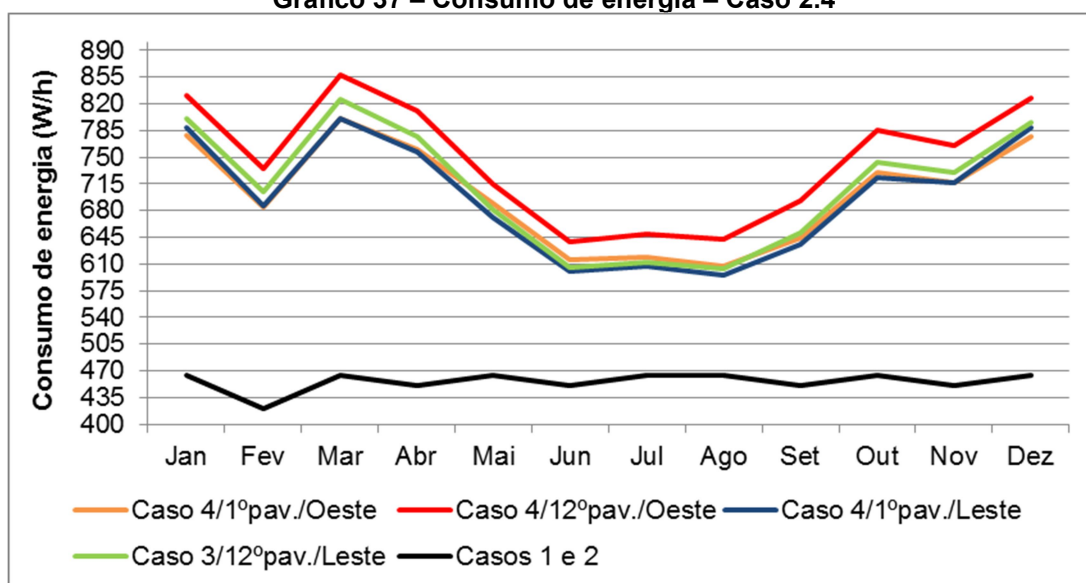


Fonte: A Autora

Essa condição ocorre devido a maior ou menor carga térmica verificada no ambiente. Quanto mais quente estiver o ambiente, maior energia é consumida pelo aparelho de ar condicionado, durante o tempo em que estiver ligado, para manter a temperatura abaixo do *setpoint*. Pode-se perceber que na variação mensal o consumo diminui durante os meses mais chuvosos e com temperatura mais amena. Para o total anual de cada simulação do Caso 2.3 em comparação com os Casos 1.1 e 1.2, o aumento do consumo variou de 19,23% no 1º pavimento/leste a 26,02% no 12º pavimento oeste. Em relação ao consumo total da situação mais desfavorável (12º pavimento/oeste) o ar condicionado representou 26% da conta de energia.

O gráfico 37 mostra o consumo mensal da UH para o Caso 2.4, em comparação com o consumo de energia da UH sem uso de ar condicionado (Casos 2.1 e 2.2). A diferença de consumo anual entre o Caso 2.4 e os demais variou de 34,6% na UH de melhor condição térmica (1º pavimento/Leste) até 38,84% na UH de condição térmica mais desfavorável (12º pavimento/Oeste). Para essas mesmas UH's, comparando os dois casos com ar condicionado (Casos 2.3 e 2.4), verificaram-se aumentos do consumo respectivamente iguais a 17,33% e 19,03%.

Gráfico 37 – Consumo de energia – Caso 2.4



Fonte: A Autora

O período com consumo mais baixo compreende os meses de junho a setembro, enquanto os meses de dezembro e março apresentam o consumo mais elevado. Para o 12º pavimento/Oeste, o menor consumo ocorre em junho (639,1 W/h) e o maior em março (857,9 Wh), enquanto para os Casos 2.1 e 2.2, junho obteve 449,9 W/h e março 464,9 Wh. Em valor monetário (R\$) o aumento em junho é de R\$189,21 e em março R\$392,96, no uso

de dois aparelhos de ar condicionado³⁵. Para o total anual, o ar condicionado representou 38,8% da conta de energia.

4.4 Análise do Desempenho da Iluminação Natural

Os resultados obtidos pelo programa Troplux permitiram a avaliação do desempenho da iluminação natural do ambiente quarto de casal da edificação estudada. Essa avaliação gerou uma classificação de desempenho, cuja síntese é apresentada na tabela 18. Na coluna de classificação parcial do desempenho são apresentados os resultados referentes a cada simulação realizada, enquanto a coluna de classificação final do desempenho apresenta a classificação da edificação, baseada nos ambientes analisados. De maneira geral, a tabela mostra que os resultados do Grupo 1 obtiveram classificação superior, enquanto o grupo 2 obteve classificação intermediária.

Tabela 18 – Simulações e suas classificações - desempenho luminoso.

Grupo	Orientação	Pavimento	Desempenho parcial (% de horas na UDI)	Desempenho parcial (% de área na UDI)	Classificação parcial de desempenho do ambiente	Classificação final de desempenho do edifício
Grupo 1	Oeste	1º	(não se aplica)		Superior	Superior
		12º			Superior	
	Leste	1º			Superior	
		12º			Superior	
	Norte	1º			Superior	
		12º			Superior	
	Sul	1º			Superior	
		12º			Superior	
Grupo 2	Oeste	1º	Intermediário	Intermediário	Intermediário	Intermediário
		12º	Intermediário	Superior	Intermediário	
	Leste	1º	Intermediário	Intermediário	Intermediário	
		12º	Intermediário	Superior	Intermediário	
	Norte	1º	Intermediário	Intermediário	Intermediário	
		12º	Intermediário	Superior	Intermediário	
	Sul	1º	Intermediário	Intermediário	Intermediário	
		12º	Intermediário	Superior	Intermediário	

Fonte: A autora

A seguir são apresentados os dados gerados pelas simulações e suas respectivas avaliações.

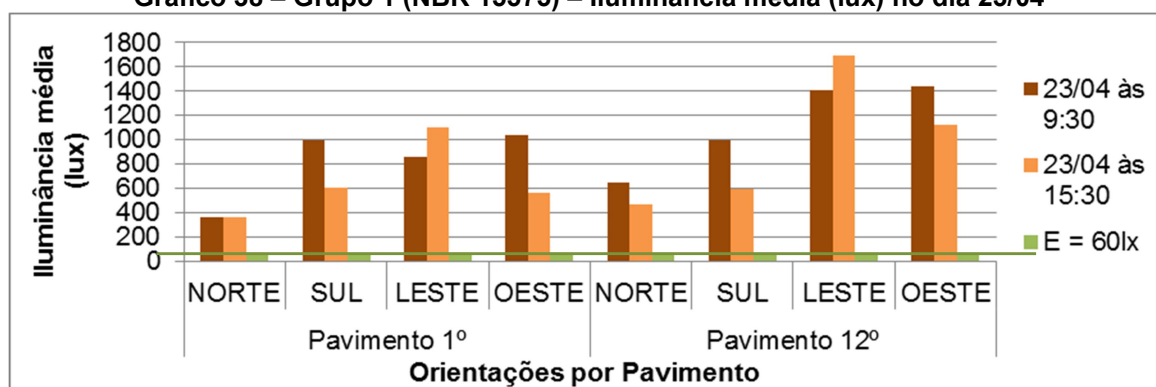
³⁵ Esses valores consideram a tarifa de energia cobrada no setor da cidade onde está localizada a edificação de estudo, para o mês de agosto/2016, equivalente a R\$ 0.647654 (ELETROBRAS, 2016).

Análise de acordo com critérios do Grupo 1

As avaliações de iluminação natural realizadas no Grupo 1 de simulações, baseadas nos critérios e parâmetros da NBR 15575/2013 referem-se apenas ao quarto de casal. Com o programa Troplux foram avaliados os quartos do 1º e do 12º pavimento em quatro orientações (norte, sul, leste e oeste) para os dias e horas exigidos pela norma (consultar gráficos 38 e 39).

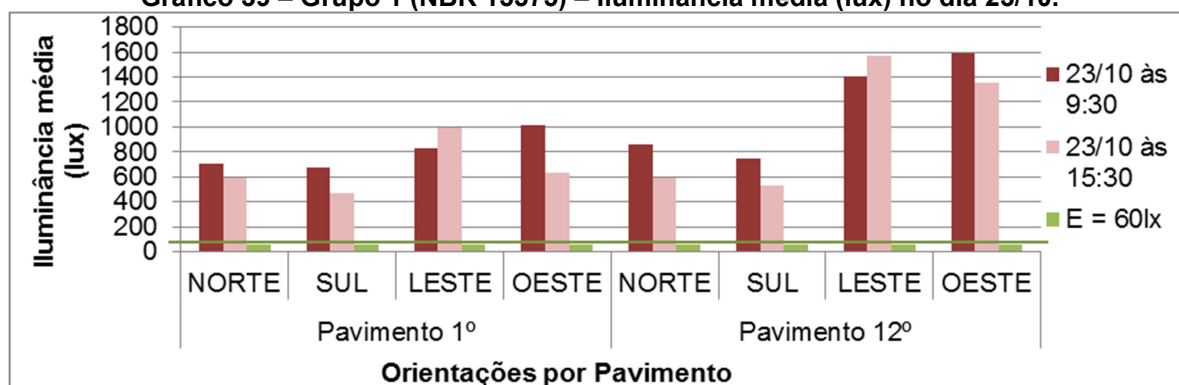
Os gráficos 38 e 39 apresentam os resultados das simulações computacionais, destacando em verde o limite de 60 lux, equivalente ao desempenho mínimo exigido pela norma. Os resultados apresentados referem-se ao ponto central do ambiente. No gráfico 38 estão os resultados para o dia 23/04 e no gráfico 39 para o dia 23/10.

Gráfico 38 – Grupo 1 (NBR 15575) – Iluminância média (lux) no dia 23/04



Fonte: A autora

Gráfico 39 – Grupo 1 (NBR 15575) – Iluminância média (lux) no dia 23/10.



Fonte: A autora

Observando os gráficos percebe-se que todos os resultados ultrapassaram o valor mínimo para classificação Superior (120lx), garantindo classificação máxima em todas as orientações e nos dois andares simulados. Entretanto, algumas diferenças são observadas. A menor iluminância foi registrada na orientação norte, no primeiro pavimento, especialmente às 15h30min do dia 23 de abril, quando obteve 356lx de iluminância global. Esse valor representa aproximadamente três vezes a iluminância exigida para o nível superior na classificação da NBR 15575, mostrando quão acima da norma estão os

resultados. Os maiores níveis de iluminância foram registrados para a janela voltada para leste e oeste, sendo a orientação leste aquela que obteve os valores mais altos.

Percebe-se também que nas UHs a leste o horário de maior iluminância é às 15h30min, quando o sol já está do lado poente, enquanto nas UHs a oeste os maiores valores acontecem durante a manhã, às 9h30min. Como a simulação foi feita considerando edificações no entorno, às 15h30min o sol está atrás da UH avaliada, porém incidindo diretamente na fachada da edificação que se encontra na sua frente. Ao incidir na fachada a luz do sol é refletida penetrando pela janela do quarto analisado, aumentando a iluminância nesse horário. O mesmo acontece com as UHs voltadas a oeste no horário das 9h30min, sendo a luz refletida a responsável por aumentar a iluminância do ambiente nesse horário.

No estudo das cartas solares (item 4.1), foi visto que as proteções existentes não garantem para as janelas 100% de horas do ano sombreadas, o que contribui para entrada direta de insolação nessas fachadas. A tabela 19 apresenta os níveis de iluminância para cada componente (direta e refletida) provinda das diferentes fontes (céu e sol).

Tabela 19 – Iluminância média das componentes da luz.

12º Pavimento	Dia	Horário (horas:minutos)	Fonte: Céu		Fonte: Sol	
			Direta	Refletida	Direta	Refletida
Terminação 01 (LESTE)	23/04	9:30	233	645	0	796
		15:30	798	614	0	265
	23/10	9:30	249	695	0	596
		15:30	598	663	0	225
Terminação 05 (SUL)	23/04	9:30	0	646	0	346
		15:30	0	515	0	76
	23/10	9:30	0	587	0	159
		15:30	0	473	0	60
Terminação 06 (NORTE)	23/04	9:30	0	506	0	145
		15:30	0	398	0	68
	23/10	9:30	0	620	0	236
		15:30	0	504	0	84
Terminação 11 (OESTE)	23/04	9:30	401	655	0	291
		15:30	104	550	0	404
	23/10	9:30	353	718	0	684
		15:30	115	600	0	462

Fonte: A autora

Análise de acordo com critérios do Grupo 2

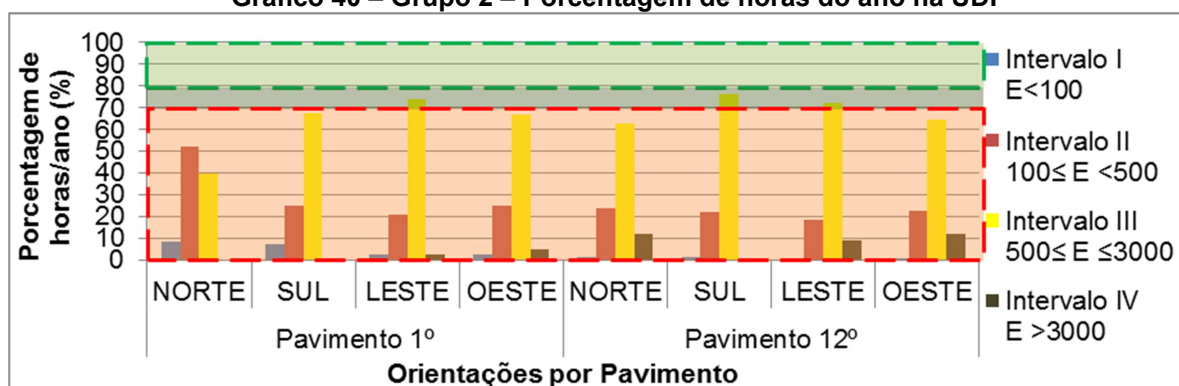
O Grupo 2, cujos critérios baseiam-se em normas internacionais e na literatura existente, foi avaliado durante o ano todo das 7h às 17h. Assim como no grupo 1, as avaliações foram restritas ao quarto do casal, no 1º e 12º pavimentos e em quatro

orientações (norte, sul, leste e oeste). Como visto na metodologia, no Grupo 2 o ambiente é analisado quanto à percentagem de horas do ano (PH) e à percentagem de área do ambiente (PA) dentro dos intervalos de UDI. Prevalece a menor classificação entre PH e PA como sendo a classificação final da edificação.

Os gráficos 40 e 41 apresentam os níveis de iluminância do quarto do casal dentro de cada intervalo de UDI e indica os níveis para classificação do ambiente (faixas verde e vermelha). No gráfico 40 é possível observar os intervalos da UDI separadamente, possibilitando analisar as situações que obtiveram o nível superior de classificação (com PH $\geq 80\%$ para o Intervalo III de 500lx a 3000lx).

O gráfico 41 mostra o total de horas do ano dentro ou fora do intervalo recomendável de UDI (100lx a 3000lx).

Gráfico 40 – Grupo 2 – Percentagem de horas do ano na UDI

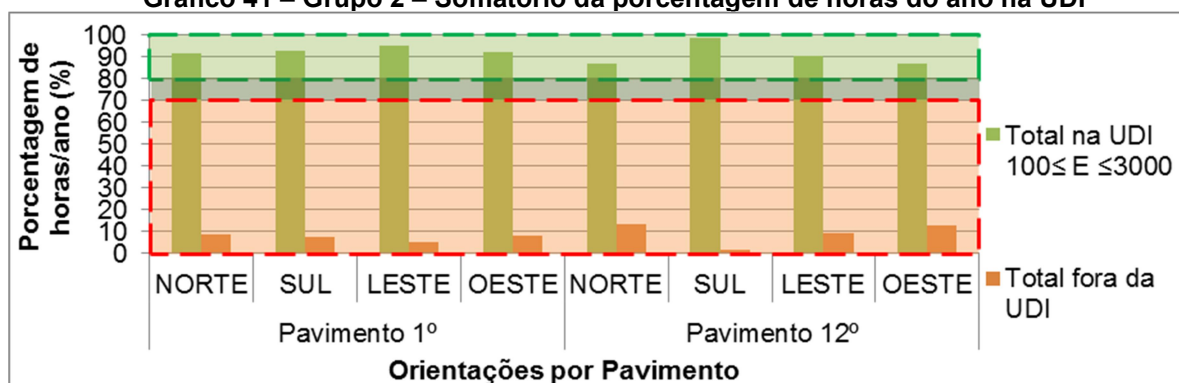


Legenda de classificação por percentagem de horas do ano segundo a UDI

Categoria	(500lx a 3000lx)		(100lx a 3000lx)	
	Superior	Intermediário	Mínimo	Insuficiente
	PH $\geq 80\%$	PH $\geq 80\%$	$70\% \leq PH < 80\%$	PH $< 70\%$

Fonte: A autora

Gráfico 41 – Grupo 2 – Somatório da percentagem de horas do ano na UDI



Legenda de classificação por percentagem de horas do ano segundo a UDI

Categoria	(500lx a 3000lx)		(100lx a 3000lx)	
	Superior	Intermediário	Mínimo	Insuficiente
	PH $\geq 80\%$	PH $\geq 80\%$	$70\% \leq PH < 80\%$	PH $< 70\%$

Fonte: A autora

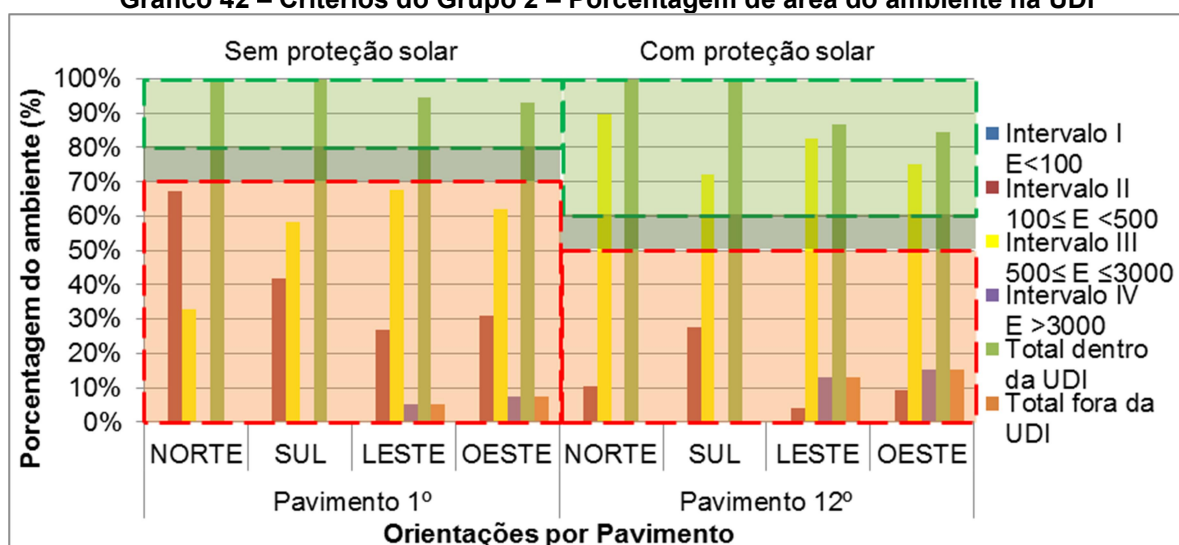
Os gráficos demonstram que, para todas as orientações e pavimentos testados, o quarto analisado enquadra-se na categoria II, classificação Intermediária, do Grupo 2. Observa-se que nenhuma das situações simuladas atinge 80% de horas do ano com iluminância média dentro do Intervalo III de UDI (500lx a 3000lx) (gráfico 40). O melhor desempenho foi obtido pelo quarto no 12º pavimento ao Sul, no qual durante 76,4% das horas simuladas do ano (7h às 17h) a iluminância se enquadrou no intervalo $500 \leq E \leq 3000$ e durante 22,1% das horas do ano, no intervalo entre $100 \leq E < 500$. Este ambiente obteve o maior percentual de horas dentro do intervalo recomendável de UDI (98,5% das horas simuladas, pelo gráfico 41). Em seguida está a UH a leste, com segundo maior percentual de horas dentro do intervalo III da UDI, durante mais de 70% das horas do ano para o 1º e o 12º pavimento. Na orientação norte, o 12º pavimento apresentou 86,8% das horas simuladas com iluminâncias dentro do intervalo total da UDI (100lx a 3000lx), sendo 62,8% das horas simuladas enquadradas no Intervalo III. Porém, a orientação norte do primeiro pavimento possui menor tempo do ano com iluminâncias no intervalo III, apenas 40% das horas simuladas, sendo o resultado mais desfavorável.

Se forem comparados os dois pavimentos analisados, o primeiro andar possui mais horas do ano dentro do intervalo total de UDI (100lx a 3000lx). Por outro lado, o 12º andar, apesar de possuir menor percentual de horas enquadrado no intervalo total de UDI, tem maior quantidade de horas do ano dentro do Intervalo III. Isso significa que o ambiente do pavimento mais alto apresenta maior iluminância ao longo do ano, conforme pode ser observado no Gráfico 40, assim como a ocorrência de resultados enquadrados no Intervalo IV de UDI ($E > 3000$) é mais recorrente no 12º andar. Um motivo para essa ocorrência está relacionado com a parcela de céu visível. No primeiro pavimento, as obstruções dos arredores e a própria edificação dificultam a visão da abóbada celeste. Apesar das edificações vizinhas refletirem luz para a janela do 1º andar em parte do dia nas terminações Leste e Oeste, na maior parte do tempo o entorno contribui para diminuir a quantidade de luz que chega aos ambientes. Enquanto isso, o ambiente localizado no pavimento mais alto da edificação possui menor interferência de obstruções e, por conseguinte, maior iluminância média global (devido às componentes refletida e direta).

Quanto à distribuição das iluminâncias no ambiente, o gráfico 42 apresenta as porcentagens de área do ambiente (PA) enquadradas nos intervalos de UDI estabelecidos. O cálculo da PA foi feito com base nas isocurvas que apresentam a média global anual das iluminâncias para cada pavimento e orientação. O gráfico mostra também os níveis classificatórios de acordo com a tabela 14 apresentada no capítulo 3. Estes níveis possuem diferentes valores para aberturas com e sem proteção solar, sendo menos restritivos para ambientes em que a proteção solar garante bloqueio de 50% da área da janela, quanto à luz

direta. Salienta-se também que a proteção solar considerada para a classificação do ambiente deve estar contida na edificação estudada e não no entorno (que pode ser modificado independentemente da edificação analisada) (ver capítulo 3). Por esse motivo, aqui foram revistas as cartas solares do item 4.1. Considerou-se que o 12º pavimento possui proteção solar com dimensão satisfatória para enquadrar-se no critério menos restritivo, já que sua máscara de sombra ocupa 50% das horas do ano. Entretanto, foi visto que o 1º pavimento não possui proteção solar com dimensão suficiente para sombrear a janela durante metade das horas do ano, sendo analisado pelo critério mais restritivo de classificação.

Gráfico 42 – Critérios do Grupo 2 – Porcentagem de área do ambiente na UDI



Legenda de classificação por porcentagem de área do ambiente dentro da UDI

Categoria	(500lx a 3000lx)		(100lx a 3000lx)	
	I (Superior)	II (Intermediário)	III (Mínimo)	IV (Insuficiente)
Sem proteção	PA ≥ 80%	PA ≥ 80%	70% ≤ PA < 80%	PA < 70%
Com proteção	PA ≥ 60%	PA ≥ 60%	50% ≤ PA < 60%	PA < 50%

Fonte: A autora

De acordo com o critério do PA, a classificação obtida em todas as orientações do 12º pavimento foi Superior, enquanto para o 1º pavimento foi intermediária para todas as orientações estudadas. A importância dessa diferenciação de limites classificatórios dá-se por ser mais difícil para a luz alcançar o fundo dos ambientes com proteção solar, resultando na diminuição da área do ambiente que se enquadra dentro da UDI.

