

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO INSTITUTO DE ENERGIA E
AMBIENTE – IEE PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA
- PPGE**

**Avaliação de desempenho termo energético de edifício residencial
requalificado no centro de São Paulo.**

TIAGO BRANDÃO NOGUEIRA BORGES

SÃO PAULO

2023

TIAGO BRANDÃO NOGUEIRA BORGES

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TERMO ENERGÉTICO DE EDIFÍCIO RESIDENCIAL
REQUALIFICADO NO CENTRO DE SÃO PAULO.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Alberto Hernandez Neto

Versão Corrigida

SÃO PAULO 2023

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Borges, Tiago Brandão Nogueira.

Avaliação de desempenho termo energético de edifício residencial requalificado no centro de São Paulo. / Tiago Brandão Nogueira Borges; orientador: Alberto Hernandez Neto. – São Paulo, 2023.

142 f.: il; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo.

1. Consumo de energia elétrica. 2. Simulação computacional. I. Título.

Elaborado por Maria Penha da Silva Oliveira CRB-8/6961

Nome: BRANDÃO N. BORGES. Tiago

Título: AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TERMO ENERGÉTICO DE EDIFÍCIO RESIDENCIAL REQUALIFICADO NO CENTRO DE SÃO PAULO.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovado em 14 de Novembro de 2023

Banca Examinadora

Prof. Dr. Alberto Hernandez Neto
Departamento de Engenharia Mecânica/USP
Presidente da Banca

Profa. Dra. Roberta Consentino Kronka Mülfarth
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo/USP
Julgamento: Aprovado

Prof. Dr. Martin Gabriel Ordenes Mizgier
Departamento de Arquitetura e Urbanismo/UFSC
Julgamento: Aprovado

Prof. Dr. Roberto Zilles
Instituto de energia e Ambiente/USPb
Julgamento: Aprovado

Dedico esse trabalho aos movimentos sociais de moradia, assessorias técnicas e todas as pessoas que lutam pelo acesso à uma moradia digna.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer os dois orientadores que tornaram esse trabalho possível, o Professor Alberto Hernandez e Professor Ildo Sauer, a paciência e dedicação desses dois professores extremamente generosos tornou esse trabalho possível.

Essa gratidão também se estende ao pesquisador Alcantaro Lemes pelas sugestões e dicas para o trabalho. E toda a equipe de professores, pesquisadores e colaboradores do IEE/USP pelas aulas e conhecimento compartilhado.

Também gostaria de agradecer a Verônica Kroll e Juan González as duas pessoas que me apresentaram a realidade de moradia na cidade de São Paulo e deixaram a marca da solidariedade na minha alma.

Enfim gostaria de agradecer a todo o suporte que a minha companheira Camila Silvestre de Melo me dá, a companhia da Camila tem sido fundamental em minhas conquistas.

RESUMO

Brandão T. N. B.: Avaliação de desempenho termo energético de edifício residencial requalificado no centro de São Paulo. São Paulo, 2023, Dissertação de Mestrado. IEE - USP

A assinatura energética de uma edificação residencial é um instrumento de análise sobre o padrão de consumo energético dos ocupantes de um prédio. O setor residencial apresenta uma taxa de consumo energético mundial de cerca de 40% da demanda energética (HUANG et al. 2016). Este trabalho buscou, dentro desse cenário de consumo, analisar o desempenho energético de uma edificação residencial requalificada no centro de São Paulo, voltada para o público de baixa renda na intenção de entender parte do processo de transição energética no qual as análises possibilitam a implantação de medidas de eficiência energética em edifícios.

O estudo de caso apresentado nesse trabalho contou com a simulação computacional como ferramenta de análise de desempenho energético da edificação. No caso do edifício Mario Paula foi necessário levar em consideração a data de construção (1956) e a data de requalificação (2004) do edifício. A metodologia do trabalho enfocou-se em analisar os níveis de conforto térmico dos ambientes nas unidades habitacionais do edifício e a parametrização dos níveis de consumo energético, obtido através do processo de calibração da simulação energética realizada com dados públicos fornecidos pelo PPH (Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial).

O estudo obteve como resultado a validação do método de calibração. Os níveis de conformidade ficaram entre **85%** e **98%** e posteriormente, a análise dos níveis de conforto térmico apresentaram 80% ou mais de horas de conforto para todos os ambientes das unidades habitacionais, sem a necessidade de intervenção no edifício foco deste estudo.