Percebe-se que, apesar da janela do 12º pavimento possuir uma proteção solar maior, seus valores de PA conseguem superar os do 1º pavimento. A obtenção de maiores iluminâncias no 12º andar, apontada pelos gráficos 40 e 41 é vista aqui aumentando a área do ambiente dentro do intervalo mais alto da UDI (500lx a 3000lx). Tal fato se justifica devido a janela no 12º pavimento possuir visão de céu maior, apesar da proteção solar existente, o que possibilita maior entrada de luz pela janela. As edificações vizinhas tendem a contribuir

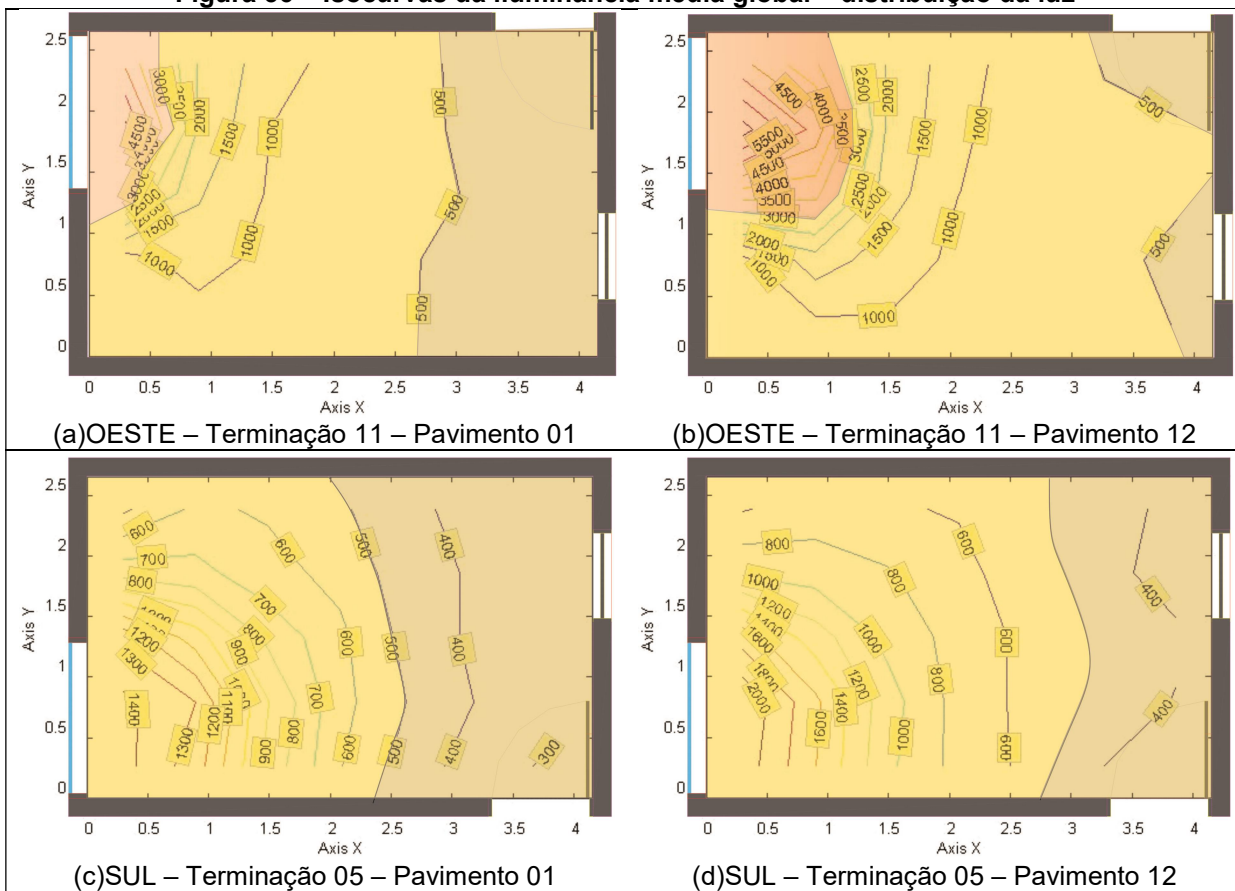
com a diminuição da visão de céu no 1º pavimento em comparação com o 12º andar. Tais resultados demonstram a importância de considerar a relação da dimensão da proteção solar com as dimensões da janela, as alturas de cada pavimento e a relação com o entorno. Portanto, proteções padronizadas do primeiro até o último pavimento podem, a depender da dimensão da janela padrão da edificação, prejudicar a distribuição da iluminância nos ambientes de andares mais baixos.

Analisando-se o Gráfico 40 percebe-se que, o maior valor de PH registrado para o intervalo I da UDI (inferior a 100lx) foi de 8,5% das horas do ano, no 1º pavimento/norte. Já no gráfico 42 não houve registro de PA com iluminância média menor que 100lx. Neste caso, toda iluminância registrada fora do intervalo total foi acima de 3000lx. Esta questão é importante por demonstrar a necessidade de delimitação de um valor máximo da iluminância desejada em um espaço. O estabelecimento de um limite mínimo a ser atingido pode não ser suficiente para garantir o conforto visual dos usuários, podendo haver excesso de luz, grandes contrastes no ambiente e a consequente possibilidade de desconforto.

As figuras 56a e 56b mostram as isocurvas do ambiente orientado a oeste, onde foi encontrado o resultado com maior contraste entre as iluminâncias obtidas próximo a janela e nos fundos do ambiente. Já as figuras 56c e 56d mostram o ambiente voltado para a fachada sul, onde ocorreu a melhor distribuição da luz internamente, com maior uniformidade dos valores de iluminância no interior do ambiente. As isocurvas representam a média da iluminância global, por isso não apresentam as máximas nem as mínimas iluminâncias ao longo do ano. Observa-se que os dados das isocurvas estão de acordo com o Gráfico 40, onde os ambientes a oeste apresentaram maior quantidade de horas simuladas dentro do intervalo IV da UDI (acima de 3000lx).

Apesar da obtenção de nível superior para o PA (percentual de área do ambiente) em algumas UHs, a classificação do desempenho luminoso dessa edificação pelo grupo 2 é Intermediária, visto que prevalece a menor classificação, obtida em função dos valores de PH (porcentagem de horas do ano) cujas iluminâncias se enquadraram dentro do intervalo útil de UDI (100 a 3000 lux).

Figura 56 – Isocurvas da iluminância média global – distribuição da luz



(a)OESTE – Terminação 11 – Pavimento 01

(b)OESTE – Terminação 11 – Pavimento 12

(c)SUL – Terminação 05 – Pavimento 01

(d)SUL – Terminação 05 – Pavimento 12

Legenda

Intervalo I ($E < 100lx$)	Intervalo II ($100lx \leq E < 500lx$)	Intervalo III ($500lx \leq E \leq 3000lx$)	Intervalo IV ($E > 3000lx$)
--------------------------------	--	---	----------------------------------

Fonte: A autora

5 CONCLUSÃO

Os casos estudados mostraram que a classificação de desempenho adotada pela NBR 15575 pode não expressar adequadamente o nível de conforto dos usuários da edificação. Apesar de ser um evidente avanço na busca por edificações de alto padrão de desempenho no Brasil, a norma avaliada retira o usuário do foco quando adota como critério único de classificação um valor fixo de iluminância no ponto central do ambiente (para desempenho luminoso), e a relação entre as temperaturas interna e externa (para desempenho térmico).

A avaliação com a mesa d'água mostrou que a UH 11, voltada para o oeste, não recebe diretamente nenhum dos ventos predominantes em Maceió, enquanto a UH 01 voltada ao leste recebe os três principais ventos (Leste, Sudeste e Nordeste). A condição representada do entorno adensado mostrou que as edificações dos arredores podem dificultar o aproveitamento da ventilação natural, devendo ser considerada a partir do estudo dos ventos na fase de concepção projetual. Com relação à incidência da insolação, as cartas solares mostraram que apenas as UHs do 12º pavimento, cuja dimensão do beiral é maior que no 1º andar, foram sombreadas em aproximadamente 50% das horas do ano. Nos demais pavimentos há maior exposição das aberturas da fachada ao sol. Portanto, nenhuma das janelas é 100% sombreada ao longo do ano.

Com relação às classificações de desempenho térmico realizadas conforme os critérios da NBR 15575/2013 (Grupo 1), o edifício obteve nível Insuficiente quando simulado com telha escura, em ambas as taxas de renovação do ar (1r/h e 5r/h), devido à classificação do ambiente orientado a oeste, no 12º pavimento (Caso 1.1). Quando simulado com a telha branca, obteve classificação Mínima. Porém, ao adicionar as cargas internas no ambiente (Caso 1.2), todas as simulações mostraram desempenho Insuficiente, independente de orientação, tamanho de beiral, número de renovações do ar ou cor da telha. A comparação entre os Casos 1.1 e 1.2 mostrou que a presença das cargas internas é relevante para a classificação do desempenho, verificando-se um aumento de 2,4°C na temperatura do mesmo ambiente (quarto de casal). Desse modo, verifica-se que a norma apresenta uma contradição quando coloca o atendimento às exigências do usuário como condição de classificação de desempenho, mas desconsidera a presença das cargas térmicas internas.

Nas simulações realizadas com critérios baseados na literatura científica e em normas internacionais (Grupo 2) buscou-se aproximar o ambiente simulado das condições reais de uso: considerando a presença das cargas térmicas internas, simulando-se a ventilação natural com base nos dados do arquivo climático local e abrangendo dados

horários anuais de temperaturas. Os resultados das simulações dos Casos 2.1 e 2.2 obtiveram classificação Insuficiente mesmo com o emprego de telhas claras (no Caso 2.1, 12º pavimento), ao contrário do que aconteceu no Caso 1.1, avaliado pela NBR 15575/2013. No Caso 2.2, o nível Insuficiente de desempenho ocorreu porque a classificação do desempenho térmico da edificação é definida em função do desempenho do ambiente sob a condição mais desfavorável (12º pavimento/oeste), segundo os critérios definidos para o Grupo 2. Entretanto, pode-se acrescentar que o emprego da ventilação noturna neste caso de estudo resultou em uma melhoria nas condições de conforto da edificação, elevando o 1º pavimento à condição Intermediária de desempenho e o 12º pavimento/leste ao nível Mínimo. O aumento do percentual de horas em conforto (PHC) nos meses mais quentes do ano, no Caso 2.2 em relação ao 2.1, coloca a ventilação natural como estratégia que beneficia o desempenho térmico dentro dos critérios estabelecidos.

Tais resultados indicaram que a mudança de cor da telha isoladamente não é suficiente para garantir o conforto do usuário em condições próximas à realidade de uso da edificação, de modo que o desempenho Mínimo apontado pela NBR 15575 não se reflete no atendimento ao conforto do usuário durante o ano inteiro. Por avaliar apenas o dia típico e utilizar exclusivamente as relações de temperatura externa e interna como critério de classificação, a NBR 15575 desconsidera o conforto do usuário, aspecto que deveria ser o ponto de partida para a avaliação do desempenho térmico. As condições de simulação requeridas pela NBR 15575 podem esconder resultados importantes, distanciando a classificação da edificação da sua realidade de uso. Isso significa que uma edificação que obtenha classificação de desempenho Mínimo segundo a norma não necessariamente atende às condições de conforto dos usuários. Como condições que aproximam a edificação da realidade de uso, pode-se citar a ocupação durante todo o ano, a presença de equipamentos e iluminação artificial e a ventilação natural típica da localidade estudada.

Como no Grupo 2 a condição de classificação utilizada foi o atendimento aos critérios de conforto estabelecidos durante, no mínimo, os meses mais quentes do ano (novembro a abril), pode-se afirmar que o usuário é o principal foco. Observou-se que o detalhamento dos dados para as análises possibilita identificar o tempo em que o ambiente permanece em conforto e a intensidade do desconforto (com base na contagem dos graus hora de resfriamento) em cada mês, podendo-se avaliar o impacto de cada estratégia adotada no projeto sobre o desempenho da edificação, assim como o efeito nas condições de bem estar do usuário.

Para os Casos 2.3 e 2.4, onde se fez uso do aparelho de ar condicionado para diferentes horários do dia, tendo sido adotados critérios de avaliação baseados no modelo PMV/PPD, nenhuma simulação obteve classificação Insuficiente. Esses casos alcançaram,

respectivamente, classificação Mínima e Intermediária. Percebeu-se que ao aumentar o número de horas de uso do ar condicionado de 8h/dia (Caso 2.3) para 12h/dia (Caso 2.4), todas as simulações obtiveram classificação Superior, exceto a UH mais desfavorável (12º pavimento/oeste) que obteve nível Intermediário de desempenho. Ou seja, aumentando o período de utilização do ar condicionado, registrou-se também aumento da classificação dos ambientes para as horas naturalmente ventiladas. Porém, o emprego da climatização artificial corresponde a uma parcela significativa do consumo de energia da edificação: até 26% no Caso 2.3 e 38,8% do Caso 2.4. As poucas condições de conforto encontradas em muitos imóveis na cidade de Maceió-AL, principalmente em apartamentos voltados para o oeste, influenciam na instalação do aparelho de ar condicionado e no seu período de uso. Na atual condição energética do país, a preocupação com o consumo de energia deve ser uma das prioridades na construção civil. As decisões de projeto arquitetônico devem ser tomadas com base em dados realísticos das condições de conforto do ambiente, levando à criação de estratégias de projeto que proporcionem melhorias na qualidade de vida dos usuários.

Com relação à avaliação de desempenho da iluminação natural, os resultados obtidos segundo a NBR 15575/2013 (Grupo 1) apresentaram classificação melhor que no desempenho térmico. Os resultados do Grupo 1 mostraram que as 4 horas avaliadas pela norma (9h30min e 15h30min dos dias 23 de abril e 23 de outubro) atingiram classificação Superior para todas as orientações (norte, sul, leste e oeste) e em todos os pavimentos (1º e 12º) testados. O menor valor obtido foi 356lx no dia 23 de abril às 15h30min, aproximadamente três vezes mais que o nível Superior requer (110lx). Sob o ponto de vista da relação da edificação com a vizinhança, quanto à disponibilidade da luz natural, as simulações mostraram que o entorno edificado pode aumentar a incidência de luz no ambiente estudado em horários diferentes do esperado: aumentando a iluminância na UH leste no horário da tarde (às 15h30min) e na UH oeste durante o horário da manhã (às 9h30min). Essa situação ocorreu devido à incidência direta da luz solar na fachada da edificação localizada na frente das aberturas, que se reflete para dentro do ambiente. A obtenção de dados sobre a iluminação ao longo do dia e do ano é importante para compreender a influência do entorno sobre a média global das iluminâncias e o conforto dos usuários.

Para as análises baseadas em critérios encontrados na literatura científica (Grupo 2), o ambiente foi avaliado sob dois aspectos: Porcentagem de horas do ano dentro dos intervalos de iluminância útil, com base no UDI – Useful Daylight Illuminance (PH), e a porcentagem de área do ambiente dentro da UDI (PA), considerando o intervalo útil entre 100lx e 3000lx. Foram contabilizados todos os dias do ano entre 7h e 17h, totalizando

3600h/ano. Em todas as simulações, a edificação obteve classificação Intermediária. Para iluminação natural, o pavimento sob condição mais desfavorável é o primeiro, pois a parcela de céu visível pela janela é menor que no 12º. Portanto, em todas as orientações, o 1º pavimento obteve classificação Intermediária e o 12º classificou-se como Superior.

O critério de porcentagem de área do ambiente (PA) possibilitou avaliar a distribuição da luz no plano de trabalho a partir da iluminância média anual, contabilizando-se a área do ambiente enquadrada em cada intervalo de UDI. Como a NBR 15575/2013 contabiliza apenas a iluminância no ponto central do ambiente, impossibilita a avaliação qualitativa e quantitativa da distribuição da luz. Mesmo se o avaliador considerar a média da iluminância global do ambiente no seu ponto central como dado para realizar a classificação do desempenho, o que não é explicitado na norma, fica o questionamento a respeito da qualidade de distribuição da luz nos casos simulados no Grupo 1, visto que os resultados dos dois grupos obtiveram classificação diferente devido a este fator. A avaliação da distribuição da luz pode contribuir também com a identificação de grandes contrastes no ambiente, fornecendo informações importantes para avaliar as condições de conforto visual dos usuários.

Considerando o critério da porcentagem de horas do ano dentro dos intervalos de iluminância da UDI (PH) isoladamente, o ambiente obteve classificação Superior, com 80% das horas do ano dentro do intervalo III da UDI (500lx a 3000lx). Este critério possibilitou classificar o ambiente de acordo com o tempo em que ele permaneceu dentro de cada intervalo de iluminância. Além de alcançar um determinado intervalo de iluminâncias, é preciso mantê-la por pelo menos 70% das horas do ano. Quando a norma restringe a avaliação a 4 momentos específicos, não é possível estudar o comportamento da luz diante de uma condição mais próxima à realidade de uso da edificação. Além disso, ao estabelecer no Grupo 2 um intervalo do dia para avaliar o uso exclusivo de iluminação natural, é possível identificar também os períodos nos quais o usuário pode evitar a iluminação artificial como complemento. Observou-se também que na maior parte das horas avaliadas no ano em que o ambiente esteve fora do intervalo de iluminâncias estabelecido isto ocorreu devido ao excesso de luz (iluminâncias acima do limite máximo). Entendeu-se que o limite mínimo de iluminância dado pela norma não é suficiente para garantir o conforto visual dos usuários na cidade de Maceió, podendo haver excesso de luz e conseqüentemente aumento da possibilidade de desconforto, verificando-se a necessidade de estabelecer-se um limite máximo de iluminâncias.

Os resultados obtidos nesta dissertação indicam que a NBR 15575/2013 deve agregar novos parâmetros representativos da realidade dos usuários da edificação para que os resultados gerados sejam suficientes para servir de suporte ao desenvolvimento de

estratégias de projeto efetivas quanto ao conforto térmico e luminoso. É notável a importância da NBR 15575 no avanço em direção a edificações de alto padrão de desempenho, entretanto, destaca-se a importância de estudos que colaborem com seu aprimoramento. A adoção de níveis de classificação de desempenho associados ao conforto dos usuários pode ser uma contribuição viável para a melhoria da qualidade das edificações brasileiras.

5.1 Limitações do trabalho

Os resultados obtidos referem-se a espaços com características físicas similares ao objeto de estudo (posicionamento e dimensões das aberturas, materiais construtivos e de acabamento, formato geométrico, dimensionamento, orientação). Também se referem à cidade de Maceió sendo o tipo de céu direcionado para esta localidade, considerando o horário entre 7h e 17h. Este trabalho não considerou o desempenho acústico da edificação.

Alguns dados utilizados no trabalho foram obtidos exclusivamente por simulações computacionais e estão sujeitos a possíveis imprecisões de cálculos do programa. Uma dificuldade encontrada foi o cálculo dos coeficientes de pressão (C_p) utilizados. Esses coeficientes de pressão foram obtidos com o programa CpCalc+ cuja limitação está na aplicação exclusiva para edificações com formato de planta retangular. Por isso, neste caso estudado foi feita uma aproximação do formato da edificação para enquadramento no programa.

5.2 Sugestões de trabalhos futuros

Ao longo do trabalho surgiram questões que podem ser listadas para o desenvolvimento de trabalhos futuros:

- Estudos para definições precisas do coeficiente de pressão de edificações cujo formato geométrico seja diferente da forma retangular;
- Avaliar os critérios e parâmetros adotados neste trabalho para diferentes climas e diferentes tipologias de edificações;
- Estudos sobre a possibilidade de adoção de um limite máximo de iluminância pela NBR 15575/2013

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Catálogo. *Website*. [2015a]. Disponível em < <http://www.abntcatalogo.com.br/>>, Acesso em 17 set 2015.

_____. Conceito – Definição. *Website*. [2015b]. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/normalizacao/o-que-e/o-que-e>>. Acesso em: Set. 2015.

_____. **NBR 15575-1**: Edificações Habitacionais: Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro-RJ, 2013a.

_____. **NBR 15575-4**: Edificações Habitacionais: Desempenho – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro-RJ, 2013b.

_____. **NBR 15575-5**: Edificações Habitacionais: Desempenho – Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro-RJ, 2013c.

_____. **NBR 5413**: Iluminância de Interiores. Rio de Janeiro-RJ: 1992.

_____. **NBR 8995-1**: Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Interior. Rio de Janeiro-RJ: 2013d.

_____. **NBR 5382**: Verificação de Iluminância de Interiores. Rio de Janeiro-RJ, 1985.

_____. **NBR 15220-2**: 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, 2008a.

_____. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2008b.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE; AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE 55-2013**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2013.

BAKER, N.; STEEMERS, K. **Daylight design of buildings**. James e James (Science Publishers) Ltd. Londres, 2002.

BARBOSA, G. L. **Diretrizes Construtivas Para O Projeto Bioclimático De Habitações No Leste Alagoano**. BATISTA; J. O. (Coord.) Projeto de pesquisa PIBIC/UFAL/FAPEAL, Relatório Parcial 2014-2015. Maceió, 2015.

BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. **Introdução à ventilação natural**. 3 ed., 2008: Edufal, Maceió.

BORGES, C. A. de M. **O conceito de desempenho de edificações e sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. 2008. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo-SP, 2008.

BRASIL. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência Da República. **Social e Renda: A classe média brasileira**. n. 1, 2014a. MELO, S. M.; BONOMO, T. (Org.). Brasília: Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, 2014. Disponível em: < <http://www.sae.gov.br>>. Acesso em: 11 dez. 2015.

_____. **Decreto n. 4.059**, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. 2001a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2001/D4059.htm>. Acesso em 21 set 2015.

_____. **Lei n. 10.295**, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. 2001b. Disponível em <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10295.htm>. Acesso em 21 set 2015.

_____. **Lei n. 8.078**, de 11 de setembro de 1990. Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências. 1990. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8078.htm>. Acesso em 23 set 2015.

_____. **Portaria interministerial n. 18**, de 16 de janeiro de 2012. Aprova a revisão do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). 2012. Disponível em <<http://www.inmetro.gov.br>>, acesso em set 2015.

_____. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas (1961-1990)**. Brasília-DF: SPI/EMBRAPA, 1992. <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>, acessado em janeiro de 2016.

BSI - BRITISH STANDARD / EUROPEAN STANDARD. **BS EN 15251:2007**. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. Standards Policy and Strategy Committee/ European Committee For Standardization (CEN/CENELEC). Versão Inglesa. Bruxelas, 2007.

CABÚS, R. TROPLUX: Um sotaque tropical na simulação da luz natural em edificações. In: III ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENCAC); ENCONTRO LATINOAMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ELACAC). **Anais...** Maceió, 2005.

_____. TropLux, versão 6: Guia do Usuário, Maceió: Grilu, 2012.

CARVALHO, J. F. Energia e sociedade. **Estudos Avançados**: Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, São Paulo, n. 82, v. 28, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142014000300003>. Acesso em 11 nov. 2015.

CARVALHO, M.B.M. Avaliação de Ciclo de Vida: Ferramenta do Pensamento Sistêmico. **Sustentabilidade em Debate**. Resenha. Brasília, v. 1, n. 1, p. 123-124, 2010. Disponível em: <<http://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/view/736>>. Acesso em: 28 nov. 2015.

CBCS - CONSELHO NACIONAL DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL; PNUMA - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE; BRASIL. Ministério Do Meio Ambiente. **Aspectos da construção sustentável no Brasil e promoção de políticas públicas**: Subsídios para promoção da construção civil sustentável. v 1. CBCS, 2014. Disponível em: <<http://www.cbcs.org.br/website/aspectos-construcao-sustentavel>>. Acesso em: 11 nov. 2015.

CLIMATE CONSULTANT. Programa de computador. V 6.0, Built 7. 2016. Disponível em: <<http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/climate-consultant/request-climate-consultant.php>>, acesso em março, 2016.

DAMASCENO, S. R. G. **Desempenho térmico e habitação: uma avaliação comparativa no contexto climático da zona bioclimática 8**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas - UFAL. Maceió, p. 144. 2011.

DIAS, A. R. D.; CALADO, B. F.; PEDRINI, A. Desempenho térmico da envoltória de edifícios na zona bioclimática 08: comparação entre os métodos de simulação e prescritivo do RTQ-R e o modelo de conforto adaptativo In: XIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENCAC); IX ENCONTRO LATINOAMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ELACAC). **Anais...** Campinas, 2015.

DORNELLES, K. A. **Absortância Solar De Superfícies Opacas**: Métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.

ELETOBRÁS. Distribuição Alagoas. Fatura de consumo de energia. Tarifa de energia de classe Residencial, ligação trifásica, em Maceió. Abril de 2016.

ELETOBRÁS; PROCEL. LAMBERTS, R. (coord.). **Manual para aplicação do RTQ-R**. v. 1, com base na Portaria n. 18/2012. Florianópolis, 2012.

ELETOBRÁS; PROCEL. **Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil**: Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso. Ano base 2005. Classe Residencial, Relatório Brasil. Rio de Janeiro, 2007.

ENERGYPLUS. **Getting Started with EnergyPlus Basic Concepts Manual**: Essential Information You Need about Running Energy Plus. US Department of Energy. Illinois, 2013.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil). Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2015**: Ano base 2014 – Relatório Brasil. Rio de Janeiro-RJ: EPE, 2015.

_____. **Demanda de energia 2050** – Série Estudos da Demanda de Energia. Nota Técnica DEA 13/14. Rio de Janeiro-RJ: EPE, 2014a.

_____. **Consumo de energia no Brasil**: Análises Setoriais – Série Estudos da Eficiência Energética. Nota Técnica DEA 10/14. Rio de Janeiro-RJ: EPE, 2014b.

FERNANDES, R. M. F. O sono normal. **Medicina Ribeirão Preto**. Ribeirão preto, v. 39, n. 2, p. 157-168, 2006. ISSN 2176-7262 (versão on-line). Disponível em: <http://revista.fmrp.usp.br/2006/vol39n2/1_o_sono_normal1.pdf>. Acesso em: 14 Mar. 2016.

FONTENELLE, M.R.; BASTOS, L.E. G.; CASTRO, E. B. Análise comparativa da ventilação natural e qualidade do ar em apartamentos de um edifício residencial multifamiliar no Rio de Janeiro. In: XI ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENCAC); VII ENCONTRO LATINOAMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ELACAC). **Anais...** Búzios, 2011.

GAUZIN-MÜLLER, D. **Arquitetura Ecológica**. FAVET, N; MAES, P. (Col.). Tradução Celina Olga de Souza e Caroline Fretin de Freitas, São Paulo: Senac, 2011.

GIBSON, E. J. Working with the performance approach in building. In: CIB STATE OF THE ART. **Report**, n 64. Rotterdam. CIB W060. 1982.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**. Vol. 18, p. 11-23. Filadelfia, 1992.

GRAF, H. F.; TAVARES, S. F. Avaliação de desempenho térmico e energético da tecnologia construtiva brasileira em Curitiba. In: XII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENCAC); VIII ENCONTRO LATINOAMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ELACAC). **Anais...** Brasília, 2013.

HENSEN, J. L. M.; LAMBERTS, R. (eds). **Building Performance Simulation for Design and Operation**. Nova York –NY: Spon Press, 2011.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE ANÁLISE GEOGRÁFICA E ESTATÍSTICA. CENSO 2010. 2010. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 31 Ago. 2015.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Programa brasileiro de Etiquetagem**. *Website*. [2015a]. Disponível em : <http://www2.inmetro.gov.br/pbe/conheca_o_programa.php>. Acesso em 17 set. e 1 out. 2015.

_____. **Programa brasileiro de Etiquetagem**. *Website*. [2015b]. Disponível em : <<http://www.inmetro.gov.br/barreirastecnicas/definicoes.asp>>. Acesso em out. 2015.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Summary for policymakers. Metz B; Davidson O; Bosch P; Dave R; Meyer L. (eds.). **Climate change 2007: Mitigation of climate change**. Contribuição para WORKING GROUP III do IV PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. Cambridge, Reino Unido e New York, NY, EUA: Cambridge University Press, 2007.

JANDA, K. Worldwide status of energy standards for buildings: a 2009 update. In: **ECEEE 2009 Summer Study**. Act! Innovate! Deliver! Reducing Energy Demand Sustainably. Panel 2: Policy Implementation. Reino Unido, 2009.

LAMBERTS, R.; CÂNDIDO, C; R. DE DEAR, R; VECCHI, R. **Towards a Brazilian Standard on Thermal Comfort**. Research Report. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), The University of Sydney. Financiado por CNPQ. Santa Catarina, 2013.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2ª edição. São Paulo: ProLivros, 2014.

LAMBERTS et al. **Towards a Brazilian Standard on Thermal Comfort**. Relatório de Pesquisa. Florianópolis: 2013. Disponível em <<http://www.labeee.ufsc.br>>, acesso em 9 nov. 2015.

LEÃO JÚNIOR, R. S. N. **Impacto econômico do uso de ar condicionado em edifícios residenciais na cidade de Maceió/AL**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2008.

LEDER, S. M.; OLIVEIRA, A. C. Percentual de abertura na fachada e tipos de fechamento no desempenho térmico da edificação. In: XIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENCAC); IX ENCONTRO LATINOAMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ELACAC). **Anais...** Campinas, 2015.

LEDER, S. M.; LEAL, L. Q.; LIMA, E. F. C. Percentual de abertura na fachada e tipos de fechamento no desempenho lumínico da edificação. In: XIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENCAC); IX ENCONTRO LATINOAMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ELACAC). **Anais...** Campinas, 2015.

LOURA, R. M.; ASSIS, E. S. DE; BASTOS, L. E. G. Análise comparativa entre resultados de desempenho térmico de envoltórias de edifício residencial gerados por diferentes normas brasileiras. In: XI ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENCAC); VII ENCONTRO LATINOAMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ELACAC). **Anais...** Búzios, 2011.

MACEIÓ. Prefeitura Municipal de Maceió. **Lei Municipal Nº 5.593**, de 08 de Fevereiro de 2007. Dispões sobre o Código de Urbanismo e Edificações do Município de Maceió.

MAIA, R. G. X. **Padrões de escoamento do vento na região metropolitana de Maceió**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2016.

MARDALJEVIC J.; NABIL A. Useful Daylight Illuminance: A New Paradigm to Access Daylight in Buildings. **Lighting Research & Technology**. n 37(1), p 41-59. 2005. Disponível em: http://www.climate-based-daylighting.com/lib/exe/fetch.php?media=academic:mardaljevic_udi_lux2005.pdf, acesso em fev, 2016.

_____. Useful Daylight Illuminances: A Replacement for Daylight Factors. **Energy and Buildings**. n 38(7), p 905-913. 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/245196963_Useful_daylight_illuminances_a_replacement_for_daylight_factors_Energy_Build, acesso em fev, 2016.

MARDALJEVIC et al. Daylighting Metrics For Residential Buildings. 27ª SEÇÃO DA CIE. **Anais...** África do Sul, 2011.

MARQUES, T.; NEVES, L.; MELLO, M. Análise de desempenho térmico pelo método simplificado proposto na NBR 15575: importância da área envidraçada da fachada. In: XII ENCONTRO NACIONAL E VIII LATINOAMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENCAC/ELACAC. **Anais...** Brasília, 2013.

MASCARÓ, Lúcia. R. (coord.). **Energia na edificação: Estratégias para minimizar seu consumo**. São Paulo: Projeto, 1991.

MELO, A. P.; WESTPHAL, F. S.; MATOS, M. **Apostila Do Curso Básico Do Programa EnergyPlus**. LABEEE – UFSC: Florianópolis, 2009.

MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.; NETO, J. A. B. C. Uso de Instrumentos Computacionais Para Análise do Desempenho Térmico e Energético de Edificações no Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.5, n.4, p. 47-68, out./dez. 2005.

MORAIS, J. C.; LABAKI, L. C. NBR 15220-3: uma reflexão sobre os parâmetros de projeto para ventilação natural. In: XIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENCAC); IX ENCONTRO LATINOAMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ELACAC). **Anais...** Campinas, 2015.

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

OLIVEIRA, R. D.; SOUZA, R. V. G. DE; SILVA, R. M. Desempenho Térmico: Qual Valor Devemos Atender Para A Legislação Brasileira? In: XII ENCONTRO NACIONAL E VIII LATINOAMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENCAC/ELACAC. **Anais...** Brasília, 2013.

ORDENES, M.; PEDRINI, A.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulações no VisualDOE-3.1**. LABEEE: Florianópolis, 2003.

PEDRINI, A.; et al. **Desempenho térmico de tipologias de habitações de interesse social para seis cidades brasileiras**. Eletrobrás. Natal, 2009. Disponível em: <<http://www.labcon.ct.ufrn.br/arquivos/Desempenho%20termico%20de%20habitacao%20seis%20cidades%20brasileiras3.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2015.

PEREIRA, F. O. R.; SCHMITT, M.; MORAES, L. N. Zoneamento luminoso do território brasileiro através de histogramas de frequência acumulada de ocorrência de iluminâncias horizontais difusas externas. In: XIII ENCONTRO NACIONAL E IX LATINOAMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENCAC/ELACAC. **Anais...** Campinas, 2015.

PROCEL - PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **PROCEL Info**. *Website*. [2015] Disponível em <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp>>. Acesso em 17 Set 2015.

_____. Dados estimados de consumo. **PROCEL Info**. *Website*. [2016], disponível em <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BE6BC2A5F-E787-48AF-B485-439862B17000%7D>>. Acesso em: 15 Mar 2016.

PROCEL; ELETROBRAS. **Resultados PROCEL 2015** – Ano base 2014. VASCONCELLOS, L. E. M; et al (Org.). Relatório Brasil: PROCEL, 2015. Disponível em <www.procelinfo.com.br>. Acesso em 18 set 2015.

REINHART C F; WALKENHORST O. Dynamic RADIANCE-based Daylight Simulations for a full-scale Test Office with outer Venetian Blinds. **Energy & Buildings**. 33(7), 683-697. 2001.

RORIZ, M. **Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros**. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Carlos, 2012. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/arquivos_climaticos/sobre_epw.pdf> Acesso em 14 set. 2015.

SANTO, A. D.; ALVAREZ, C. E.; NICO-RODRIGUES, E. A. Conforto e desempenho térmico em contradição na NBR15575. **Cadernos Proarq** 20, n. 20, ano 1, p. 116-136. URFJ: Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<http://cadernos.proarq.fau.ufrj.br/pt/paginas/edicao/20>>, acesso em out. 2015.

SANTOS, I. G.; SOUZA, R. V. G. de. Revisão de regulamentações em eficiência energética: uma atualização das últimas décadas. **Cadernos de Trabalho – Edição Especial**. Vol. 0 , No. 0 (2007). Publicado em 2012. Disponível em: <<http://www.forumpatrimonio.com.br/print.php?articleID=109&modo=1>>, Acesso em 23 set. 2015.

SCHMIEGUEL, C. Conceito de lei em sentido jurídico. **Ágora**. Revista de Divulgação Científica, ISSN 2237-9010, Mafra, v. 17, n. 1, 2010,

SILVEIRA, R; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. Avaliação da absorvância à radiação solar e temperatura superficial de telhas de fibrocimento utilizadas nas coberturas de edificações do campus da UFSC. In: XIV ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENTAC). **Anais...** Juiz de Fora, 2012.

SINDUSCON – Sindicato da Indústria e do Comércio de Maceió. Indicador de Velocidade de Vendas: Mercado Imobiliário da Região Metropolitana de Maceió Residencial e Comercial.

Relatório. SINDUSCON: Maceió, 2013. Disponível em :
<<http://www.sindicatodaindustria.com.br/publicacoes/2015/07/72,60350/indice-indicadores.html>>. Acesso em: 3 Mar. 2015.

_____. Indicador de Velocidade de Vendas: Mercado Imobiliário da Região Metropolitana de Maceió Residencial e Comercial. **Relatório.** SINDUSCON: Maceió, 2014. Disponível em :
<<http://www.sindicatodaindustria.com.br/publicacoes/2015/07/72,60350/indice-indicadores.html>>. Acesso em: 3 Mar. 2015.

_____. Indicador de Velocidade de Vendas: Mercado Imobiliário da Região Metropolitana de Maceió Residencial e Comercial. **Relatório.** SINDUSCON: Maceió, 2015. Disponível em :
<<http://www.sindicatodaindustria.com.br/publicacoes/2015/07/72,60350/indice-indicadores.html>>. Acesso em: 3 Mar. 2015.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Análise do método de simulação de desempenho térmico da norma NBR 15.575. XII Encontro Nacional e VIII Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC/ELACAC, Brasília, 2013. In: **Paranoá**, Brasília, no 12, p. 13-22, 2014.

SORGATO et al. Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 Para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 83-101, out./dez. 2014.

TOLEDO, A. M. **Avaliação do desempenho da ventilação natural pela ação do vento em apartamentos:** uma aplicação em Maceió/AL. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

TOLEDO, A. M.; PEREIRA, F. O. R. Visualização analógica da ventilação natural pela ação do vento em edifícios residenciais na mesa d'água. In: I CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL; X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais...** São Paulo, 2004.

TORRES, D. ADELINO, T. A influência das dimensões de aberturas na distribuição da luz natural em um dormitório com base nos parâmetros do (RTQ-R): estudo realizado na cidade de Maceió/AL. In: XII ENCONTRO NACIONAL E VIII LATINOAMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENCAC/ELACAC. **Anais...** Brasília, 2013.

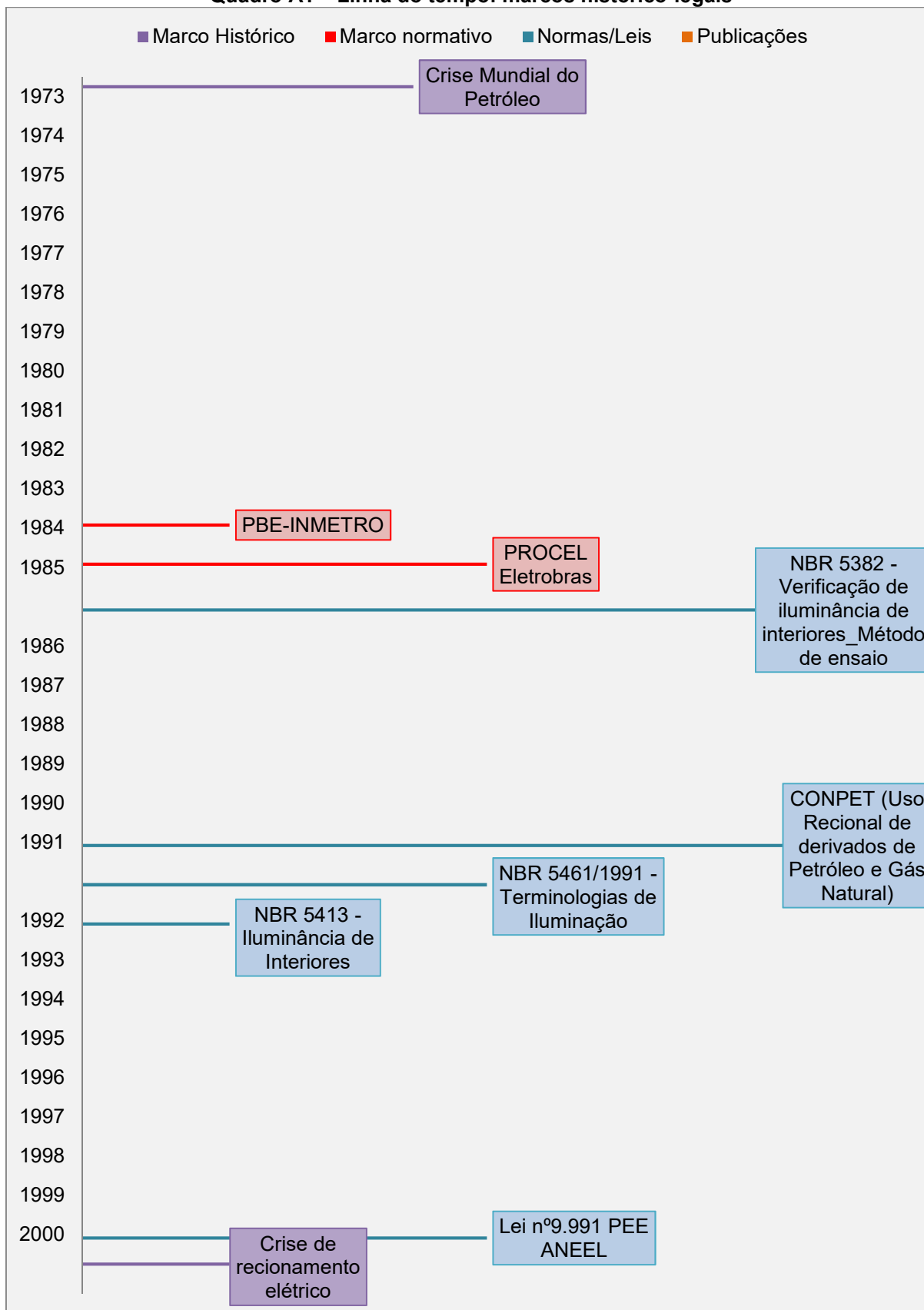
TREGUENZA, P.; LOE, D. **The design of lighting.** [1998: 1 ed.]. Londres: ed. Digital, 2004.

WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. Simulação térmica e energética de edificações a partir de dados climáticos simplificados: validação através do método BESTEST. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.4, n.3, p. 37-49, jul./set. 2004.

YIN, R. K. **Estudo de Caso:** Planejamento e Métodos. Tradução Daniel Grassi. 2 Ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

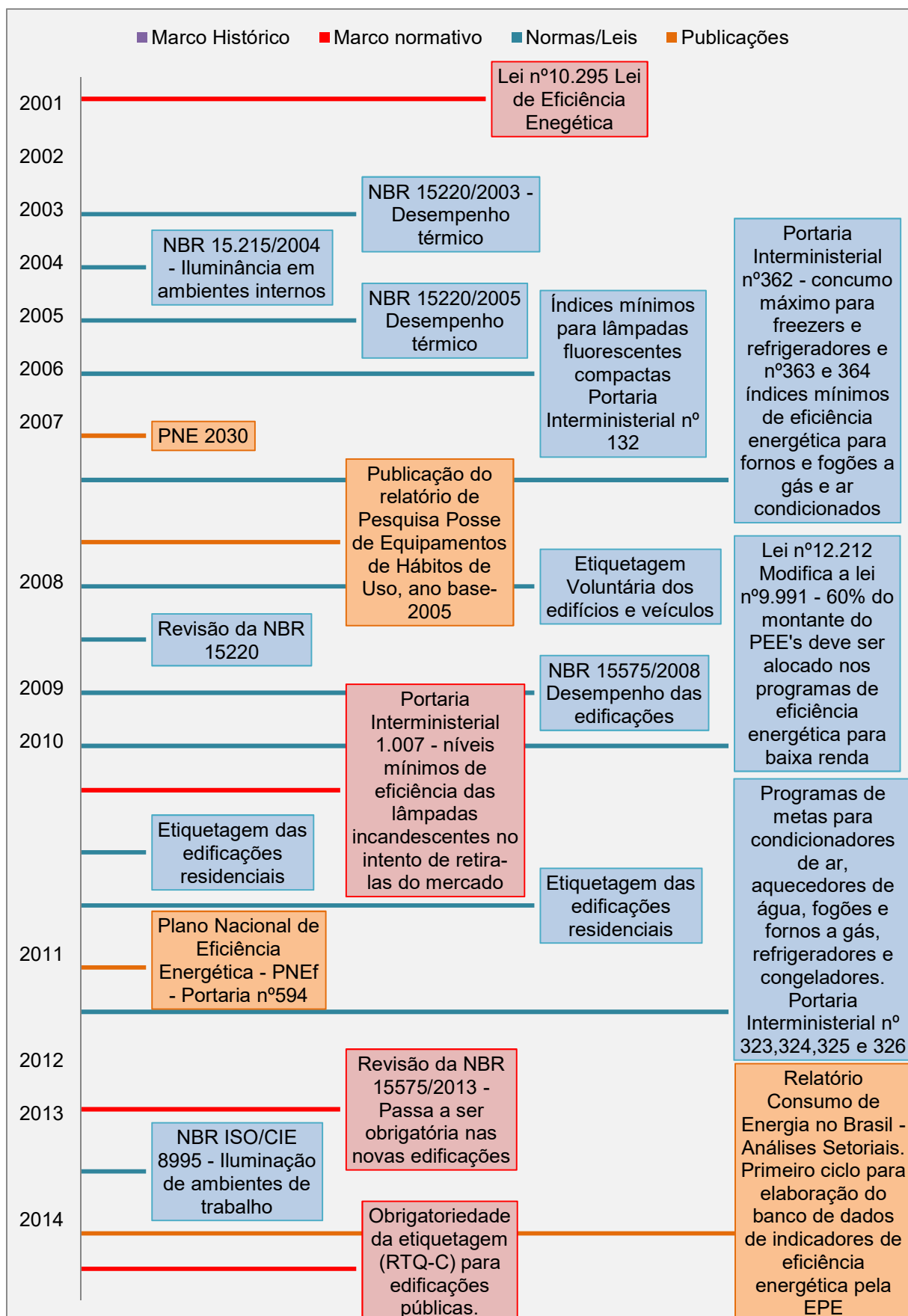
APÊNDICE A – Linha do tempo

Quadro A1 – Linha do tempo: marcos histórico-legais



(Continua na próxima página)

(Continuação da linha do tempo)

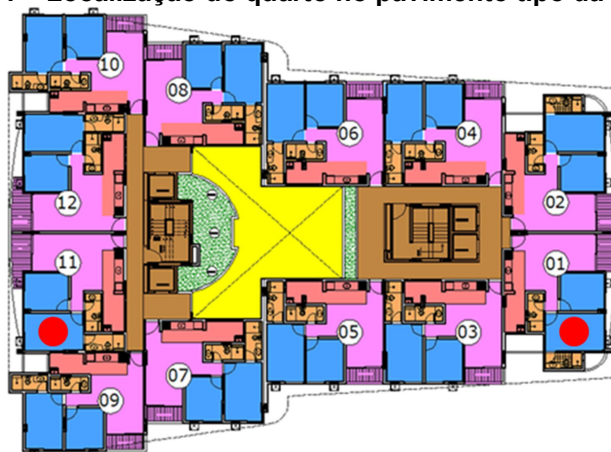


Fonte: Adaptado de EPE (2014b).

APÊNDICE B – Balanço térmico do Caso 2/Grupo2

As análises do balanço térmico dos modelos foram realizadas com o intuito de caracterizar o comportamento do ambiente frente à insolação, ventilação e cargas internas. Elas serviram como subsídio à interpretação dos resultados do desempenho térmico dos ambientes analisados, em função dos critérios estabelecidos para o grupo 2 de simulações. O balanço térmico foi realizado para o quarto do casal das Unidades Habitacionais (UH) voltadas para leste e para oeste, no 1º pavimento e na cobertura do edifício (12º pavimento). Para todos os casos analisados foram consideradas UHs naturalmente ventiladas durante as 24 horas do dia. A figura B1 mostra a planta baixa do pavimento tipo, destacando o ambiente do quarto analisado em sua localização no pavimento tipo.