Palavras – chave: 1. Consumo de energia elétrica; 2. Simulação computacional, 3. Calibração, 4. Residencial

ABSTRACT

An energy signature from a residential building is an essential analysis instrument on understanding the energy consumption from occupants. The consumption from the residential sector represents approximately 40% of the world's energy demand (HUANG et al. 2016). This study tried, within this consumption scenario, to analyze the energy performance from a requalifies housing building in São Paulo central area, aimed for low-income families; to understand part of the energy transition process whereas energy analysis enable the implementation of energy efficiency measures in buildings

The case study presented in this research had computational simulation as an analysis tool over building energy performance. It was necessary to take into consideration, on Maria Paula building, the construction (1956) and requalification (2004) date. The methodology was based on the analysis of thermal comfort levels of all housing units and the parameterization of energy consumption levels, obtained throughout the calibration process of energetic simulation based on public data provided by PPH.

The study obtained as a result the calibration method validation. Conformity levels stayed between **85%** and **98%** and posteriorly the analysis of thermic comfort levels represented 80% or more comfort hours for all housing units, without the need of intervention within Maria Paula construction characteristics.

Key words: 1. Electricity consumption; 2. Computer simulation, 3. Calibration, 4. Residential

LISTA DE FIGURA

Figura 1 - Relação de crescimento de IPCA, IPCC, Renda Real e Valor de m2	30
Figura 2 - Modelo esquemático evidenciando as tipologias analisadas	37
Figura 3 - Modelo esquemático evidenciando as tipologias analisadas	38
Figura 4 - Foto aérea de localização do conjunto residencial Maria Paula – coordenadas 23°33'07"S / 46°38'21"O	42
Figura 5 - Distribuição de renda das famílias do residencial Maria Paula	44
Figura 6 - Tipologia 01 - Térreo	45
Figura 7- Tipologia 02 - Térreo	45
Figura 8 - Tipologia 03 - 1° ao 12° pav	46
Figura 9 - Tipologia 04 - 1° ao 12° pav	46
Figura 10 - Tipologia 05 - 1° ao 12° pav	47
Figura 11 - Tipologia 06 - 1° ao 12° pav	47
Figura 12 - Tipologia 07 - 1° ao 12° pav	48
Figura 13 - Tipologia 08 - 1° ao 12° pav	48
Figura 14 - Tipologia 09 - 13° pav	49
Figura 15 – Foto da fachada frontal do residencial Maria Paula.....	52
Figura 16 - Foto da fachada frontal do residencial Maria Paula	53
Figura 17 - Gráfico da Metodologia de Pesquisa	55
Figura 18 - Perspectiva do modelo 3D do edifício residencial Maria Paula executado no OpenStudio com suas zonas térmicas configuradas	57
Figura 19 - Modelo de exemplo da delimitação dos pavimentos a serem representados no modelo computacional segundo NBR 15575-1/2021.....	58
Figura 20 - Padrões de ocupação diária das APPs em uso misto	59
Figura 21 - Padrões de uso do sistema de iluminação artificial dos APPs.....	60
Figura 22 - Processo de desenvolvimento e análise de dados da metodologia proposta do trabalho.....	63
Figura 23 - Planta de Situação do edifício Maria Paula	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quadro de consumo por carga total de uma unidade habitacional.....	22
Tabela 2 - Índice de Erro Sistemático Médio atingido por Guo J et al (2021 e o estipulado pela ASHRAE	32
Tabela 3 - Nível de conformidade atingido pelos modelos.....	35
Tabela 4 - Quadro de áreas do Residencial Maria Paula.....	49
Tabela 5 - Indicação do pé direito dos pavimentos do Residencial Maria Paula	50
Tabela 6 - Período de uso, densidade de cargas internas e fração radiante para equipamentos dos APPs.....	60
Tabela 7 - Propriedades dos materiais na composição da construção das unidades habitacionais	61
Tabela 8 - Parâmetros de dados de entrada dos modelos de simulação para iluminação e equipamentos	66
Tabela 9 - Média do Consumo Mensal de Energia Elétrica do Domicílio, em kWh, consultado diretamente na conta de energia elétrica apresentada pelo morador do domicílio, identificado como a classe econômica C1 – REGIÃO SUDESTE	68
Tabela 10 - Dados de análise de variância para calibração de modelos.....	69
Tabela 11 - Nível de erro médio admitido entre os dados de simulação e os dados medidos do consumo de energia da unidade habitacional	70
Tabela 12 - Modelos desenvolvidos para a pesquisa e condições de simulações	72
Tabela 13 - Indicadores de nível de conformidade dos dados de saída do modelo M.C-01 com relação ao consumo de energia elétrica	74
Tabela 14 - Dados de entrada - Índices de densidade de iluminação e equipamentos dos modelos.....	75
Tabela 15 - Dados de saída para consumo de energia elétrica dos modelos M.CB-01 e M.CB-02 e o nível ESM com o parâmetro de calibração do PPH.....	76
Tabela 16 - Dados de saída para consumo de energia elétrica dos modelos M.C-01 e M.C-02 - PPH/2019 e o nível ESM com o parâmetro de calibração do PPH	76
Tabela 17 - Dados de saída para consumo de energia elétrica dos modelos M.C-03- PPH/2019 e o nível ESM com o parâmetro de calibração do PPH.....	77
Tabela 18 - Dados de saída para consumo de energia elétrica dos modelos M.C-04- PPH/2019 e o nível ESM com o parâmetro de calibração do PPH.....	77