Figura B 1 – Localização do quarto no pavimento tipo da edificação



Fonte: Adaptado do projeto arquitetônico.

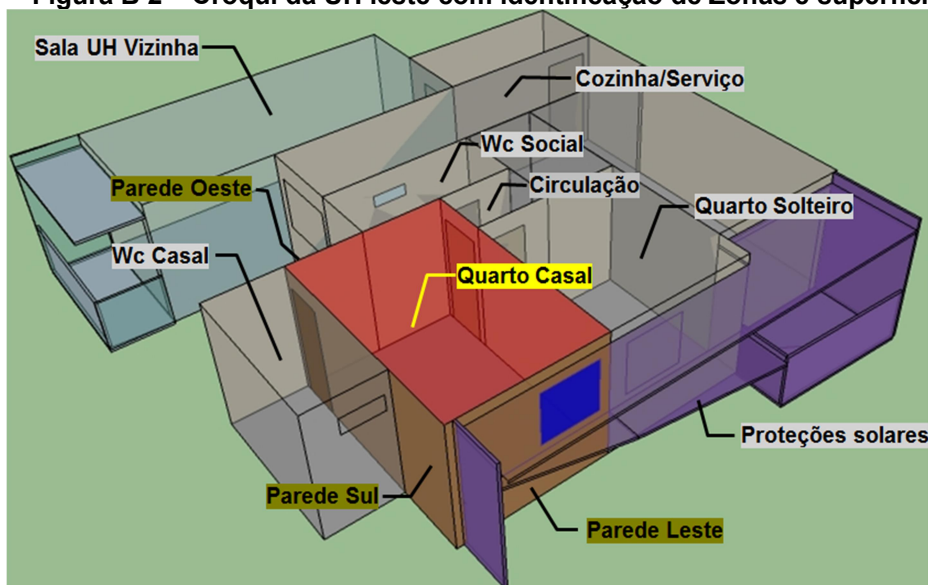
Legenda	
	Quartos
	Sala jantar/estar
	Cozinha/serviço
	Banheiros
	Circulação comum
	Vazio central
	Quarto analisado

Optou-se por estudar o comportamento diário das cargas térmicas. Para tal, usando o arquivo climático (RORIZ, 2012), foi selecionado o dia mais quente do ano (1º de abril, temperatura externa máxima de 34,03°C) e os três dias que o antecedem.

No apartamento orientado a leste (Figura B2) o quarto do casal possui uma parede inteira exposta ao sol (voltada ao leste) e duas paredes parcialmente expostas, sendo uma voltada para sul e outra para oeste. A Parede Leste possui uma janela e proteção horizontal e vertical e a Parede Oeste tem parte da insolação bloqueada por outra unidade habitacional da edificação. As superfícies das UHs são iguais no 1º e 12º pavimentos, exceto pelo piso e teto. No 1º pavimento o teto está em contato com a UH do 2º andar da edificação e o piso foi considerado exposto ao exterior, por ser parte do pilotis (pavimento que funciona como garagem dos carros, tendo como ambientes fechados apenas elevadores, escada e

recepção). O 12º pavimento tem o piso em contato com o 11º andar e o teto em contato com a cobertura da edificação, exposta ao sol.

Figura B 2 – Croqui da UH leste com identificação de Zonas e superfícies.



Fonte: A autora.

Os gráficos B1 e B2 apresentam os ganhos e perdas de calor das superfícies na UH-Leste para, respectivamente, 1º e 12º pavimentos. O ganho de calor (sinal positivo) significa que a superfície está absorvendo calor do ambiente. A perda de calor (sinal negativo) significa que a superfície está perdendo calor para o ambiente, portanto a mesma está resfriando e o ambiente aquecendo.

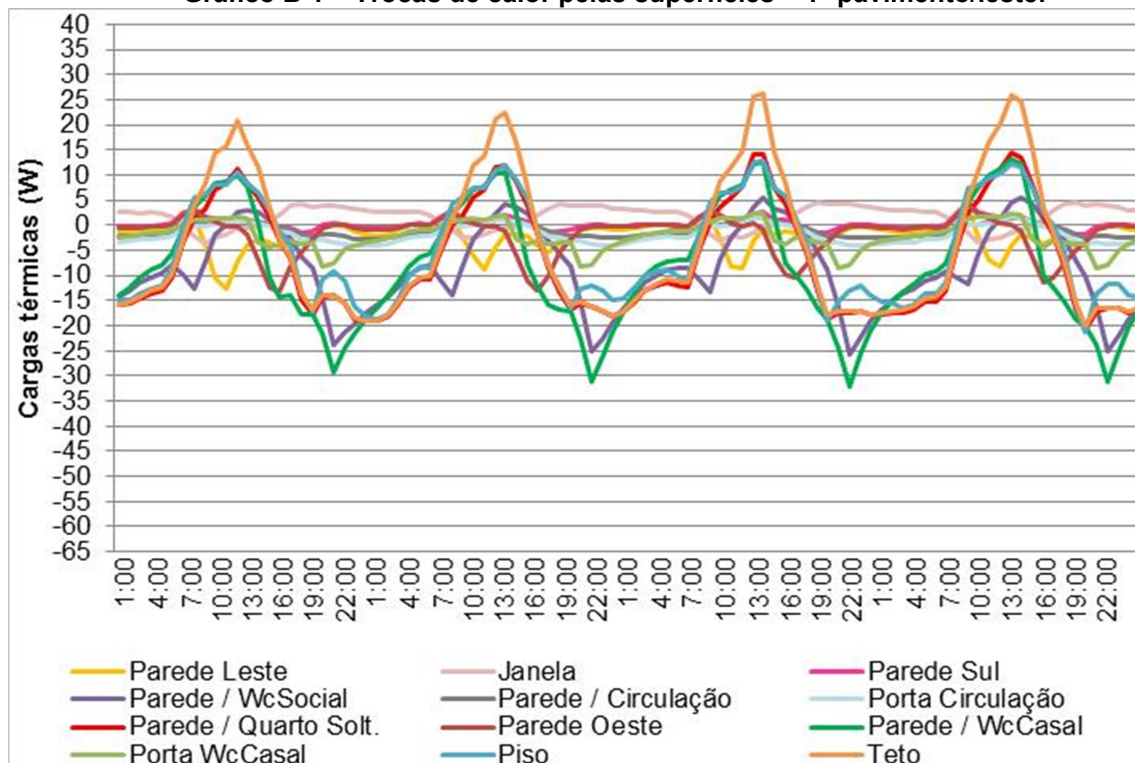
O gráfico B1 (1º pavimento) mostra que o teto absorve calor do ambiente entre as 8h e as 16h, quando inverte o processo e começa a perder calor, para o ambiente. O piso do 1º andar acumula calor no mesmo intervalo que o teto, entre as 8h e as 16h, liberando essa carga térmica para o ambiente no restante do dia.

No 12º pavimento (gráfico B2) o teto absorve calor do ambiente entre 7h e 14h, quando começa a transmitir calor. Com a cobertura exposta diretamente à insolação, a superfície interna do teto perde mais calor para o ambiente interno no 12º pavimento que no 1º pavimento. O intervalo de tempo em que o ambiente recebe calor pelo teto é ampliado em 1h comparando o 12º andar em relação ao 1º.

Quanto ao piso, no 12º andar o intervalo de aquecimento da superfície muda para 9h às 16h. Nas outras 17 horas restantes, o piso passa calor para o ambiente, ou seja, neste andar, o piso começa a liberar calor para o ambiente mais tarde que o teto. Sobre a diferença dos fluxos de calor entre os pisos dos dois pavimentos, tem-se que no 1º pavimento o piso está exposto ao exterior (pavimento pilotis, com a garagem dos carros, sombreado e ventilado). Tal condição favorece o resfriamento dessa superfície, enquanto no

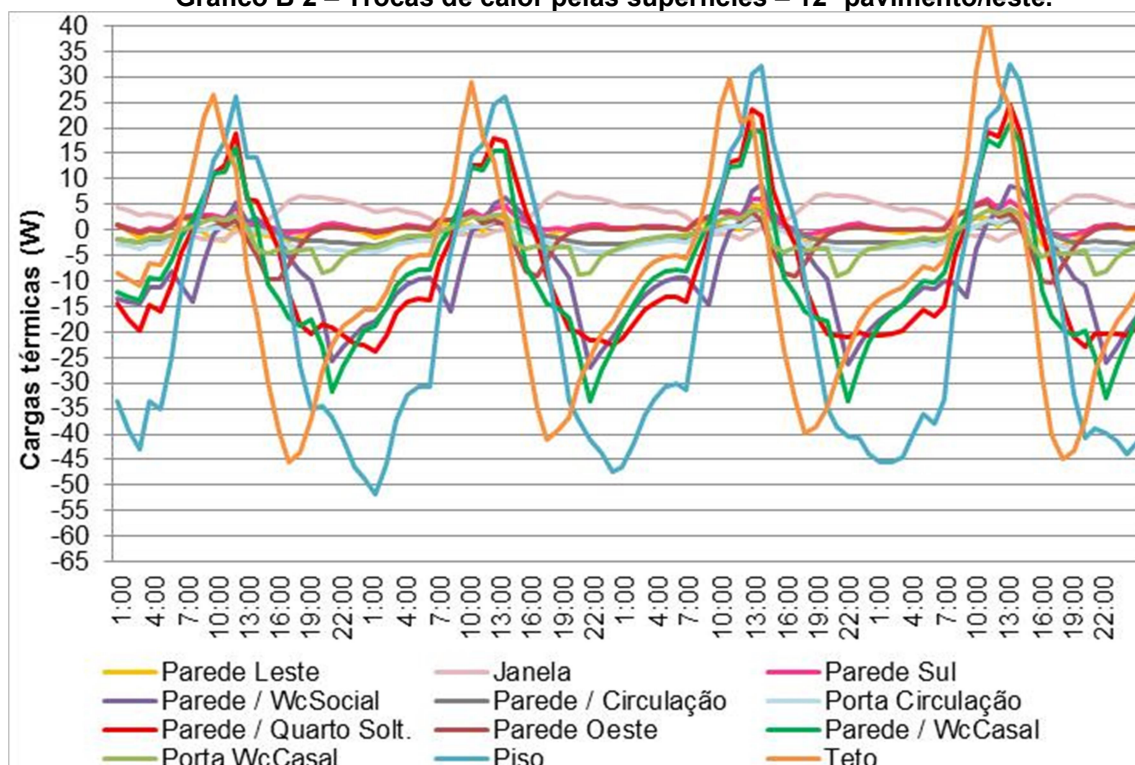
12º pavimento piso do ambiente encontra-se mais propenso a acumular calor devido ao contato com o pavimento inferior, intensificando as trocas térmicas com o ambiente em estudo.

Gráfico B 1 – Trocas de calor pelas superfícies – 1º pavimento/leste.



Fonte: A autora.

Gráfico B 2 – Trocas de calor pelas superfícies – 12º pavimento/leste.



Fonte: A autora.

Quanto às superfícies das paredes, os gráficos do 1º e do 12º pavimento possuem comportamento semelhante. As paredes responsáveis pelas maiores parcelas de ganhos de calor no quarto orientado a leste são aquelas que estão voltadas para outros ambientes. A parede exposta ao leste absorve calor do ambiente entre as 7h e as 9h, passando as outras 22 horas do dia no processo contrário, transmitindo calor para o quarto. A parede oeste absorve calor do quarto das 7h às 10h, passando 21 horas do dia transmitindo calor para o ambiente. Apesar de estar voltada para o oeste, ela é sombreada pela UH vizinha (ver figura B2). A parede exposta a Sul passa mais tempo retirando calor do ambiente (das 7h às 16h). Ou seja, as paredes expostas estão recebendo ventilação Sul e Sudeste, principais ventos de Maceió, e recebendo pouca insolação. Já os ambientes vizinhos ao quarto de casal estão aquecendo e transmitindo grande parte do calor pelas paredes em comum, que possuem maior área do que as paredes externas.

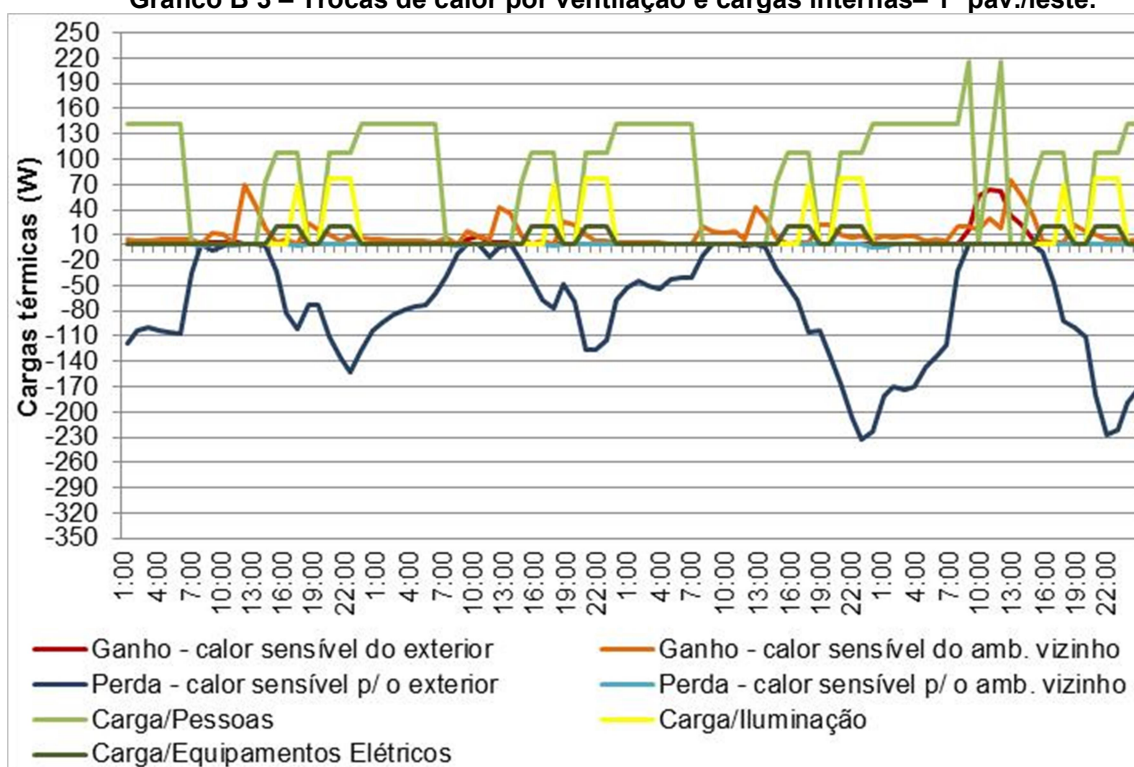
Os gráficos B3 e B4 apresentam os resultados dos ganhos e perdas de calor sensível devido a ventilação³⁶ e pelas cargas internas (pessoas, iluminação e equipamentos). As cargas internas são iguais em todos os gráficos, visto que obedecem aos padrões de uso e ocupação apresentados na metodologia para o Grupo 2 de simulações. Dentre elas, o maior ganho de calor corresponde à ocupação, seguido da iluminação e por último os equipamentos elétricos. Isso mostra a importância de avaliar os ambientes ocupados em avaliações térmicas. Quanto às trocas por ventilação, o gráfico B3 mostra que o 1º pavimento/leste ganha mais calor sensível vindo das frestas e aberturas dos ambientes vizinhos que do exterior. Entretanto o gráfico destaca-se com a perda de calor devido à ventilação (trocas de ar com o exterior) durante a tarde até o início da manhã.

No 12º pavimento leste, o ambiente de estudo perde calor pela ventilação para o exterior principalmente entre o final da tarde (variando em cada dia) e às 7h. As perdas por ventilação para o ambiente vizinho ocorrem entre as 15h e as 8h. O principal ganho de calor ocorre devido à ventilação interna (trocas com os ambientes vizinhos) durante as 8h e 15h.

Observa-se que nas UHs voltadas a leste as trocas térmicas proporcionadas pela ventilação são responsáveis por mais perdas de calor do que por ganhos, tanto com os ambientes vizinhos quanto com o exterior.

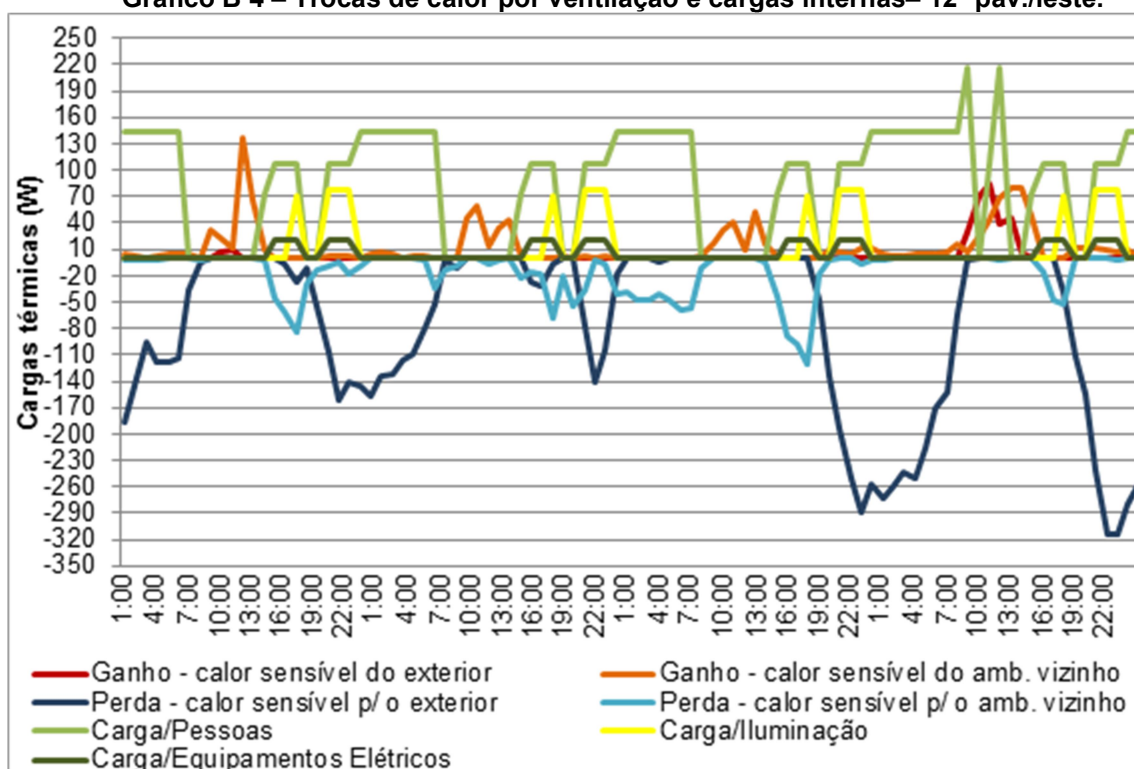
³⁶ A taxa média de ganho (ou de perda) de calor sensível por infiltração no estudo das redes de fluxo de ar do ambiente (*Airflow Network: Zone Infiltration Sensible Heat Gain (or Loss) Rate*), em Wats (W), é correspondente à média do Volume de Infiltração do ar no Ambiente estudado (*Zone Infiltration Volume*). Este volume de infiltração, por sua vez, corresponde ao fluxo de ar do exterior para o interior da edificação, através das frestas de portas e janelas localizadas nas paredes externas. (ENERGYPLUS, 2013).

Gráfico B 3 – Trocas de calor por ventilação e cargas internas– 1º pav./leste.



Fonte: A autora.

Gráfico B 4 – Trocas de calor por ventilação e cargas internas– 12º pav./leste.

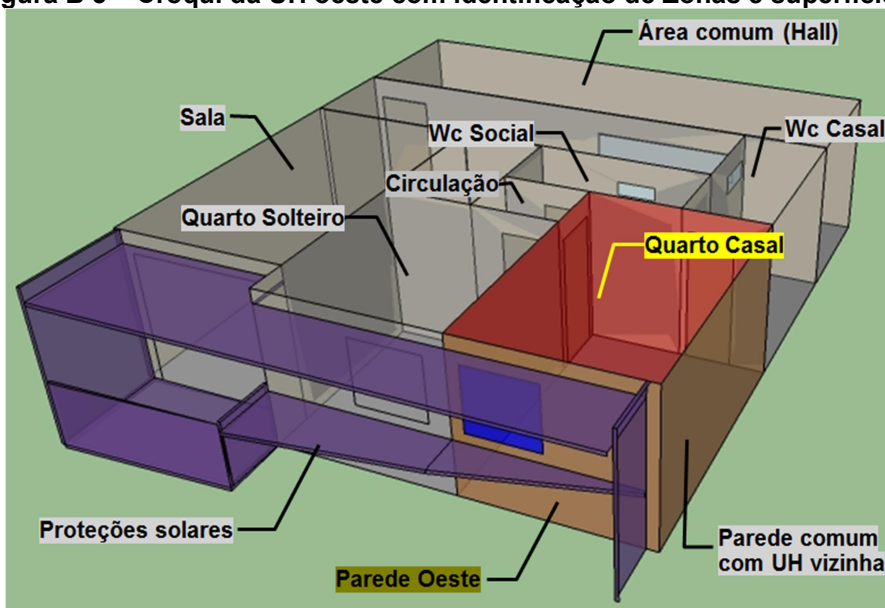


Fonte: A autora.

A UH orientada a oeste tem configuração diferente da UH-Leste. Neste caso, o quarto de casal possui apenas uma parede exposta à insolação (Parede oeste) sendo as demais voltadas para outros ambientes da UH ou para a UH vizinha (figura B3). Neste caso,

assim como na orientação leste, as UHs são iguais no 1º e no 12º pavimento, exceto pelo piso e pelo teto, que possuem as mesmas características encontradas na UH-Leste. No primeiro pavimento, o piso está exposto ao pavimento pilotis e o teto em contato com a UH do 2º pavimento. No 12º andar, o piso está em contato com o 11º pavimento e o teto em contato com a cobertura, exposta ao exterior.

Figura B 3 – Croqui da UH oeste com identificação de Zonas e superfícies.



Fonte: A autora.

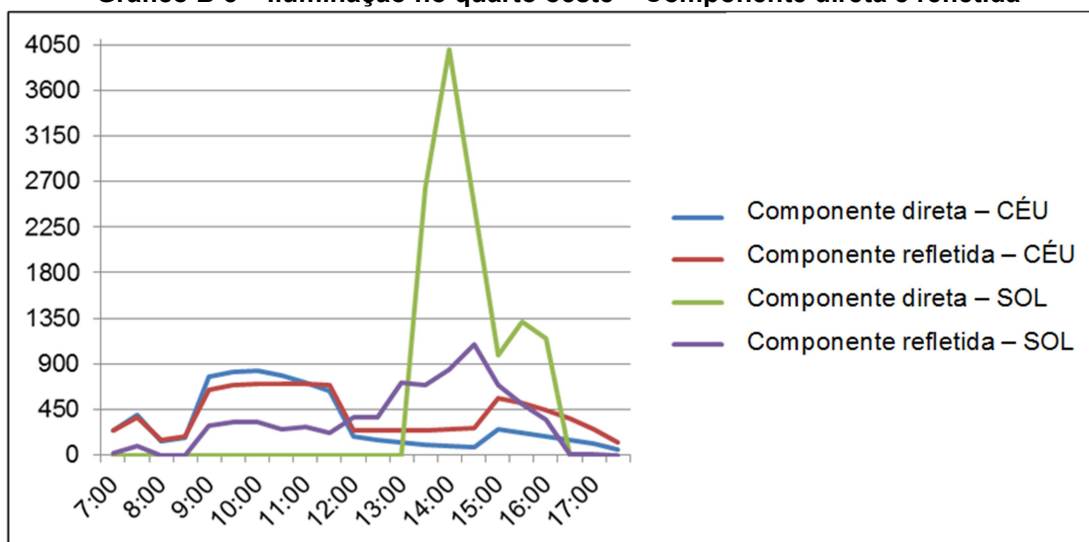
Para a UH-Oeste, os gráficos B7 e B8 apresentam os ganhos e as perdas de calor pelas superfícies para o 1º e o 12º pavimento, respectivamente.

Na UH-Oeste localizada no 1º pavimento (Gráfico B7) as superfícies com as maiores cargas térmicas e que transmitem calor para o ambiente durante um período maior são, além do piso e do teto, as paredes comuns com o quarto de solteiro e com o apartamento vizinho. O teto e o piso absorvem o calor do ambiente entre as 8h e às 16h, quando começam a liberar carga térmica para o ambiente. Quanto às superfícies das paredes, aquelas em comum com a UH vizinha, com o Wc Social e a parede de separação com o quarto de solteiro são responsáveis pelos maiores ganhos de calor pelo ambiente e também possuem maior área. No 12º pavimento, a única parede voltada para o exterior tem pequena contribuição para o aquecimento do ambiente, visto que apresenta uma área pequena quando comparada às paredes internas além de estar sombreada.

Neste caso, assim como aconteceu na UH-Leste, as superfícies do piso e do teto são as principais responsáveis pelos ganhos de calor do ambiente. O teto absorve calor do ambiente entre as 7h e 13h, sendo este um intervalo menor que o teto do 1º pavimento. No restante do dia esta superfície transmite calor para o quarto de casal, chegando ao pico por volta das 18h. Com o teto do ultimo andar em contato com a cobertura, exposta à insolação, é

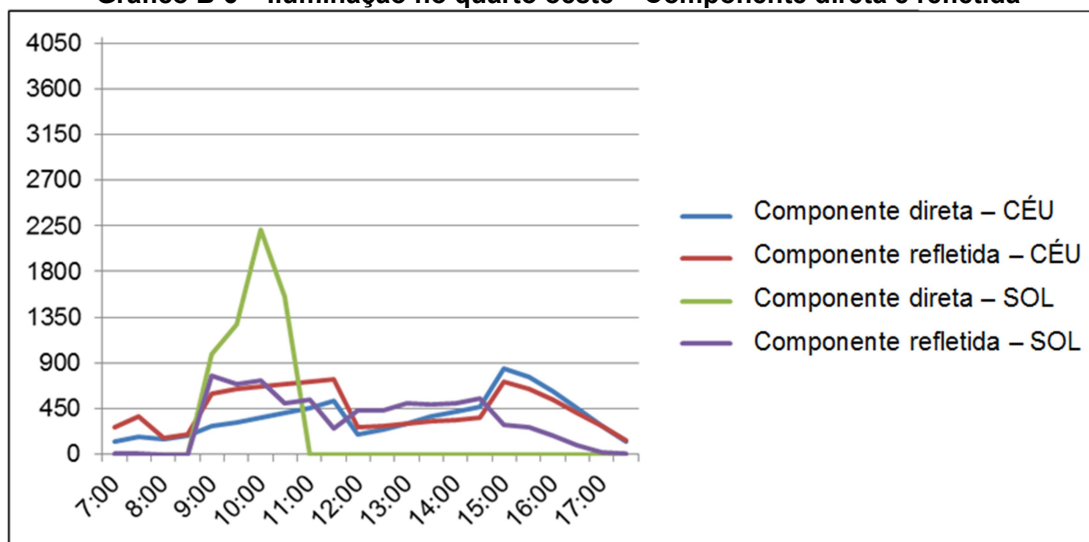
natural que ele fique mais tempo transmitindo calor para o ambiente do que o teto do 1º andar. Já o piso absorve calor entre 8h e 17h, para então começar a transmitir carga térmica para o ambiente. Nota-se que no 12º pavimento o piso está transmitindo mais carga térmica para o ambiente do que o teto, apesar do telhado estar exposto à insolação direta. Além da carga vinda do pavimento inferior, o piso recebe insolação direta na superfície interna, elevando sua temperatura e fazendo com que haja uma maior transmissão de calor para o ambiente. Observando-se os resultados das simulações realizadas com o programa Troplux, no dia mais quente utilizado para estas análises (1º de abril), com o céu dinâmico utilizado no Grupo 2, verifica-se que no plano de trabalho (0,75m de altura em relação ao piso), o quarto oeste recebe luz direta vinda do céu entre as 7h e as 17:30 (gráfico B5). Na UH-Leste, a luz direta provinda do sol incide no plano horizontal durante um intervalo menor, das 9h as 10:30 (gráfico B6).

Gráfico B 5 – Iluminação no quarto oeste – Componente direta e refletida



A autora.

Gráfico B 6 – Iluminação no quarto oeste – Componente direta e refletida



A autora.

Gráfico B 7 – Trocas de calor pelas superfícies – 1º pavimento/oeste.

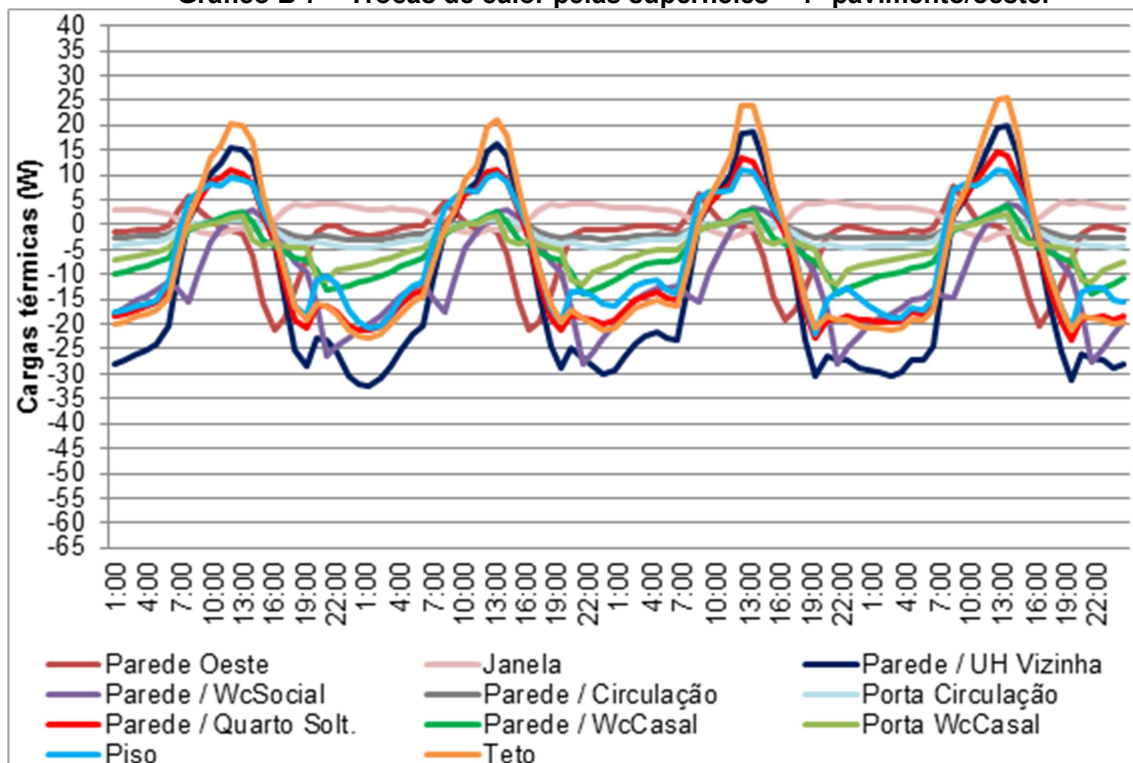
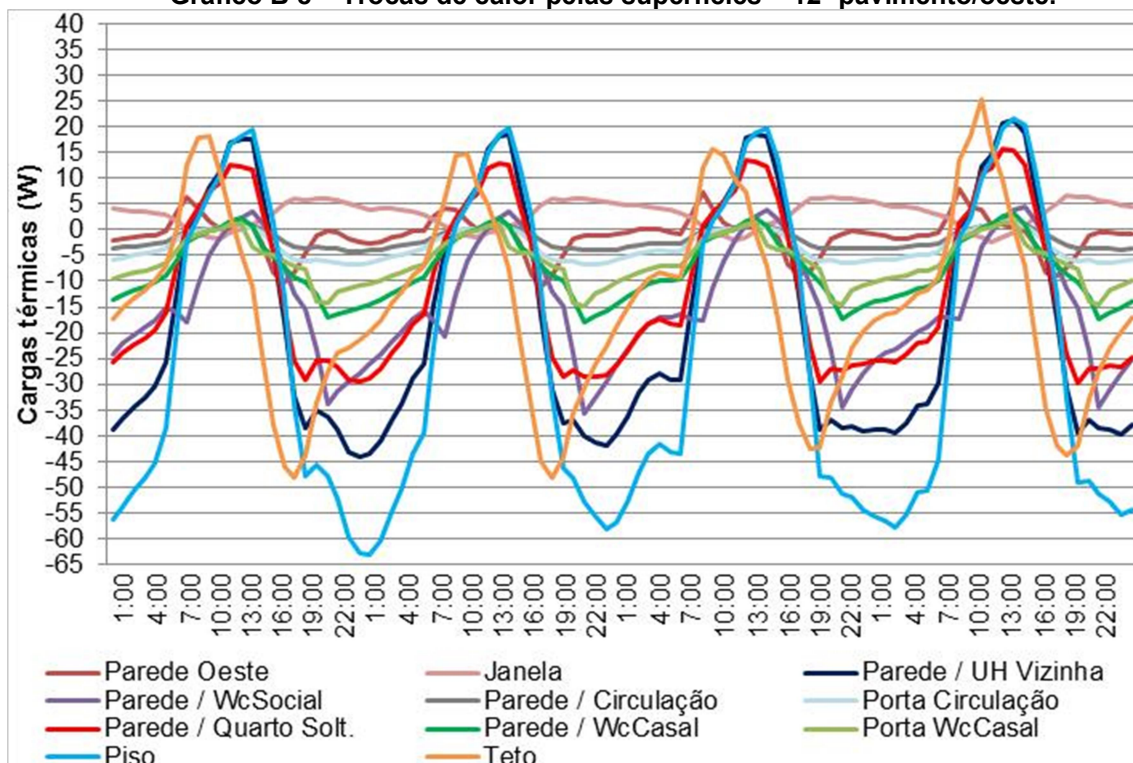
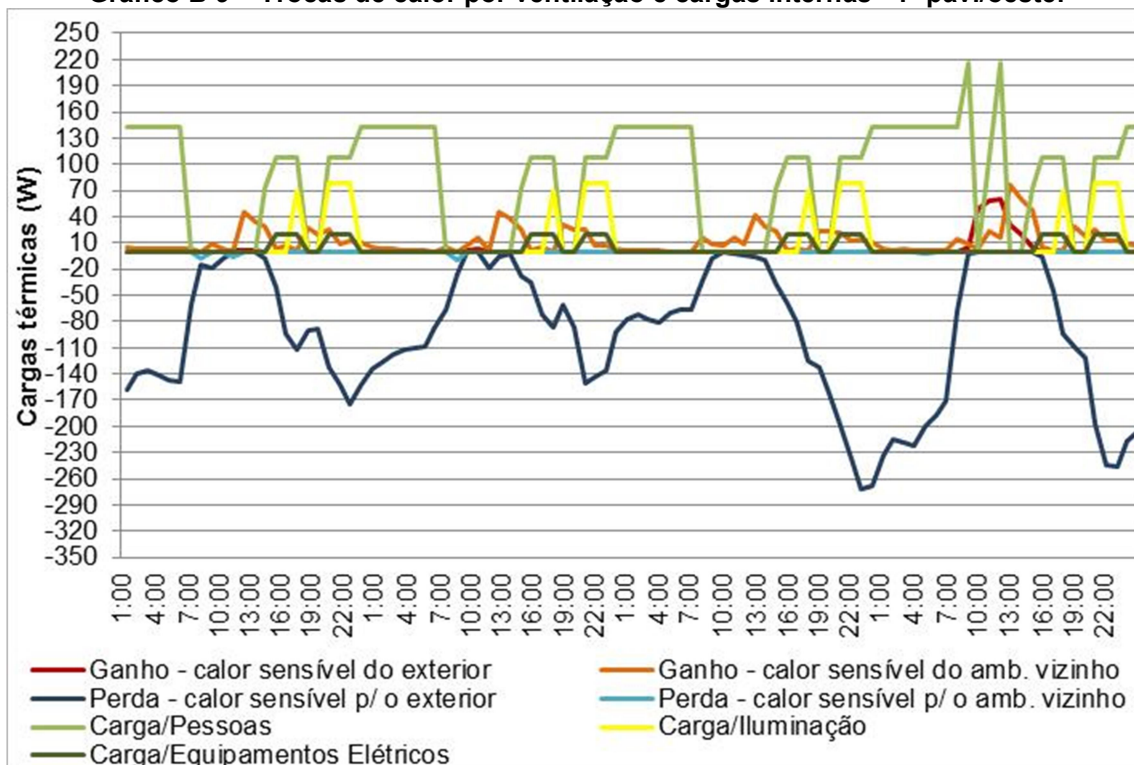


Gráfico B 8 – Trocas de calor pelas superfícies – 12º pavimento/oeste.



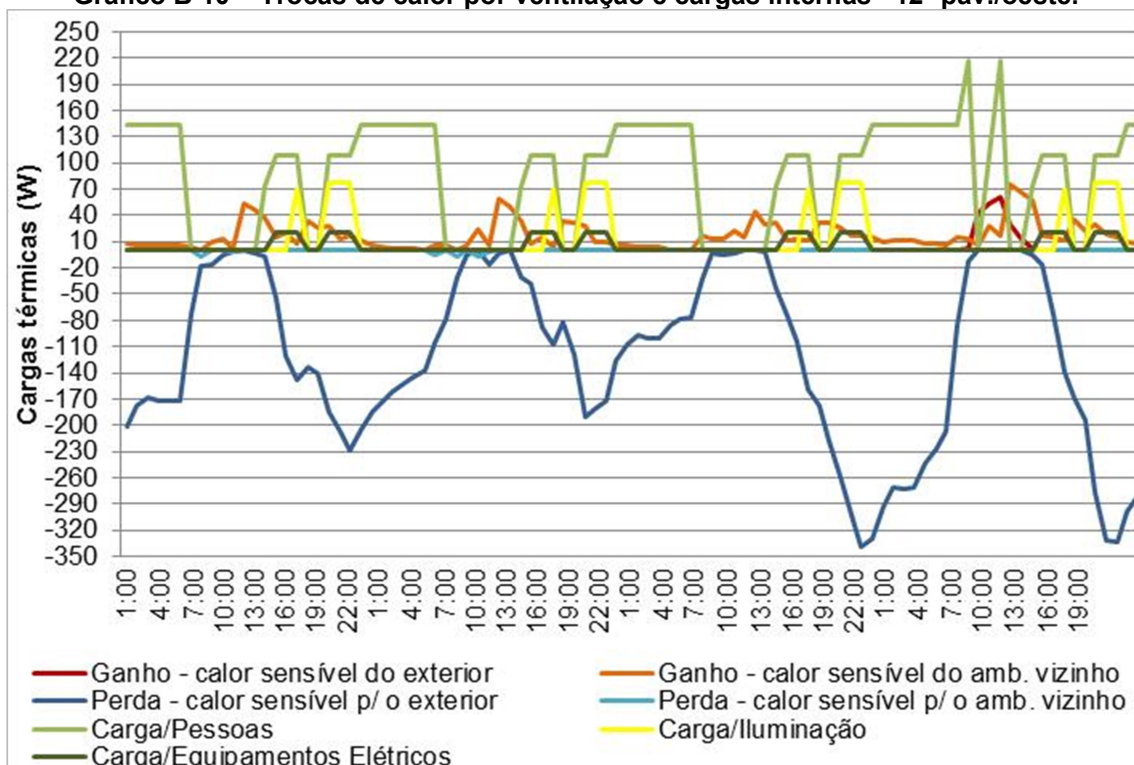
Os gráficos B9 e B10 expõem as trocas de calor sensível que acontecem por convecção e o calor transmitido ao ambiente pelas pessoas, iluminação e equipamentos (cargas térmicas internas).

Gráfico B 9 – Trocas de calor por ventilação e cargas internas– 1º pav./oeste.



Fonte: A autora.

Gráfico B 10 – Trocas de calor por ventilação e cargas internas– 12º pav./oeste.



Fonte: A autora.

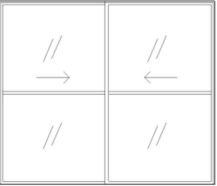
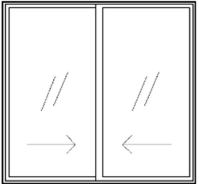
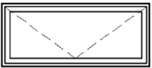
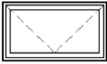
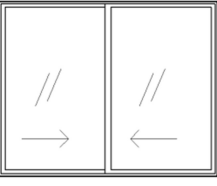
As cargas internas são iguais as das UHs-Leste, visto que se referem ao padrão de uso e ocupação do ambiente, assim como anteriormente explicitado. O comportamento dos gráficos das UHs-oeste assemelha-se com o das UHs-leste. Há variação na quantidade de calor trocado, entretanto, permanece a perda por convecção com o exterior destacando-se nos gráficos. O ganho de calor do volume de ar vindo das frestas e aberturas do ambiente vizinho também permaneceu maior que da ventilação vinda do exterior.

Percebe-se que a variação das trocas de calor sensível por convecção são semelhantes nos quatro gráficos. Essas trocas acontecem entre dois espaços, por convecção, indo no sentido da zona mais quente para a mais fria. Se o ambiente está perdendo calor para o exterior, significa que a temperatura interna do ambiente está mais alta que a temperatura externa. Por outro lado, se o ambiente está ganhando calor dos ambientes vizinhos, sua temperatura está mais baixa que a deles.

APÊNDICE C – Detalhamento das esquadrias

O quadro C1 apresenta o dimensionamento e a descrição das esquadrias do objeto de estudo.

Quadro C 1 – Descrição e dimensões das esquadrias das terminações 01 e 11

Term.	Esquadria	Descrição	Área efetiva de ventilação (m ²)	Área envidraçada (m ²)	Área da Esquadria (m ²)
Terminações 01 e 11 (Esquadrias em comum)	Porta Sala/Varanda 	Tipo: → 2 folhas de correr Material: → Caixilho (10mm) e Perfil (40mm) em Alumínio anodizado preto → Vidro temperado 5mm, transparente	2.8	Para Janela Fechada: 5.20	5.76
				Para Janela Aberta: 2.60	
	Janela Quarto solteiro e casal 	Tipo: → 2 folhas de correr Material: → Caixilho (10mm) e Perfil (40mm) em Alumínio anodizado preto → Vidro simples 5mm, transparente	0.6	Para Janela Fechada: 1.10	1.32
		Para Janela Aberta: 0.55			
Terminação 01	Janela WCB social 	Tipo: → Maxim-AR 90° Material: → Caixilho (10mm) e Perfil (40mm) em Alumínio anodizado preto → Vidro simples 5mm, transparente	0.14 ¹	Para Janela Fechada: 0.14	0.21
				Para Janela Aberta: 0.03 ²	
Terminação 01	Janela WCB suíte 	Tipo: → Maxim-AR 90° Material: → Caixilho (10mm) e Perfil (40mm) em Alumínio anodizado preto → Vidro simples 5mm, transparente	0.11 ¹	Para Janela Fechada: 0.10	0.17
				Para Janela Aberta: 0.02 ²	
Terminação 01	Janela Serviço 	Tipo: → 2 folhas de correr Material: → Caixilho (10mm) e Perfil (40mm) em Alumínio anodizado preto → Vidro simples 5mm, transparente	0.72	Para Janela Fechada: 1.32	1.56
				Para Janela Aberta: 0.66	

(Continua na próxima página)

(Continuação do quadro C1)

Terminação 11	<p>Janela Serviço</p> 	<p>Tipo: → Maxim-AR 90°</p> <p>Material: → Caixilho (10mm) e Perfil (40mm) em Alumínio anodizado preto → Vidro simples 5mm, transparente</p>	0.56 ¹	<p>Para Janela Fechada: 0.53</p>	0.79
				<p>Para Janela Aberta: 0.10²</p>	
	<p>Janela WCB suíte</p> 	<p>Tipo: → Maxim-AR 90°</p> <p>Material: → Caixilho (10mm) e Perfil (40mm) em Alumínio anodizado preto → Vidro simples 5mm, transparente</p>	0.16 ¹	<p>Para Janela Fechada: 0.16</p>	0.24
				<p>Para Janela Aberta: 0.03²</p>	

¹ Área efetiva de ventilação equivale a 80% da área da janela (exceto caixilho), em janelas de abertura tipo Maxim-AR, de acordo com a Portaria N° 018/ 2012 do Inmetro, RTQ-R, Anexo II, 2012.

² Área envidraçada para momento em que a janela está aberta equivale a 20% da área envidraçada total, seguindo o raciocínio dado pelo RTQ-R cuja área de ventilação é de 80% para esta tipologia de janela

Fonte: A autora.

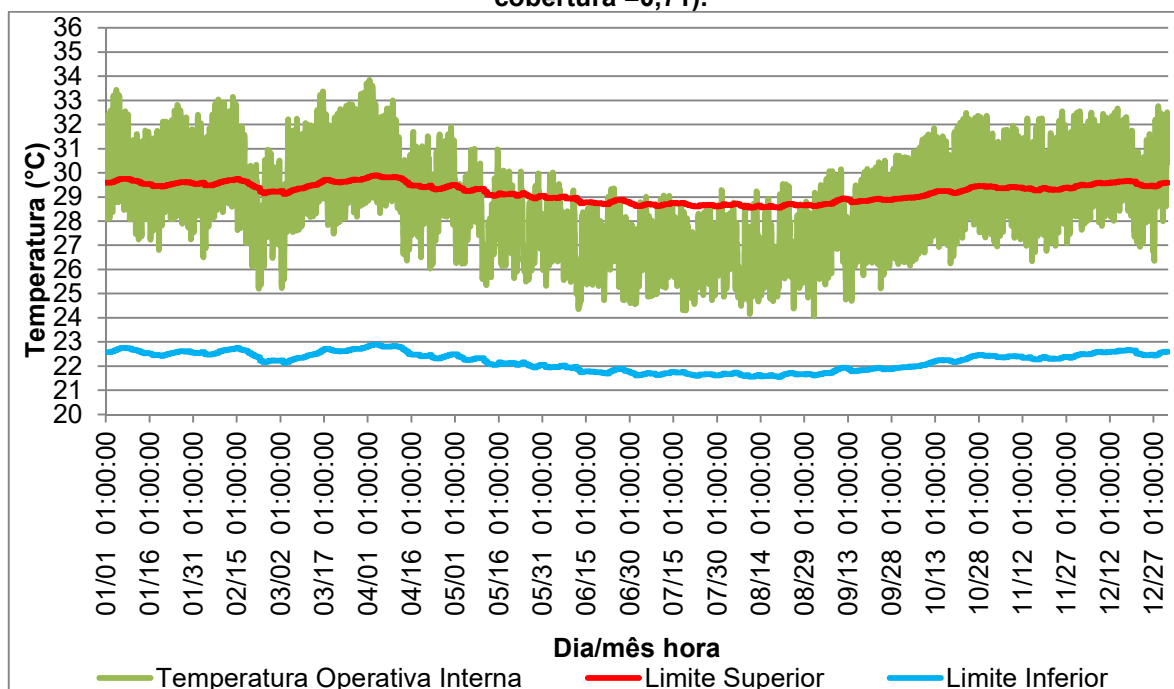
APÊNDICE D – Resultados complementares das simulações de desempenho térmico do Grupo 2.