Tabela 19 - Dados de saída para consumo de energia elétrica dos modelos M.C-05- PPH/2019 e o nível ESM com o parâmetro de calibração do PPH.....	77
Tabela 20 – Índice de temperatura para comparação de nível de conforto térmico em regime anual de medição	79
Tabela 21 – Variação de temperatura das APPs do Modelo M.CB-01, onde a simulação foi feita em regime de ambientes fechados	80
Tabela 22 – Variação de temperatura das APPs do Modelo M.CB-02, com simulação realizada em regime de ventilação natural	80
Tabela 23 - Variação de temperatura das APPs do Modelo M.C-01, com simulação realizada em regime de ambientes fechados	84
Tabela 24 - Variação de temperatura das APPs do Modelo M.C-02, onde a simulação foi feita em regime de ventilação natural.....	85
Tabela 25 - Agenda de operações mistas dos APPs considerando as condições de conforto térmico.....	88
Tabela 26 - Dados de saída do consumo de energia elétrica do modelo M.C.B-01	101
Tabela 27 - Níveis de conforto térmico segundo modelo adaptativos do modelo M.C.B-01	107
Tabela 28 - Dados de saída do consumo de energia elétrica do modelo M.C.B-02.....	108
Tabela 29 - Níveis de conforto térmico segundo o modelo adaptativo do modelo M.C.B-02	114
Tabela 30 - Dados de saída do consumo de energia elétrica do modelo M.C.01	115
Tabela 31 - Níveis de conforto térmico segundo o modelo adaptativo do modelo M.C.-01 .	121
Tabela 32 - Dados de saída do consumo de energia elétrica do modelo M.C.-02	122
Tabela 33 - Níveis de conforto térmico segundo o modelo adaptativo do modelo M.C.-02 .	128
Tabela 34 - Dados de saída do consumo de energia elétrica do modelo M.C.-03	129
Tabela 35 - Níveis de conforto térmico segundo o modelo adaptativo do modelo M.C.-03 .	130
Tabela 36 - Dados de saída do consumo de energia elétrica do modelo M.C. - 04	131
Tabela 37 -Níveis de conforto térmico segundo o modelo adaptativo do modelo M.C.-04 ..	131
Tabela 38 - Dados de saída do consumo de energia elétrica do modelo M.C. - 05	132
Tabela 39 - Níveis de conforto térmico segundo o modelo adaptativo do modelo M.C.-05 .	134

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Relação entre a média anual de consumo de energia elétrica por tipologia habitacional do cenário base e o parâmetro mensal de consumo de energia elétrica do PPH / 2019	65
Gráfico 2 - Percentual de Consumo de carga para o setor residencial da classe social C1 – PPH/2019.....	67
Gráfico 3 - Comparação entre os modelos calibrados e PPH/2019.....	71
Gráfico 4 - Relação entre a média anual de consumo de energia elétrica por tipologia e o parâmetro mensal de consumo de energia elétrica do PPH/2019 do modelo M.C-01	73
Gráfico 5 - Percentual de horas de conforto térmico das APPs do Modelo M.C-01 com operação em ambientes fechados (sem troca de ar).	81
Gráfico 6 - Percentual de horas de conforto térmico das APPs do Modelo M.C-02 com operação em ventilação natural (5 trocas de ar por hora).....	82
Gráfico 7 - Percentual de horas de conforto térmico das APPs dos Modelos calibrados M.C-01 e M.C-02 e o limite de aceitável de 80% de horas de conforto térmico em APPs.....	83
Gráfico 8 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: Tipo 1 Térreo (C°) do modelo M.C.B-01	101
Gráfico 9 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP Tipo 2 Térreo (C°) do modelo M.C.B-01	102
Gráfico 10 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP Tipo 3 pav tipo (C°) do modelo M.C.B-01	102
Gráfico 11 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: Tipo 4 pav tipo (C°) do modelo M.C.B-01	103
Gráfico 12 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: Tipo 5 pav tipo (C°) do modelo M.C.B-01	103
Gráfico 13 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: tipo 6 pav.tipo (C°) do modelo M.C.B-01	104
Gráfico 14 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: Tipo 7 pav tipo (C°) do modelo M.C.B - 01	104
Gráfico 15 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: tipo 8 pav tipo (C°) do modelo M.C.B-01	105
Gráfico 16 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: Tipo 9 sala pav tipo (C°) do modelo M.C.B-01	105