Neste apêndice constam os gráficos dos resultados das simulações do Grupo 2 complementares ao texto do trabalho. São os gráficos do 1º pavimento a oeste e do 1º e 12º pavimento a leste.

CASO 2.1

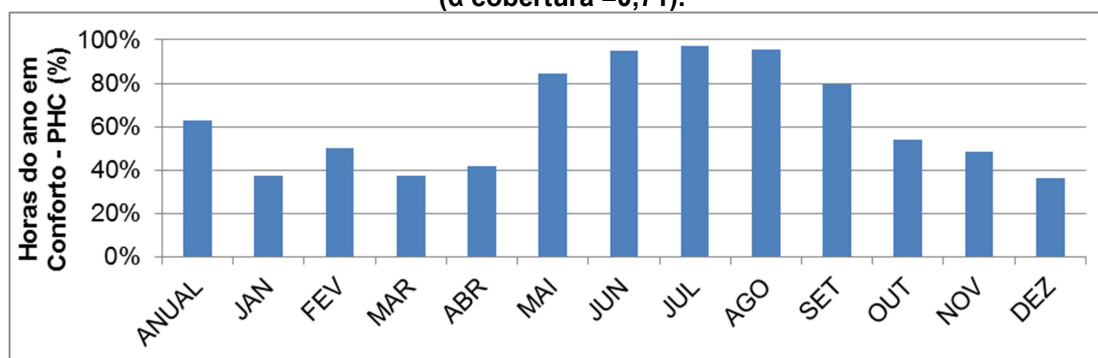
Resultados para Caso 2.1/Oeste, com absorvância da cobertura de 0,71:

Gráfico D 1 – Caso 2.1/Grupo 2 – Zona de Conforto Adaptativo – 1º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).



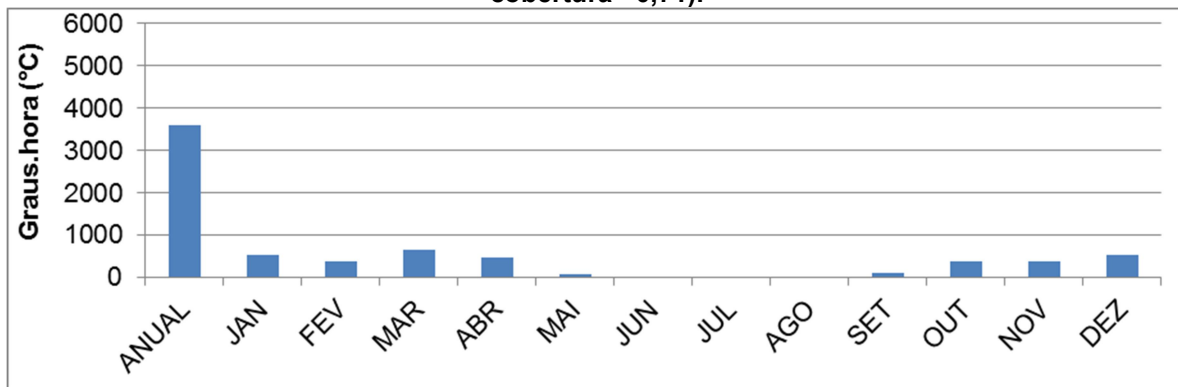
Fonte: A autora.

Gráfico D 2 – Caso 2.1/Grupo 2 – Percentual de Horas em Conforto (PHC) – 1º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).



Fonte: A autora.

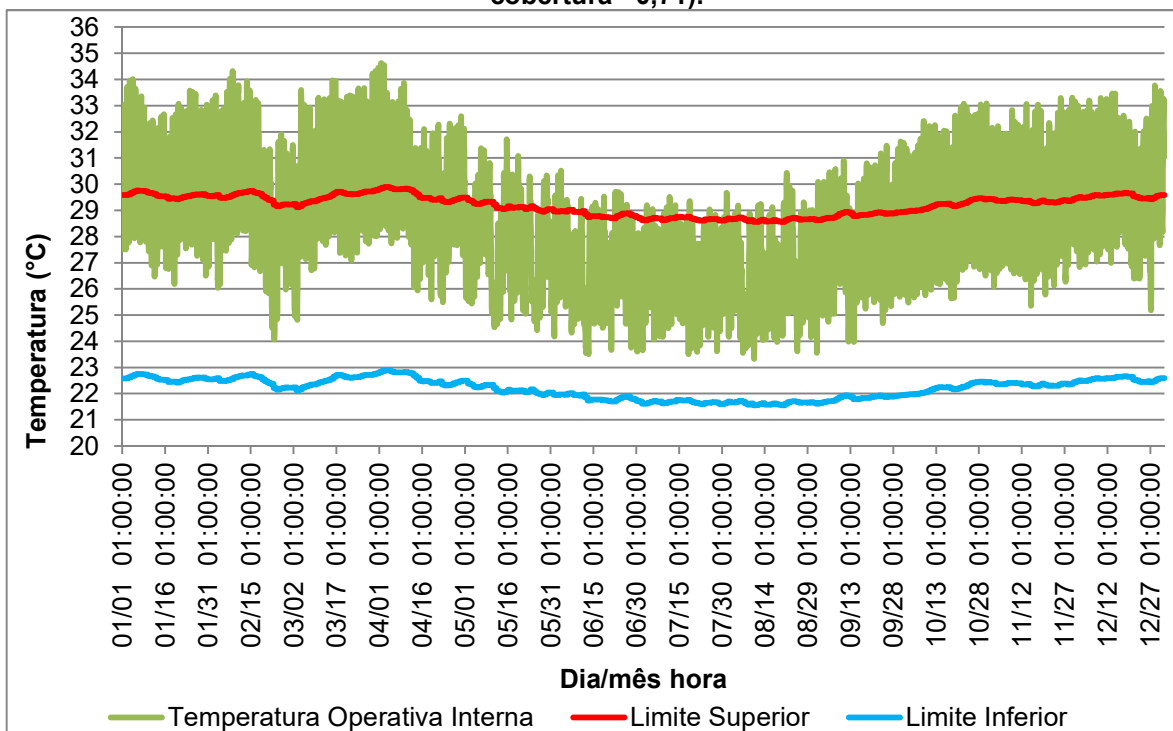
Gráfico D 3 – Caso 2.1/Grupo 2 – Graus Hora de Resfriamento (GHR) – 1º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).



Fonte: A autora.

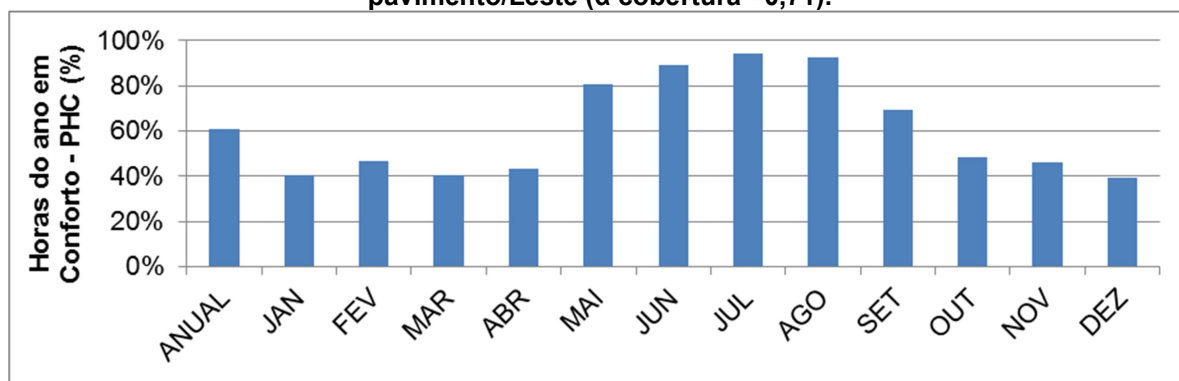
Resultados para Caso 2.1/Leste, com absorção da cobertura de 0,71:

Gráfico D 4 – Caso 2.1/Grupo 2 – Zona de Conforto Adaptativo – 12º pavimento/Leste (α cobertura =0,71).



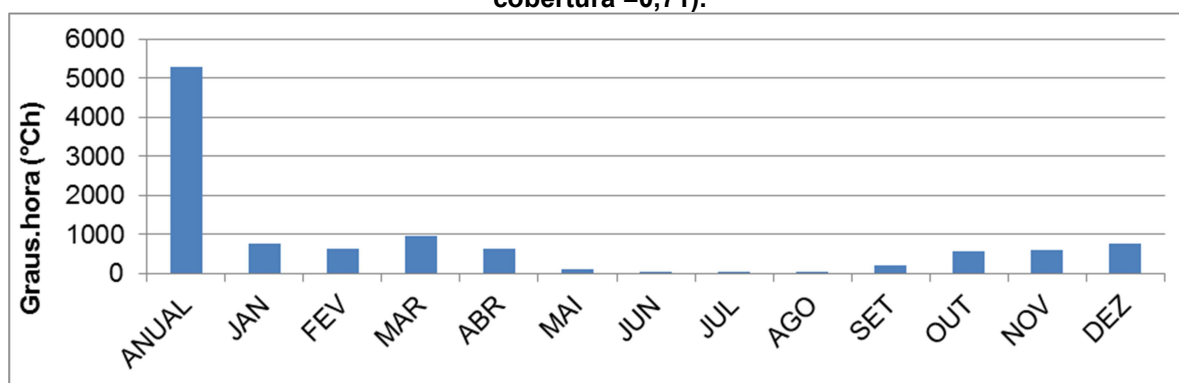
Fonte: A autora.

Gráfico D 5 – Caso 2.1/Grupo 2 – Percentual de Horas em Conforto (PHC) – 12º pavimento/Leste (α cobertura =0,71).



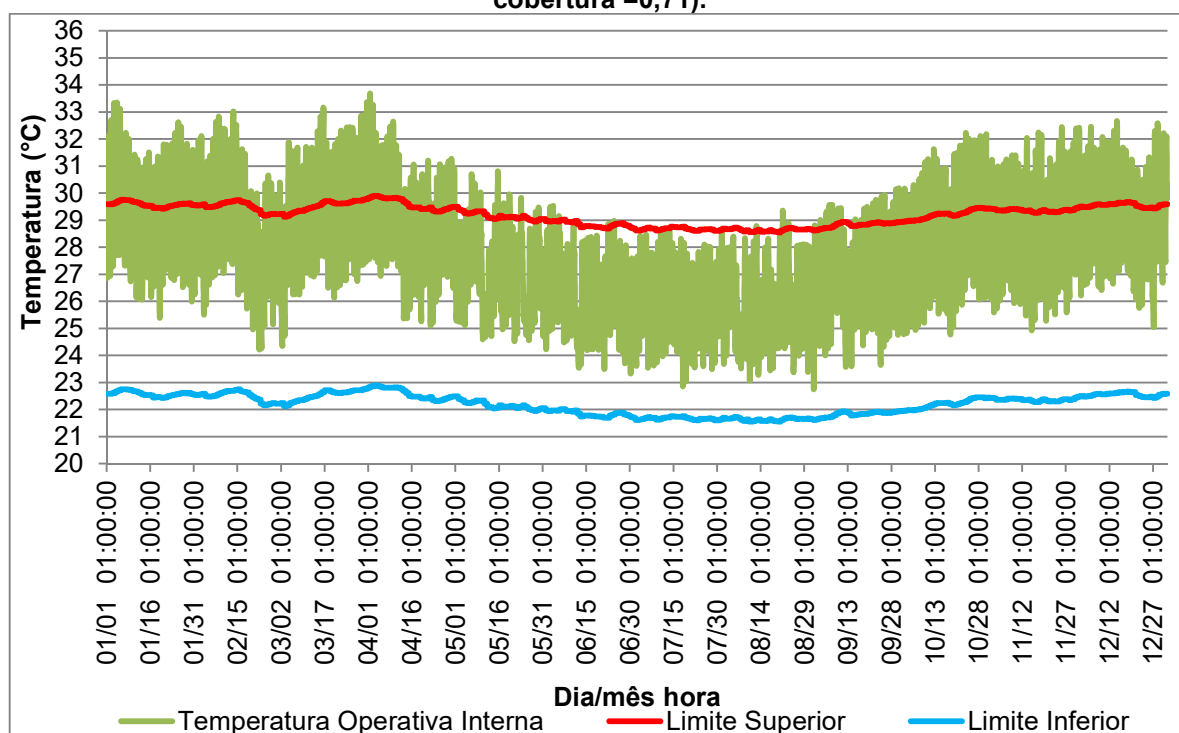
Fonte: A autora.

Gráfico D 6 – Caso 2.1/Grupo 2 – Graus Hora de Resfriamento (GHR) – 12º pavimento/Leste (α cobertura =0,71).



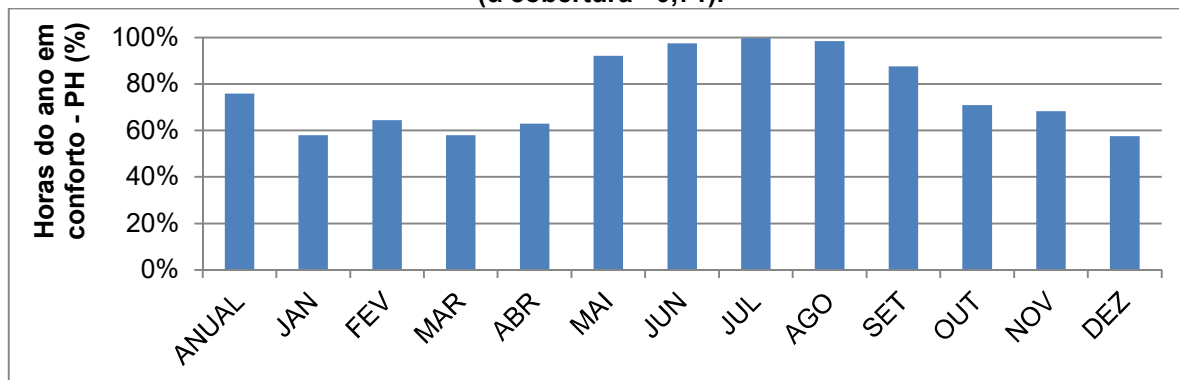
Fonte: A autora.

Gráfico D 7 – Caso 2.1/Grupo 2 – Zona de Conforto Adaptativo – 1º pavimento/Leste (α cobertura =0,71).



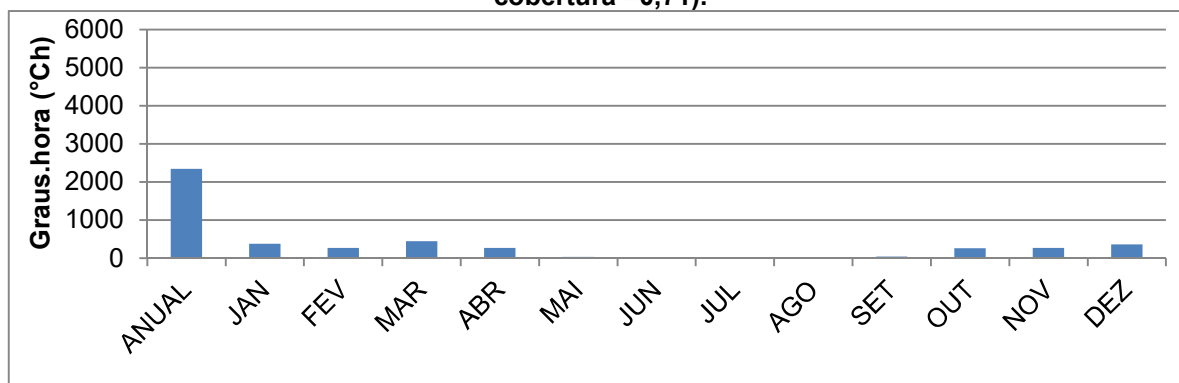
Fonte: A autora.

Gráfico D 8 – Caso 2.1/Grupo 2 – Percentual de Horas em Conforto (PHC) – 1º pavimento/Leste (α cobertura =0,71).



Fonte: A autora.

Gráfico D 9 – Caso 2.1/Grupo 2 – Graus Hora de Resfriamento (GHR) – 12º pavimento/Leste (α cobertura =0,71).

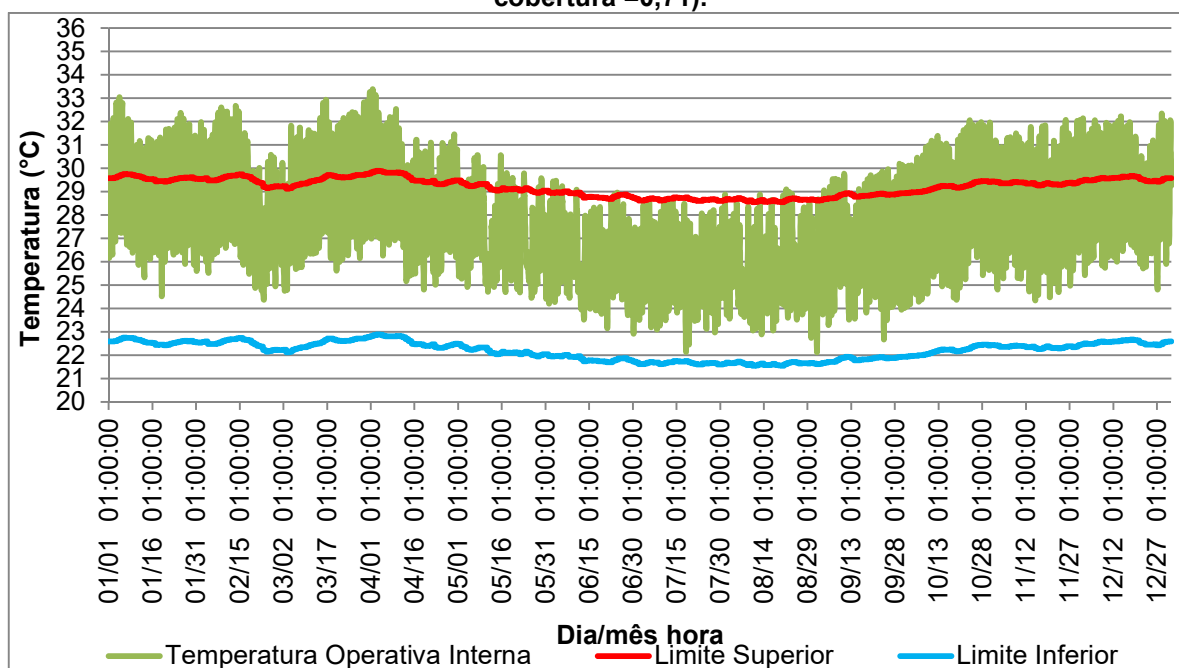


Fonte: A autora.

CASO 2.2

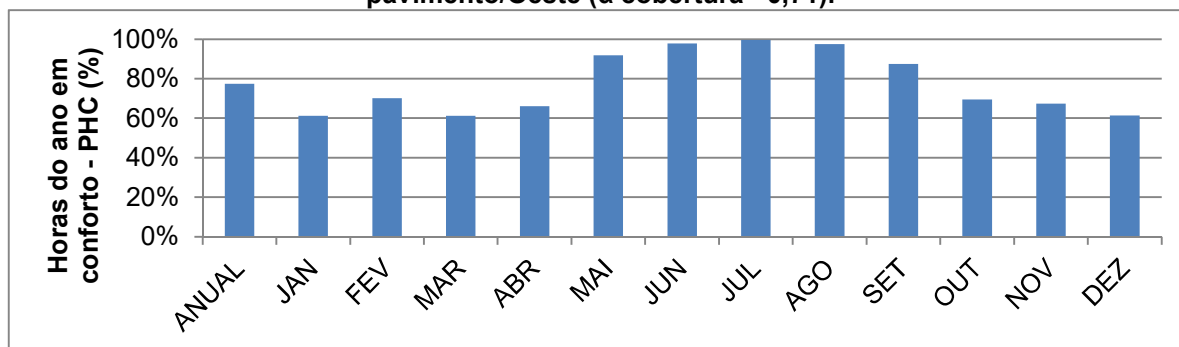
Resultados para Caso 2.2/Oeste, com absorvência da cobertura de 0,71:

Gráfico D 10 – Caso 2.2/Grupo 2 – Zona de Conforto Adaptativo – 1º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).



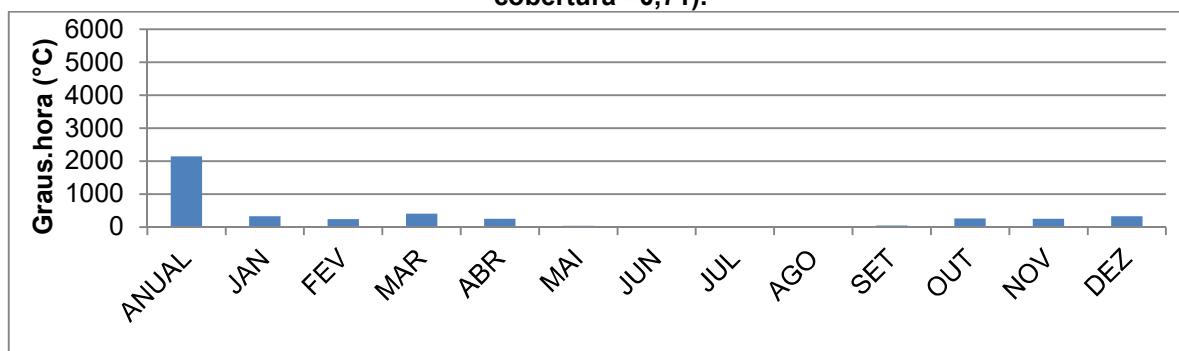
Fonte: A autora.

Gráfico D 11 – Caso 2.2/Grupo 2 – Percentual de Horas em Conforto (PHC) – 1º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).



Fonte: A autora.

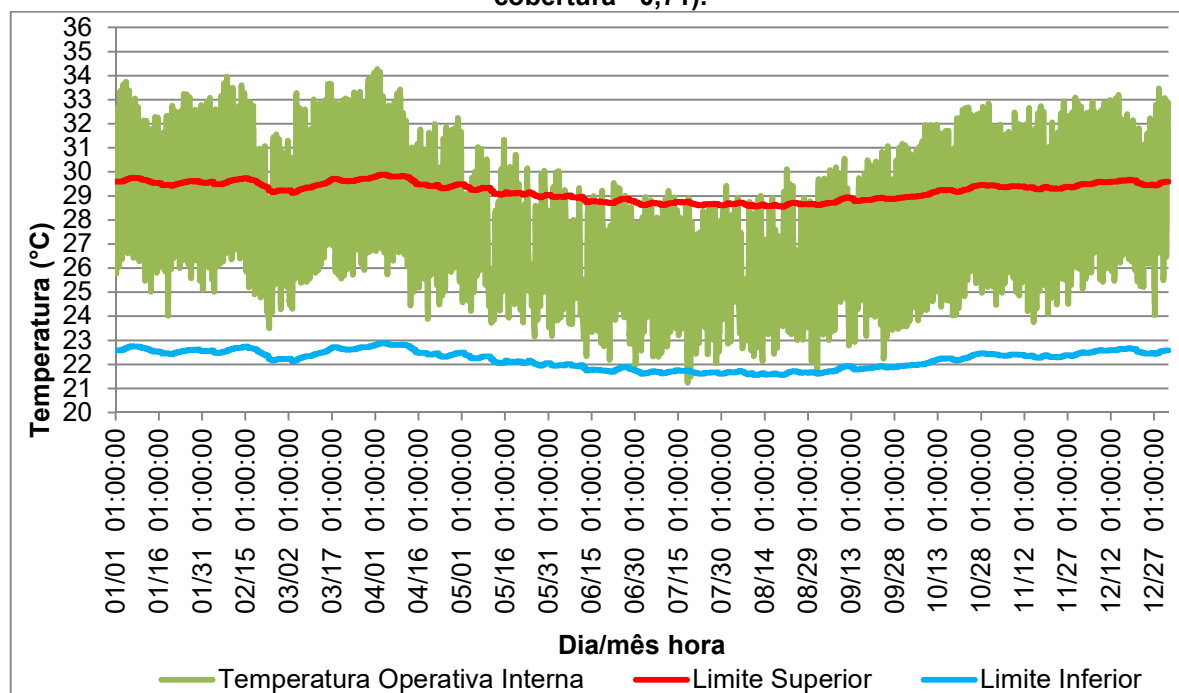
Gráfico D 12 – Caso 2.2/Grupo 2 – Graus Hora de Resfriamento (GHR) – 1º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).



Fonte: A Autora.

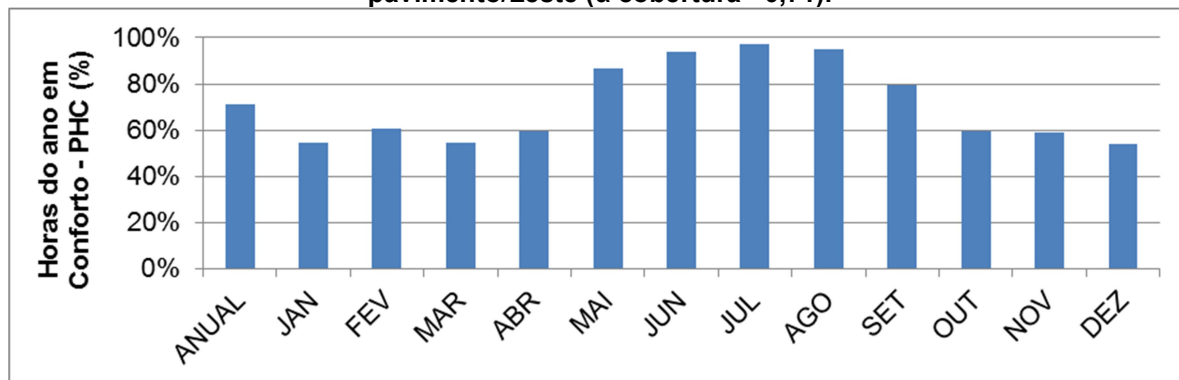
Resultados para Caso 2.2/Leste, com absorção da cobertura de 0,71:

Gráfico D 13 – Caso 2.2/Grupo 2 – Zona de Conforto Adaptativo – 12º pavimento/Leste (α cobertura =0,71).



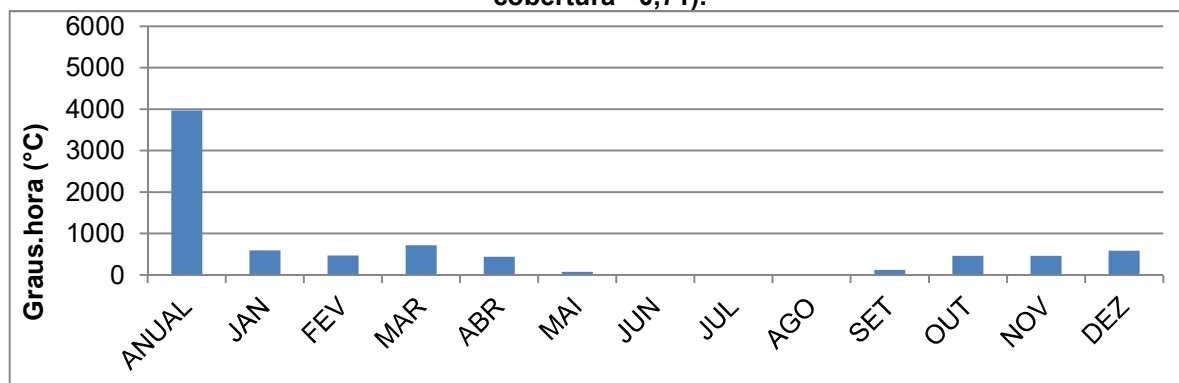
Fonte: A autora.

Gráfico D 14 – Caso 2.2/Grupo 2 – Percentual de Horas em Conforto (PHC) – 12° pavimento/Leste (α cobertura =0,71).



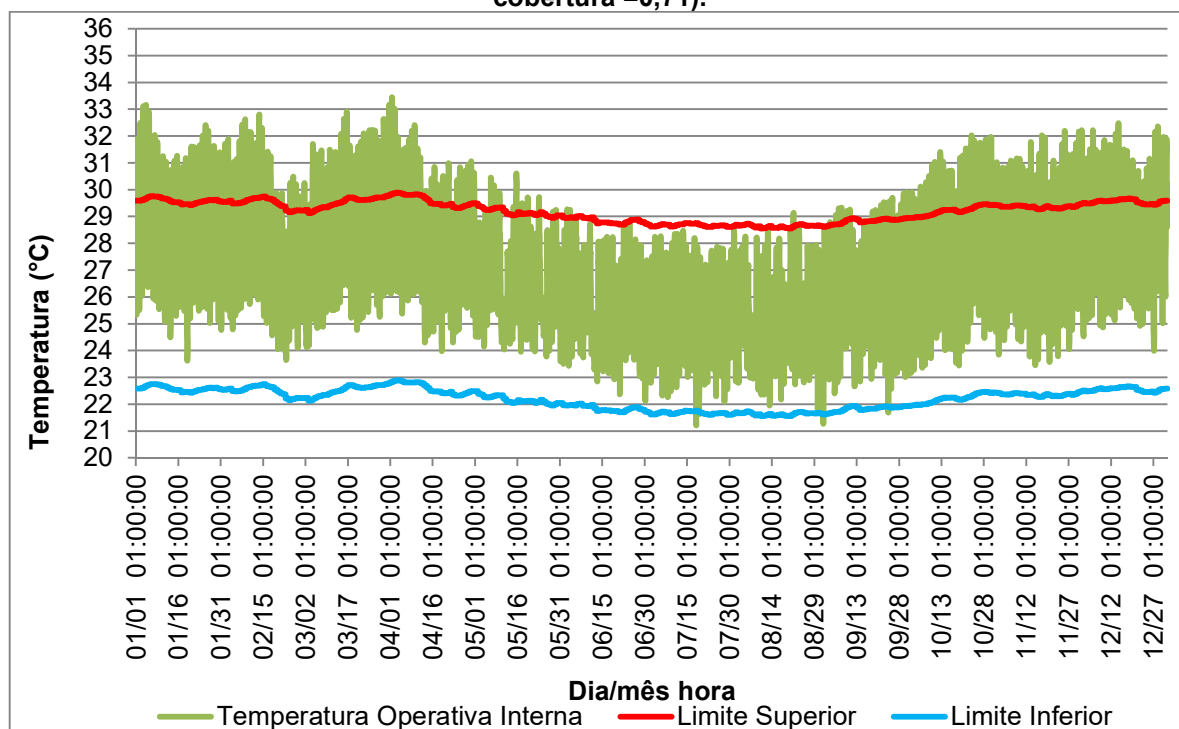
Fonte: A Autora.

Gráfico D 15 – Caso 2.2/Grupo 2 – Graus Hora de Resfriamento (GHR) – 12° pavimento/Leste (α cobertura =0,71).



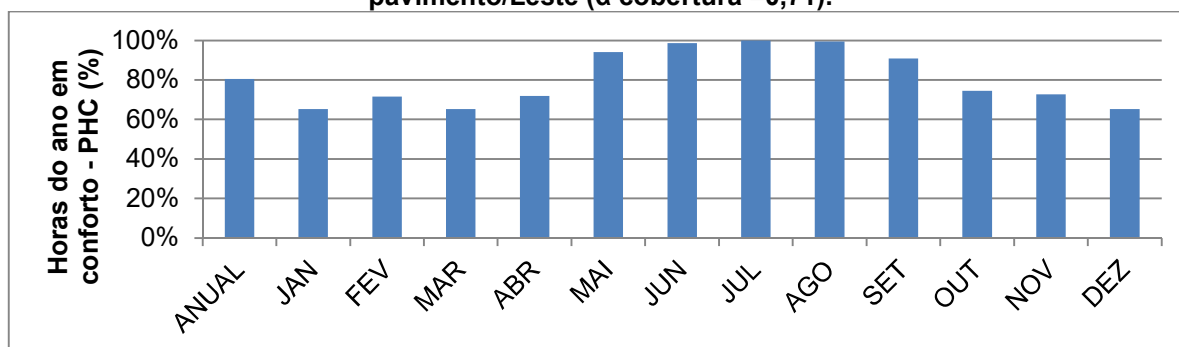
Fonte: A Autora.

Gráfico D 16 – Caso 2.2/Grupo 2 – Zona de Conforto Adaptativo – 1° pavimento/Leste (α cobertura =0,71).



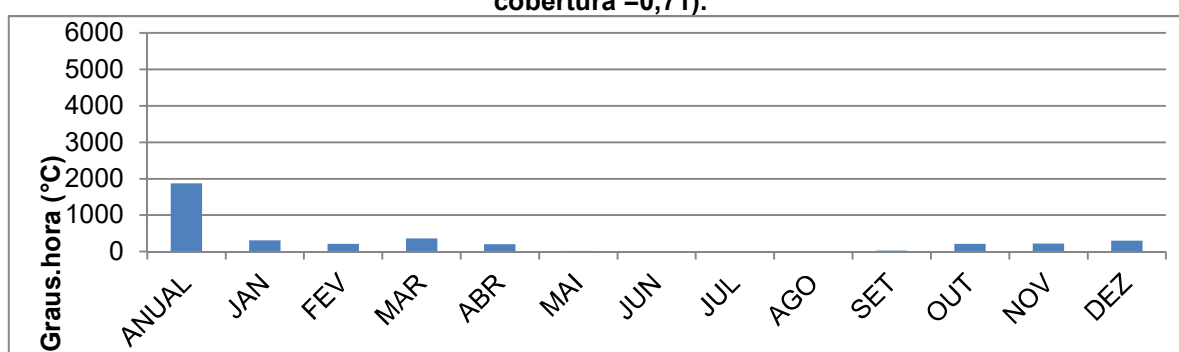
Fonte: A autora.

Gráfico D 17 – Caso 2.2/Grupo 2 – Percentual de Horas em Conforto (PHC) – 1º pavimento/Leste (α cobertura =0,71).



Fonte: A autora.

Gráfico D 18 – Caso 2.2/Grupo 2 – Graus Hora de Resfriamento (GHR) – 1º pavimento/Leste (α cobertura =0,71).

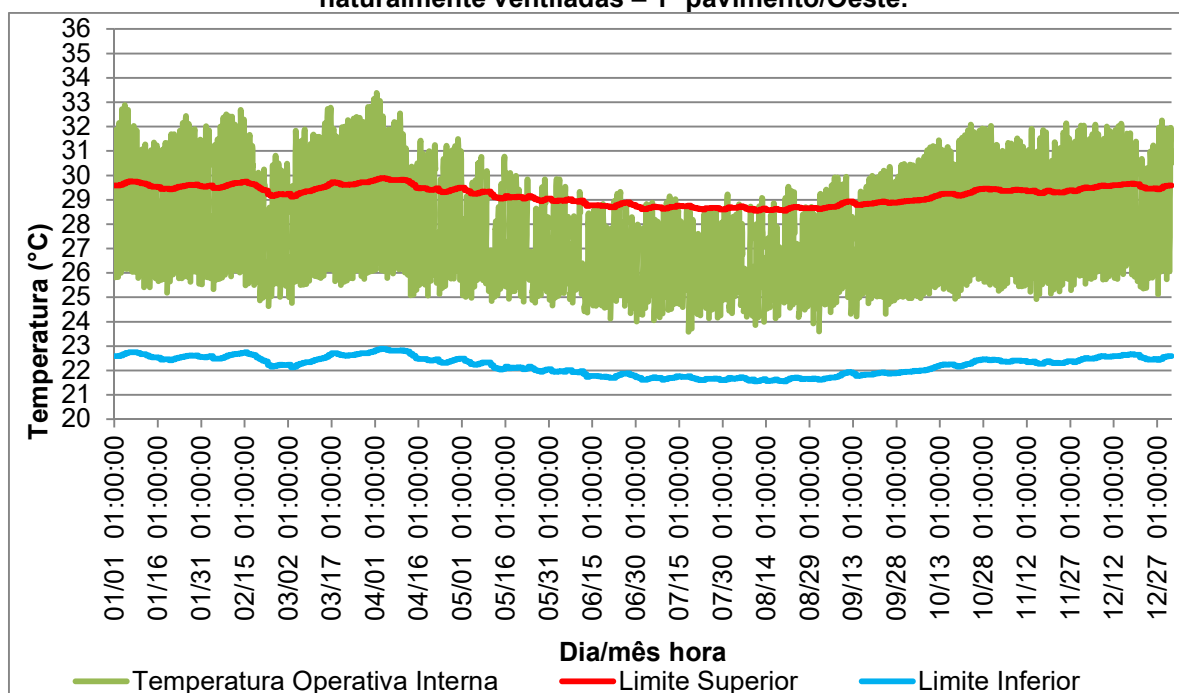


Fonte: A Autora.

CASO 2.3

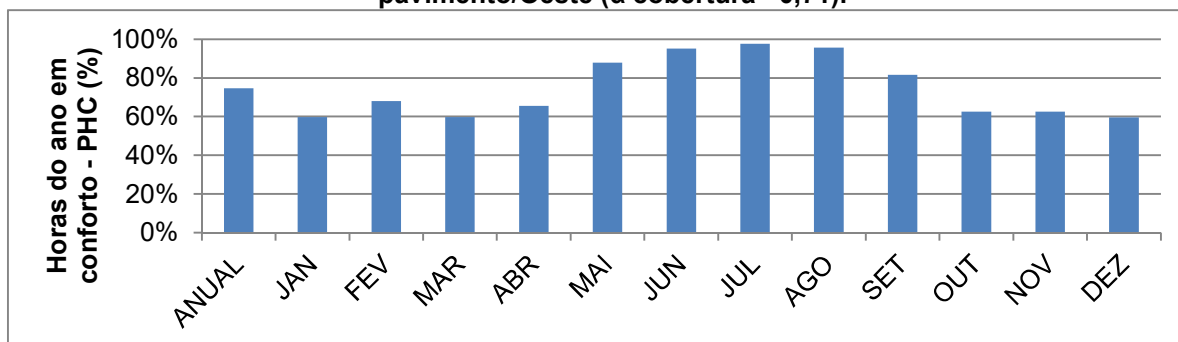
Resultados para Caso 2.3/Oeste, com absorção da cobertura de 0,71:

Gráfico D 19 – Caso 2.3/Grupo 2 – Zona de Conforto Adaptativo para horas do ano naturalmente ventiladas – 1º pavimento/Oeste.



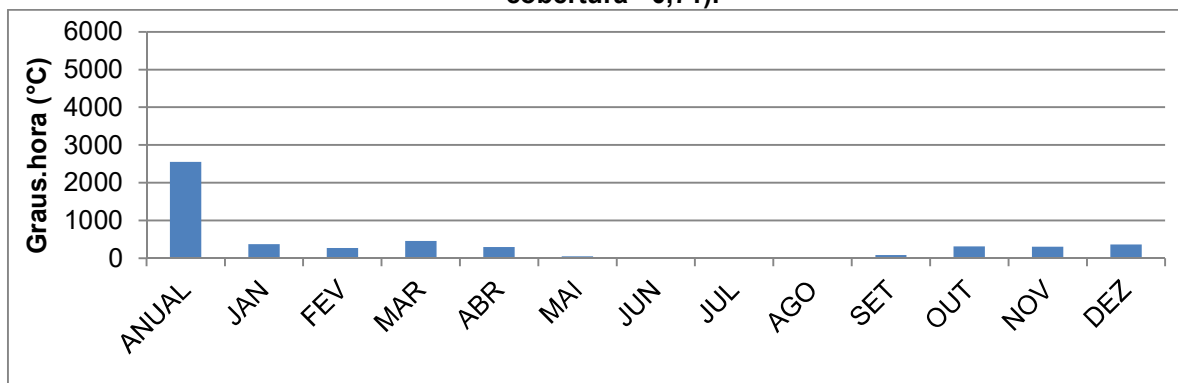
Fonte: A autora.

Gráfico D 20 – Caso 2.3/Grupo 2 – Percentual de Horas em Conforto (PHC) – 1º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).



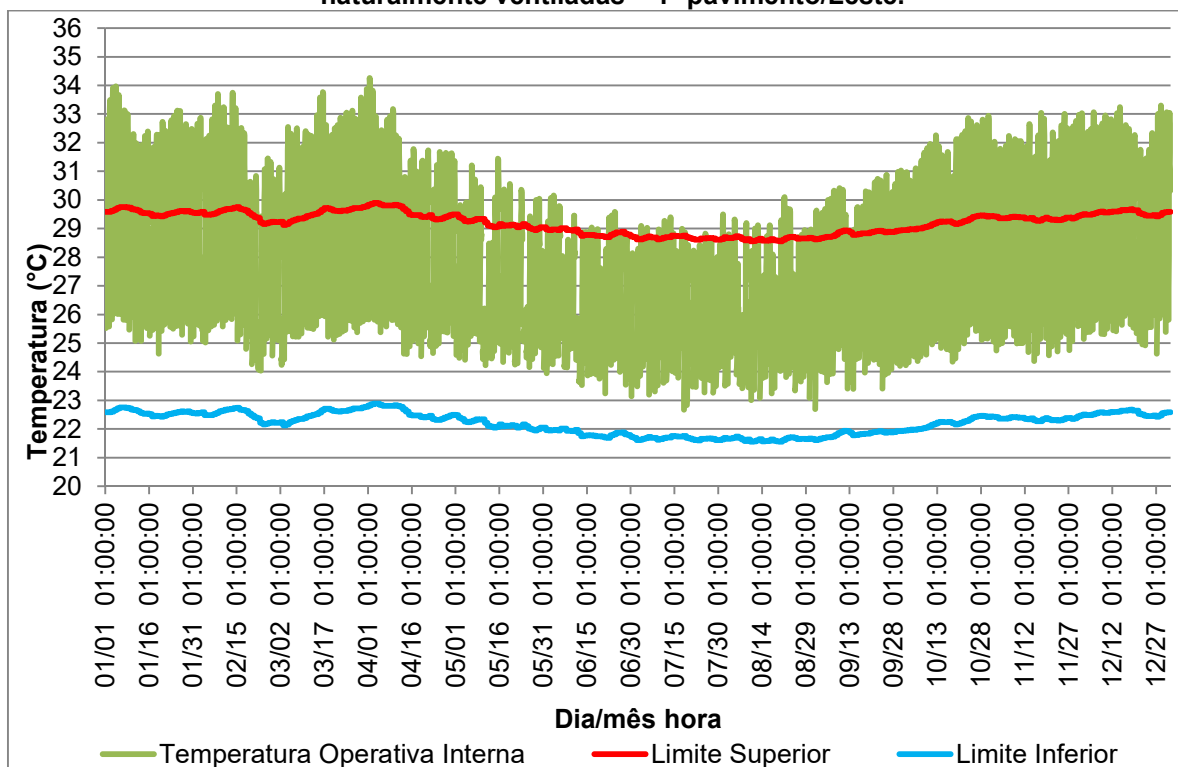
Fonte: A Autora

Gráfico D 21 – Caso 2.3/Grupo 2 – Graus Hora de Resfriamento (GHR) – 1º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).



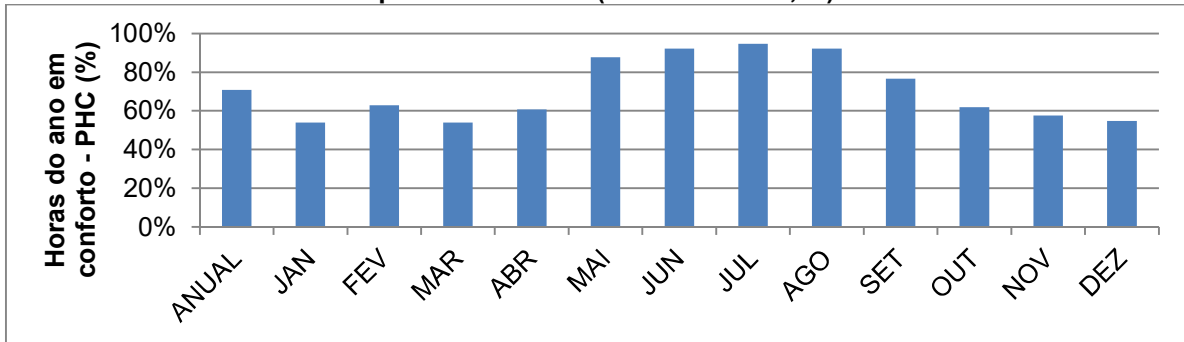
Fonte: A Autora

Gráfico D 22 – Caso 2.3/Grupo 2 – Zona de Conforto Adaptativo para horas do ano naturalmente ventiladas – 1º pavimento/Leste.



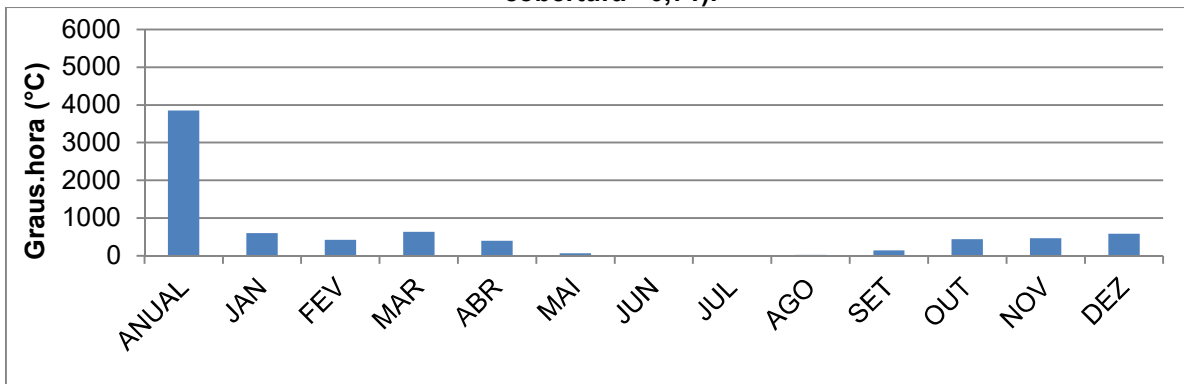
Fonte: A autora.

Gráfico D 23 – Caso 2.3/Grupo 2 – Percentual de Horas em Conforto (PHC) – 1º pavimento/Leste (α cobertura =0,71).