Gráfico 17 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: tipo 9 quarto 01 pav.tipo (C°) do modelo M.C.B-01	106
Gráfico 18 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: tipo 9 quarto02 pav.tipo (C°) do modelo M.C.B-01	106
Gráfico 19 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: tipo 1 térreo (C°) do modelo M.C.B-02	108
Gráfico 20 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: tipo 2 térreo (C°) do modelo M.C.B-02	109
Gráfico 21 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: tipo 3 pav.tipo (C°) do modelo M.C.B-02	109
Gráfico 22 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: tipo 4 pav.tipo (C°) do modelo M.C.B-02	110
Gráfico 23 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: Tipo 5 pav tipo (C°) do modelo M.C.B-02	110
Gráfico 24 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: tipo 6 pav tipo (C) do modelo M.C.B-02	111
Gráfico 25 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: tipo 7 pav tipo (C°) do modelo M.C.B-02	111
Gráfico 26 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: tipo 8 pav tipo (°) do modelo M.C.B-02	112
Gráfico 27 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: tipo 9 sala pav tipo (C°) do modelo M.C.B-02	112
Gráfico 28 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP Tipo 9 quarto 01 pav.tipo (C°) do modelo M.C.B-02	113
Gráfico 29 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: tipo 9 quarto 02 pav tipo (C°) do modelo M.C.B-02	113
Gráfico 30 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_1_TERREO (C°) do modelo M.C.-01	115
Gráfico 31 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_2_TERREO (C°) do modelo M.C.-01	116
Gráfico 32 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_3_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-01	116
Gráfico 33 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_4_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-01	117

Gráfico 34 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_5_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-01	117
Gráfico 35 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_6_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-01	118
Gráfico 36 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_7_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-01	118
Gráfico 37 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: APP: TIPO_8_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-01	119
Gráfico 38 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_9_SALA_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-01	119
Gráfico 39 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_9_QUARTO01_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-01.....	120
Gráfico 40 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_9_QUARTO02_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-01.....	120
Gráfico 41 - relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_1_TERREO (C°) do modelo M.C.-02.....	122
Gráfico 42 - relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_2_TERREO (C°) do modelo M.C.-02.....	123
Gráfico 43 - relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_3_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-02.....	123
Gráfico 44 - relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_4_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-02.....	124
Gráfico 45 - relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_5_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-02.....	124
Gráfico 46 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_6_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-02	125
Gráfico 47 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_7_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-02	125
Gráfico 48 - relação entre temperaturas internas e externas do APP: APP: TIPO_8_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-02	126
Gráfico 49 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_9_SALA_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-02.....	126
Gráfico 50 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_9_QUARTO01_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-02.....	127

Gráfico 51 - relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_9_QUARTO02_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-02.....	127
Gráfico 52 -relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_1_TERREO (C°) do modelo M.C.-03.....	129
Gráfico 53 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_2_TERREO (C°) do modelo M.C.-03.....	130
Gráfico 54 - relação entre temperaturas internas e externas do APP: APP: TIPO_8_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-04	131
Gráfico 55 - relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_9_SALA_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-05.....	132
Gráfico 56 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_9_QUARTO01_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-05.....	133
Gráfico 57 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_9_QUARTO02_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-05.....	133

SIGLAS

APP: Área de Permanência Prolongada

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

AVC: Associação Viva o centro

COPAN: Companhia Panamericana

D.W.U.A: *Demographia World Urban Areas*

EPE: Empresa de Pesquisa Energética

EVO: *Efficiency Valuation Organization*

HVAC: *Heating, Ventilation and Air Conditioning*

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INI-R: Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais

IPCA: Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo

IPCC: Índice de Preços da Construção Civil

INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

LabEEE: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

NBR: Norma Brasileira

PAR: Programa de Arrendamento Residencial

PAC: Programa de Atuação em Cortiços

PMCMV: Programa Minha Casa Minha Vida

PMSP: Prefeitura do Município de São Paulo

PPH: Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial

SFH: Sistema Financeiro de Habitação

SFI: Sistema Financeiro Imobiliário

SINAP: Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices

TAS: *Thermal Analysis Simulation*

ZB: Zoneamento Bioclimático

ZEIS: Zona Especial de Interesse Social

USDOE: *U.S. Department of Energy*

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	18
1.1 - OBJETIVO DO TRABALHO	20
1.1.1. Objetivos Específicos	20
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 - EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES	21
2.2 - ANÁLISE DE CONFORTO TÉRMICO	22
2.3 - EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES: UMA REVISÃO DA NORMA DE ETIQUETAGEM DO SETOR RESIDENCIAL BRASILEIRO	23
2.4 - CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE PROJETOS DE TIPOLOGIAS DE HABITAÇÃO POPULAR NO BRASIL.....	25
2.5. CAPITAL COMO RELAÇÃO SOCIAL E SUA RELAÇÃO COM A PRODUÇÃO DA HABITAÇÃO NO BRASIL NO PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA.....	27
2.6 - REVISÃO DE ESTUDOS DE CASOS DE CALIBRAÇÃO DE MODELOS EM SIMULAÇÃO ENERGÉTICA PARA EDIFÍCIOS.....	31
2.6.1 - O método Guo J. et al. (2021)	31
2.6.2 - O método de Heoa Y. et al., (2012)	33
2.6.3 - O método de Westphal e Lamberts (2005)	35
2.7 - ANÁLISE DE CONFORTO AMBIENTAL DE UM EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIO MODERNISTA BRASILEIRO NA ZONA BIOCLIMÁTICA DE SÃO PAULO: ESTUDO DE CASO DO CONJUNTO NACIONAL.....	37
2.8 - ANÁLISE TÉRMICA DOS AMBIENTES DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL DE ALTA DENSIDADE DO PERÍODO DO MODERNISMO BRASILEIRO: OE ESTUDO DE CASO DO EDIFÍCIO COPAN	38
3. OBJETO DE ESTUDO	40
3.1 - O EMPREENDIMENTO RESIDENCIAL MARIA PAULA	40
3.2 DESIGN DAS TIPOLOGIAS DESENVOLVIDAS E SUAS CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS	44
3.3 - COMPOSIÇÃO DOS MATERIAIS	50
4. METODOLOGIA	54
4.1 ESTRUTURA METODOLÓGICA DE ANÁLISE TERMOENERGÉTICA – CONFIGURAÇÃO DO MODELO BASE SEGUNDO A NBR-15575-1/2021.....	56
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO BASE SEGUNDO A NBR 15575-1/2021..	58
4.3 CALIBRAÇÃO DO MODELO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	62
4.4 CONFIGURAÇÃO DOS MODELOS	71
4.5 ANÁLISE DE CONFORTO TÉRMICO ATRAVÉS DO MODELO DE CONTROLE ADAPTATIVO	77

4.5.1	Análise de conforto térmico a partir dos dados de saída dos modelos simulados a partir da calibração do PPH2019	81
5	DISCUSSÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS DOS MODELOS	86
5.1	– VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA DE CALIBRAÇÃO	86
5.2	– ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO DAS APPS	87
6	CONCLUSÃO	92
7.	SUJESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	94
8.	REFERÊNCIAS BLIBLIOGRÁFICAS	95
APENDICE 01	– DADOS DO MODELO CENÁRIO BASE 01	101
APENDICE 02	– DADOS DO MODELO CENÁRIO BASE 02	108
APENDICE 04	– DADOS DO MODELO CALIBRADO M.C.-02	122
APENDICE 05	– DADOS DO MODELO CALIBRADO M.C.-03	129
APENDICE 06	– DADOS DO MODELO CALIBRADO M.C.-04	131
APENDICE 07	– DADOS DO MODELO CALIBRADO M.C.-05	132

1 - INTRODUÇÃO

O setor residencial corresponde a cerca de 30% do consumo de energia elétrica no estado de São Paulo (BOLETIM ENERGÉTICO, 2023), em escala global o consumo de energia elétrica do setor residencial pode alcançar a taxa de 40% do consumo global de energia elétrica. No panorama contemporâneo do setor energético, onde se busca intensificar a geração de energia elétrica com participação maior de fontes renováveis e a diminuição de fontes não renováveis, a redução de consumo energético residencial vinculado a geração com diminuição da pegada de carbono é um dos fatores que norteiam a análise de consumo energético residencial. (HUANG et al. 2016)

Tendo em vista a redução de consumo de energia através da geração de fontes não renováveis, a análise detalhada de consumo energético de cada setor consumidor é o primeiro passo para entender quais soluções são viáveis para implementação de eficiência energética das fontes consumidoras. No caso do setor residencial, a diminuição do uso associado de energia elétrica nas edificações tem como fator essencial a compreensão da distribuição energética em seus usos, e a identificação dos parâmetros que formam a demanda de consumo energético. (MUSTAFARAJ et al. 2014)

Em particular, a implementação de eficiência energética no setor residencial para o público de baixa renda deve levar em consideração como ponto de partida, o detalhamento de sua estrutura de consumo, atentando para variedade de equipamentos existentes nos domicílios e principalmente pelos diferentes hábitos de uso, que serão determinados por região e classes de renda (HARISH et al., 2016). A análise de padrão de consumo de energia elétrica e conforto térmico dentro da produção da habitação para o público de baixa renda, especificamente dentro de uma tipologia residencial específica, ajuda a caracterizar a estrutura de consumo energético com suas particularidades de uso e hábitos.

Nos últimos 50 anos, a formação de metrópoles constituídas por populações com mais de 10 milhões de habitantes vem se intensificando ao redor do globo, e atualmente essa constituição de cidades vem se manifestando principalmente em países periféricos do sistema capitalista. Já na contramão desse processo de expansão territorial urbana, encontram-se algumas cidades que já passaram pela etapa de intensificação de densidade populacional em seu território, em grande parte através da industrialização particular de cada cidade. Porém, estas cidades em algum ponto lidam com a degradação territorial por conta do abandono de infraestrutura urbana consolidada, um fenômeno denominado “cidades perdidas” (*lost cities*)

conforme (CHIRIA e GIOVAGNORIO, 2012).

Eventualmente, o fenômeno de “cidades perdidas” pode ser identificado em recortes de áreas específicas de cidades como São Paulo. O município tem aproximadamente 12,5 milhões de habitantes em um território de pouco mais de 1,5 mil km² o que submete a cidade a uma densidade demográfica média de 7.398,26 hab/km² segundo dados do IBGE de 2010. Dados esses que qualificam a cidade como uma das maiores e mais populosas metrópoles do mundo, porém não a destaca como uma das metrópoles mais densamente povoadas. Segundo *Demographia World Urban 2020* a cidade de São Paulo ocupa a 7^a posição como cidade mais populosa, mas quando se trata de densidade populacional ela não chega nem a 50^a posição (D.W.U.A, 2020), sendo que um dos reflexos desse fenômeno é o surgimento de áreas com infraestrutura urbana consolidadas abandonadas, como se dá com a região central de da cidade.

O centro histórico da cidade de São Paulo é uma área onde o esvaziamento da habitação é percebido. Segundo Bomfim (2004), a área central passou nas últimas décadas a ser desvalorizada pelo mercado de habitação por conta da saída da classe média a partir da década de 1970. Somente a partir da década de 1990 é que começam a surgir programas públicos que incentivariam a recuperação região com foco na diversidade de usos e atividades. É nesse contexto que surge a edificação que será objeto de estudo desse trabalho, o Edifício Maria Paula, um edifício requalificado em 2004 com alteração de *layout* durante a reforma, modificando a configuração do prédio que passou a ter 75 unidades habitacionais ao invés de 13 da configuração original de 1956.

A análise do consumo energético de um edifício requalificado como o Maria Paula ajuda na caracterização de consumo energético do setor residencial de baixa renda, dando maior abrangência ao padrão de consumo energético do setor. Assim, nesse cenário, a utilização da simulação termo energética, como instrumento de caracterização de consumo energético, permite análises prévias de padrão de consumo de energia elétrica bem como de condições de conforto térmico das edificações analisadas (STEIN, 1997). Por meio da simulação energética computacional é possível considerar a dinâmica das operações energéticas que acontecem nas edificações e a influência que as condições meteorológicas têm sobre as edificações, levando em conta as múltiplas variáveis que configuram a performance energética apresentando resultados satisfatórios.

1.1 - OBJETIVO DO TRABALHO

O principal objetivo dessa pesquisa é realizar a caracterização de consumo de energia elétrica e temperaturas operativas das áreas de permanência prolongada das unidades habitacionais do edifício residencial Maria Paula por meio de calibração da simulação computacional com dados públicos. Os dados de análise de temperatura operativa e consumo de energia elétrica das unidades habitacionais deverão ser obtidos por meio de modelos através de simulação computacional, cuja análise dos dados de saídas dos modelos permitirá determinar o nível de conforto térmico e consumo energético das unidades habitacionais da edificação residencial, de forma a fornecer subsídios para caracterizar a edificação levando em consideração o consumo de energia elétrica e conforto térmico dos ambientes das tipologias habitacionais.