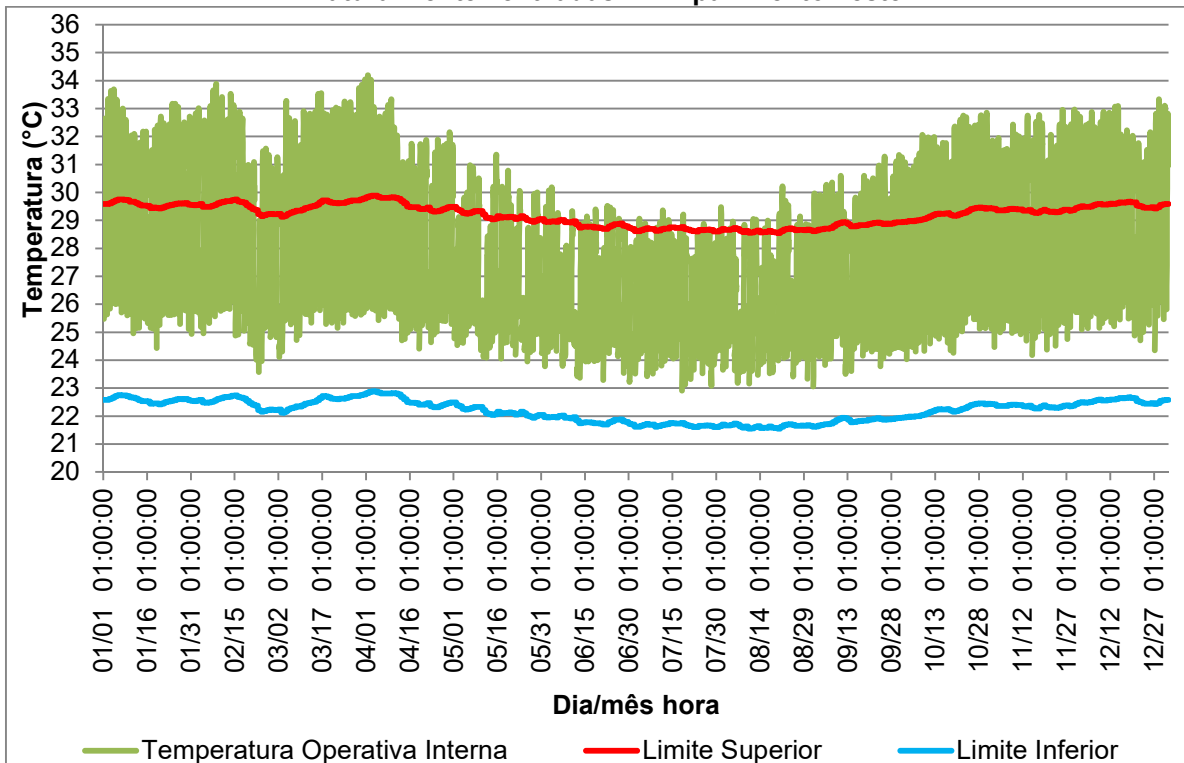
Fonte: A Autora

Gráfico D 24 – Caso 2.3/Grupo 2 – Graus Hora de Resfriamento (GHR) – 1º pavimento/Leste (α cobertura =0,71).



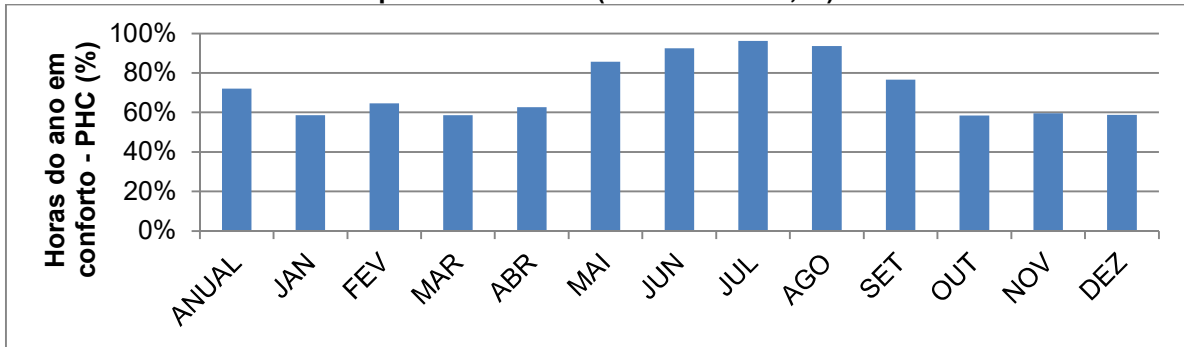
Fonte: A Autora

Gráfico D 25 – Caso 2.3/Grupo 2 – Zona de Conforto Adaptativo para horas do ano naturalmente ventiladas – 12º pavimento/Leste.



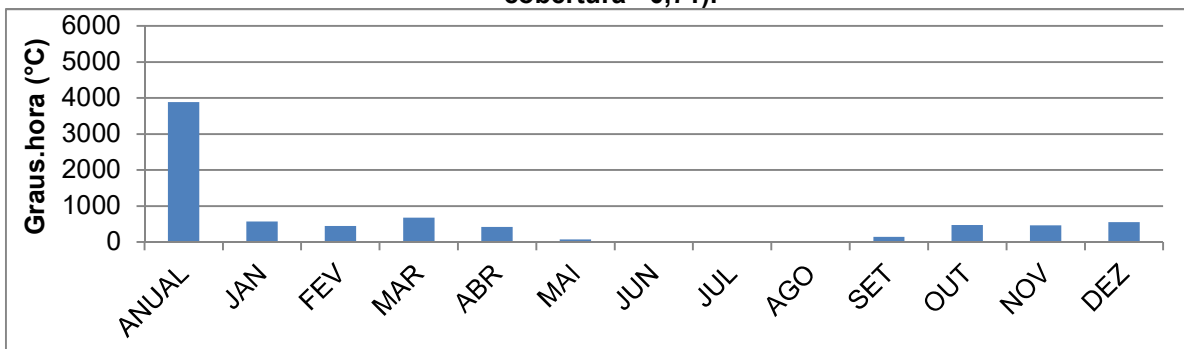
Fonte: A autora.

Gráfico D 26 – Caso 2.3/Grupo 2 – Percentual de Horas em Conforto (PHC) – 12º pavimento/Leste (α cobertura =0,71).



Fonte: A Autora

Gráfico D 27 – Caso 2.3/Grupo 2 – Graus Hora de Resfriamento (GHR) – 12º pavimento/Leste (α cobertura =0,71).

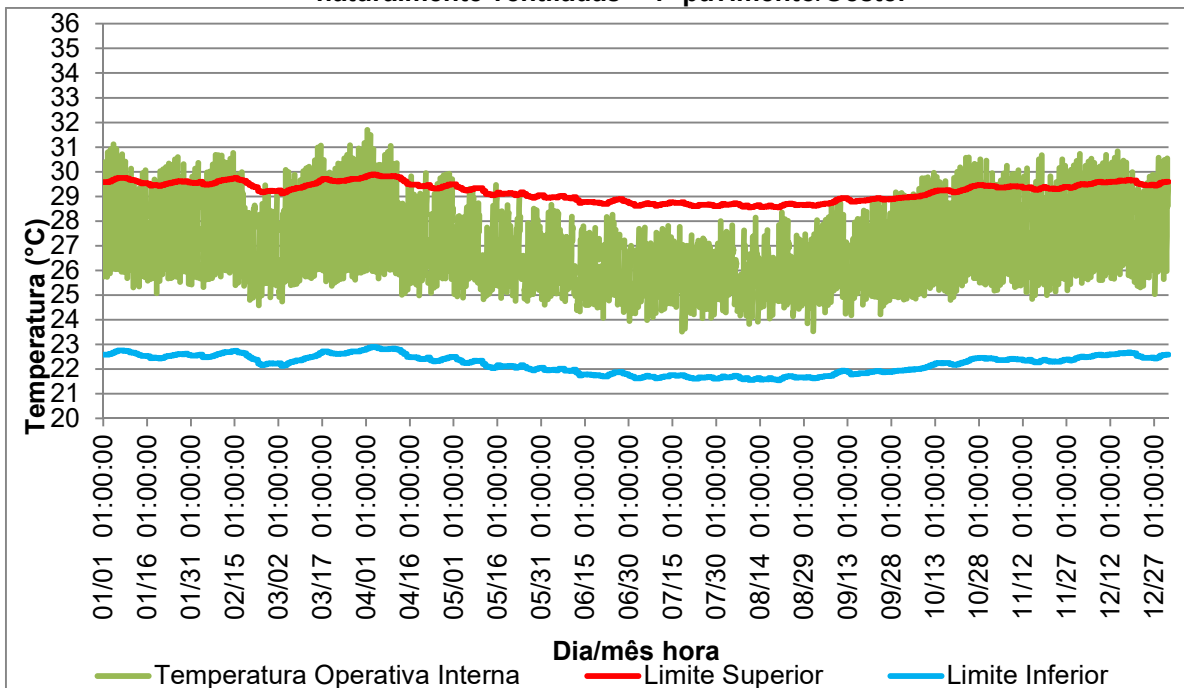


Fonte: A Autora

CASO 2.4

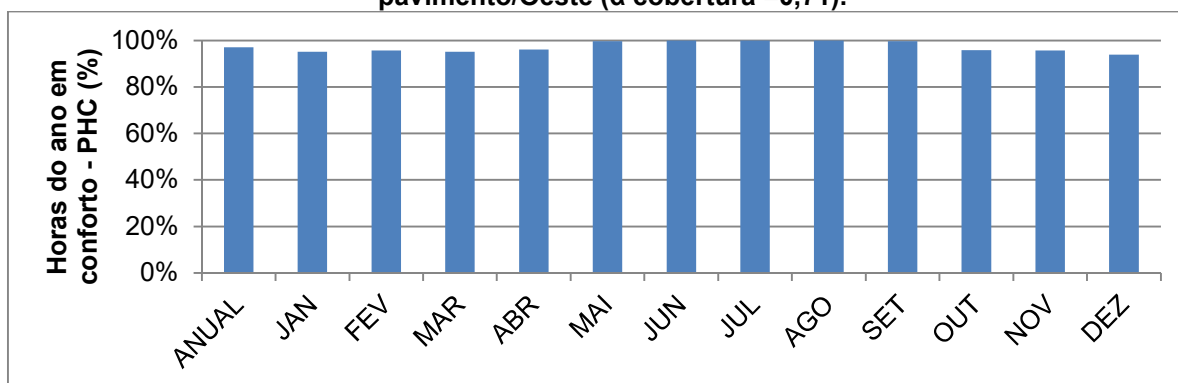
a- Resultados para Caso 2.4/Oeste, com absorção da cobertura de 0,71:

Gráfico D 28 – Caso 2.4/Grupo 2 – Zona de Conforto Adaptativo para horas do ano naturalmente ventiladas – 1º pavimento/Oeste.



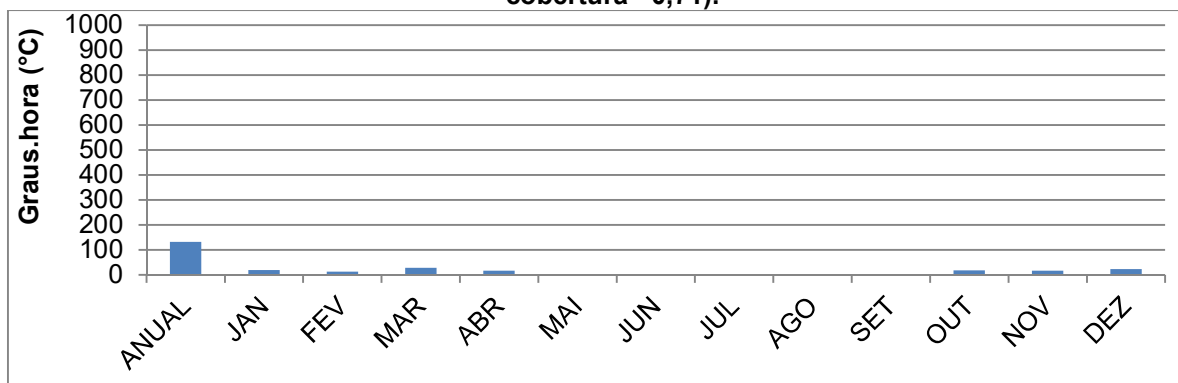
Fonte: A autora.

Gráfico D 29 – Caso 2.4/Grupo 2 – Percentual de Horas em Conforto (PHC) – 1º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).



Fonte: A Autora

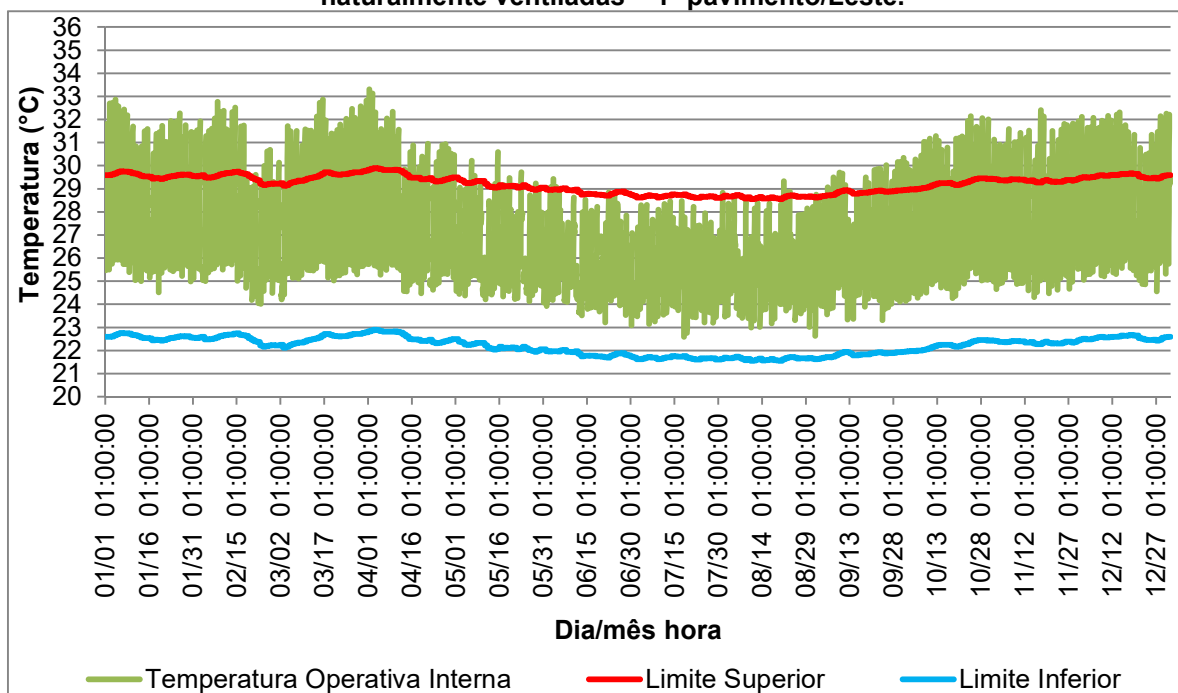
Gráfico D 30 – Caso 2.4/Grupo 2 – Graus Hora de Resfriamento (GHR) – 1º pavimento/Oeste (α cobertura =0,71).



Fonte: A Autora

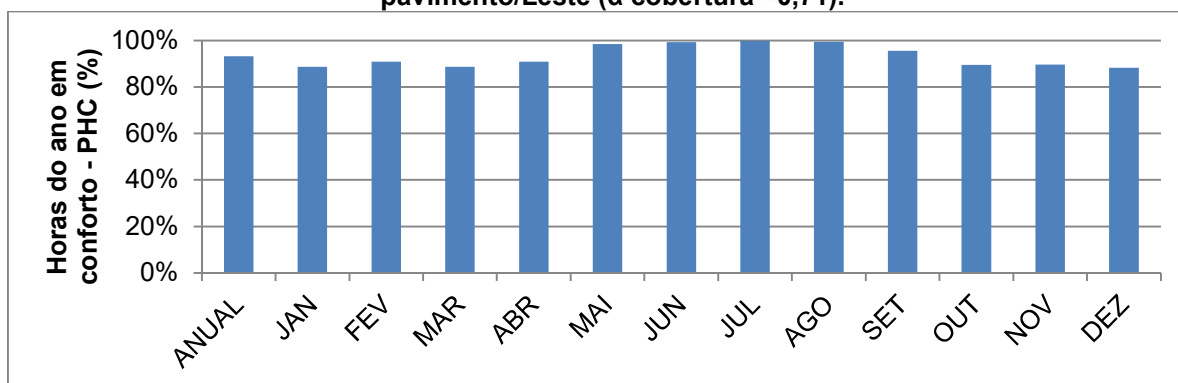
a- Resultados para Caso 2.4/Leste, com absorção da cobertura de 0,71:

Gráfico D 31 – Caso 2.4/Grupo 2 – Zona de Conforto Adaptativo para horas do ano naturalmente ventiladas – 1º pavimento/Leste.



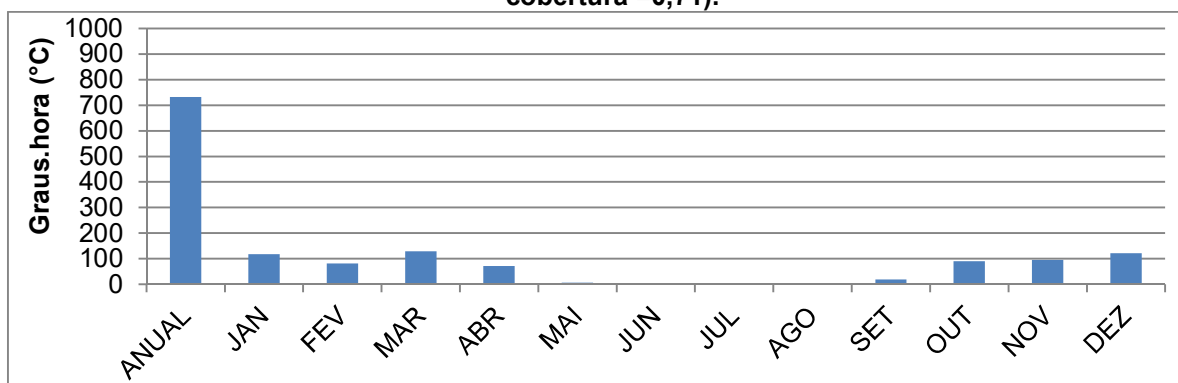
Fonte: A autora.

Gráfico D 32 – Caso 2.4/Grupo 2 – Percentual de Horas em Conforto (PHC) – 1º pavimento/Leste (α cobertura =0,71).



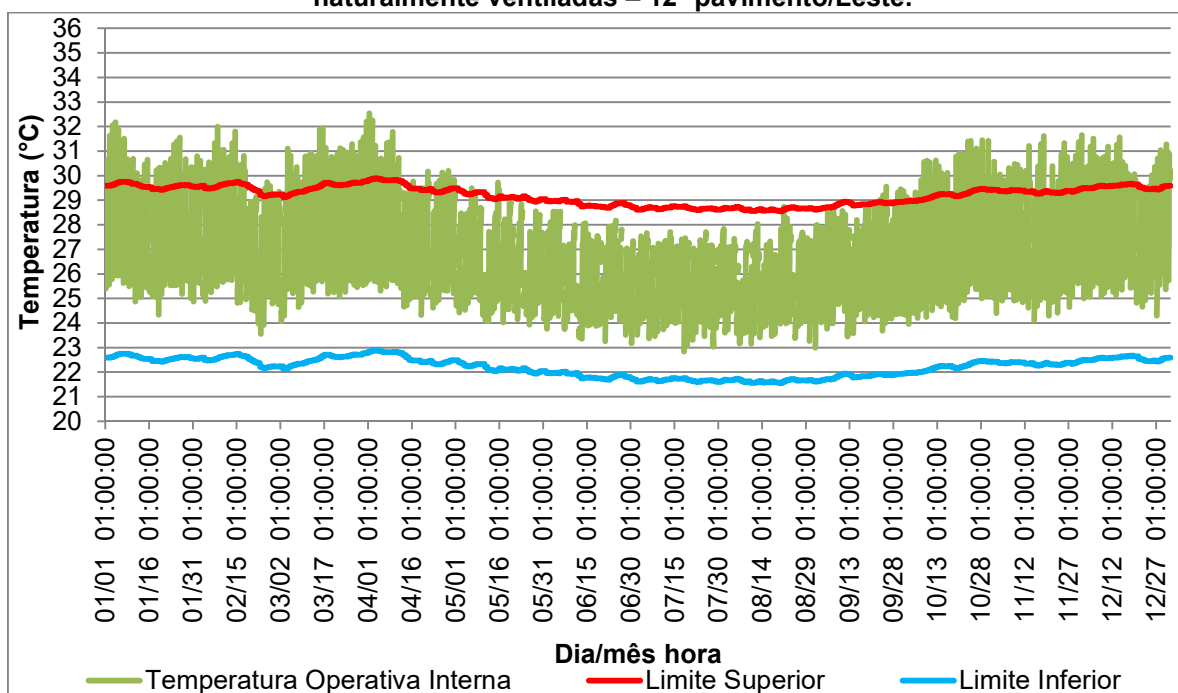
Fonte: A Autora

Gráfico D 33 – Caso 2.4/Grupo 2 – Graus Hora de Resfriamento (GHR) – 1º pavimento/Leste (α cobertura =0,71).



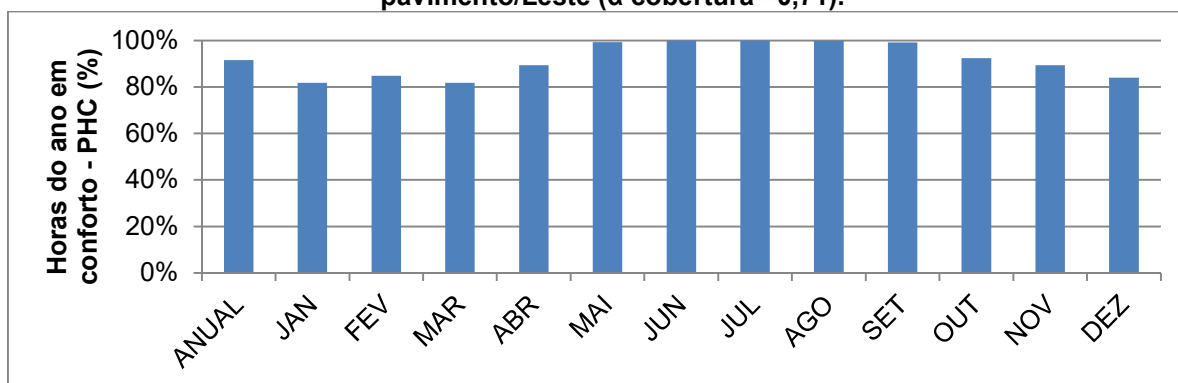
Fonte: A Autora

Gráfico D 34 – Caso 2.4/Grupo 2 – Zona de Conforto Adaptativo para horas do ano naturalmente ventiladas – 12º pavimento/Leste.



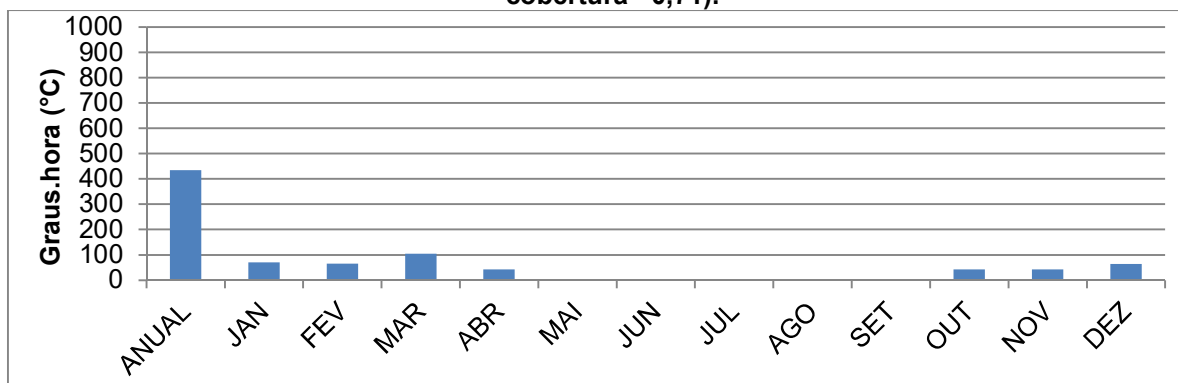
Fonte: A autora.

Gráfico D 35 – Caso 2.4/Grupo 2 – Percentual de Horas em Conforto (PHC) – 12° pavimento/Leste (α cobertura =0,71).



Fonte: A Autora

Gráfico D 36 – Caso 2.4/Grupo 2 – Graus Hora de Resfriamento (GHR) – 12° pavimento/Leste (α cobertura =0,71).



Fonte: A Autora