1.1.1. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho resumem-se a:

- Avaliação, por meio de simulação computacional, de padrões de consumo de energia elétrica e conforto térmico de uma edificação requalificada em seu processo de legalização e institucionalização;
- Calibração de modelo das unidades habitacionais por meio da análise dos dados de consumo de energia elétrica com base nos dados do consumo mensal do setor residencial da classe social C1 apresentado pelo PPH/2019 para a região Sudeste;
- Determinação do índice de conforto segundo o Modelo Adaptativo determinado pela ASHRAE Standard 55-2017;
- Comparação entre os dados de saída dos modelos calibrados com os dados das pesquisas correlatas apresentadas na Revisão de Bibliografia.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na revisão de literatura serão abordados trabalhos, padronizações e normatizações que envolvam a análise da eficiência energética e conforto térmico no setor de habitação popular.

Trabalhos voltados para análise energética de algumas tipologias promovidas pelo PCMV e análises de conforto térmico de algumas edificações tombadas pelo patrimônio histórico na região central de São Paulo também serão apresentados.

2.1 - EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES

O atendimento das demandas de eficiência energética nas edificações pode permitir a criação de possibilidades de racionalização das operações e dos recursos que envolvem a construção e uso das unidades habitacionais.

Simões et al. (2018) mencionam que, normalmente, ventilação e iluminação para unidades que compõe o sistema de habitação popular são insatisfatórias; implicando em aumento de consumo energético com o uso de ventiladores e iluminação artificial durante o dia. O projeto das tipologias habitacionais, em geral, também não contribui para atenuar esse quadro, o que leva ao aumento do consumo energético pelo uso de condicionamento artificial para fins de conforto térmico, comprometendo diretamente o orçamento familiar onde os custos com energia podem passar de 10% da renda mensal dos ocupantes.

Autores como Rossi, Marique e Reiter (2012) indicam que formas de redução da energia incorporada na produção de habitações ocorrem com: o uso de materiais com baixa energia incorporada, projetos de estruturas dimensionados para peças mais leves e eficientes (de acordo com as solicitações de esforços que reduzam o consumo de materiais), uso de materiais locais, uso de materiais reciclados ou reutilizados, e também de reformas futuras e adequações de imóveis já estabelecidos ao invés da lógica de demolição.

Já a energia operacional é a energia consumida durante a operação da edificação, o que inclui o uso de eletrodomésticos, aquecimento de água, iluminação, aquecimento e resfriamento dos ambientes e de cocção. A maioria dos trabalhos indicam que a energia disposta para refrigeração é a que apresenta maior consumo energético no setor habitacional (ROSI et al., 2012).

A EPE (EPE, 2020) aponta que, no cenário nacional, a demanda geral de uso final energético para o setor residencial em 2019 teve seu consumo caracterizado por: 55% voltado para cocção de alimentos, 27% para equipamentos elétricos e 10% para aquecimento de água,

perto de 4% para iluminação e o restante para condicionamento de ar. Esta distribuição pode ser melhor representada quando inserida em um contexto cultural, onde o consumo energético pode variar de acordo com as condições sociais e atividades dos ocupantes da habitação.

As maiores demandas de energia em um ambiente comercial ou residencial vinculados ao conforto são: aquecimento, resfriamento, aquecimento de água e iluminação. Essas atividades consomem cerca de 70% do consumo energético das atividades em uma edificação. Segundo HARISH et al. (2016) com novos métodos de projeto pode-se reduzir o consumo energético de um edifício entre 20% e 50%. Segundo os autores, essas alterações podem significar uma redução de consumo por sistema de uso entre 20 e 60% para HVAC, 20 e 50% para iluminação, 20 e 70% para aquecimento de água, 20 e 70% para refrigeração e 10 e 20% para equipamentos eletrônicos e outros.

Outros trabalhos, como o de Ghisi, Gosch e Lamberts (2007), mostram por meio de uma pesquisa nacional, alguns quadros de consumo por carga total de uma unidade habitacional, e concluem que a parametrização de uso final no consumo de energia adotado pode ser caracterizada conforme a tabela 01:

Tabela 1 - Quadro de consumo por carga total de uma unidade habitacional

Item	Refrigeração	Chuveiro	Iluminação	Outros equipamentos
Consumo (verão) [%]	38	3	8 – 15	22
Consumo (inverno) [%]	49	11	11 – 19 (inverno)	15

Fonte: (elaborado pelo autor, 2022 a partir de Ghisi, Gosch e Lamberts 2007)

2.2 - ANÁLISE DE CONFORTO TÉRMICO

Com relação ao projeto da edificação, outro fator importante é a temperatura operativa aceitável para ambientes naturalmente condicionáveis. Segundo Lamberts et al (2013), a variação de temperatura aceitável fica numa faixa entre 80% e 90% de variação de temperatura entre os ambientes externos e internos. Segundo a análise dos autores, existe uma variação de temperatura aceitável entorno de 1,2°C dentro de medições de temperaturas externas de bulbo seco que vão de 10°C a 35°C. Com relação aos dados de conforto térmico gerado em ambientes internos, Simões et al. (2018) mencionam que o ideal de variação de temperatura de bulbo seco ou operativa deve ficar entorno de 18° e 29° C. Já no trabalho de Tubello et al. (2018), os

autores mencionam que no Brasil deve-se assumir também a padronização determinada pela norma ASHRAE 55 (2017) onde 26°C é um valor de temperatura operativa aceitável para garantir o conforto térmico de ambientes.

Montes (2016) traz em sua pesquisa que, tanto na região norte quanto na região sul do Brasil, estudos de desempenho termo energético e avaliações de desempenho de sistemas construtivos das habitações desenvolvidas no Programa Minha Casa Minha Vida, na maioria dos casos, concluem que as habitações promovidas apresentam baixa qualidade arquitetônica e baixo desempenho térmico, com desconforto do usuário e inadequação climática.

2.3 - EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES: UMA REVISÃO DA NORMA DE ETIQUETAGEM DO SETOR RESIDENCIAL BRASILEIRO

O interesse em se atribuir eficiência energética nas edificações através de normatizações veio a partir da década de 70 com a crise do petróleo. No Brasil, o cenário que cria programas que pensam a eficiência energética de edificações começa a partir da crise energética de 2001.

Segundo Lamberts et al. (2016), uma das alternativas para se reduzir consumo energético das edificações sem comprometimento de conforto é estabelecer normatizações e classificações das edificações utilizando como critério parâmetros de desempenho energético. Casals et al. (2006) adicionalmente mencionam que a regulação e a certificação energética são dois mecanismos essenciais para avaliação do desempenho energético de uma edificação. As regulações são instrumentos que garantem a redução de consumo energético com garantia mínima de conforto das operações dos usuários nos ambientes através de duas metodologias: adoção de um padrão mínimo de operação e certificação do nível da eficiência.

Leipzig (2013) elabora que a classificação de sistemas energéticos de edificações pode ser avaliada por meio de simulações energéticas voltadas para uma demanda energética específica de acordo com as características da edificação proposta e por meio da mensuração do consumo energético da edificação já em operação.

A maior parte das regulações de eficiência energética para edificações são institucionalizadas em países que apresentam climas com baixas temperaturas. Olsen (2007) destaca algumas características de desempenho energético das edificações e menciona que países membros da comunidade europeia devem adotar, a partir de 2002, diretrizes que atenderiam necessidades para ambientação interna como: consumo termo energético para aquecimento, refrigeração e iluminação. Essas diretrizes passam pela adoção de certificação

dos sistemas energéticos da edificação, adoção de padrões mínimos de desempenho energético das edificações e outras ações que direcionam as medidas para atender níveis de conforto e eficiência energética principalmente para lidar com situações de baixas temperaturas.

Já Lamberts et al. (2016) mencionam que os países que apresentam clima tropical podem ter as suas necessidades de conforto térmico alcançadas com medidas passivas como ventilação natural e sombreamento, principalmente com relação ao conforto térmico onde as temperaturas de bulbo seco são mais baixas. Porém Lamberts et al. (2016) ainda mencionam que, para os casos de países onde as temperaturas de bulbo seco são mais baixas e que tem de produzir edificações com características de transmissão de calor da envoltória com maior capacidade de isolamento térmico, é necessário avaliar as possibilidades de ações passivas da edificação para geração de conforto térmico quando as temperaturas ficam mais amenas como no verão.

Um das normas mais utilizadas como referência para sistemas energéticos em edificações e outras normatizações globais é a ASHRAE 90.1. Sua primeira publicação data de 1975 e foi desenvolvida por conta da necessidade da melhoria do desempenho energético de edificações motivada pela crise energética de 1973. Desde então, a ASHRAE 90.1 passou por diversas reformulações que deu origem a duas normas específicas: a ASHRAE 90.1 de padrões energéticos para edificações comerciais e a ASHRAE 90.2 sobre eficiência energética para edificações residenciais (LAMBERTS et al., 2016).

Já no Brasil se destacam algumas normativas que são direcionadas especificamente para os sistemas energéticos das edificações e o padrão de consumo energético das tipologias. A norma NBR 15220-3 divide o país em 8 zonas bioclimáticas diferentes e apresenta as características climáticas dessas zonas, assim como sugestões de estratégias de projeto e construção de acordo com a zona bioclimática que a edificação está inserida. Já a norma 15575 apresenta requisitos mínimos para a avaliação do desempenho térmico da envoltória da edificação (LAMBERTS et al., 2016).

Outra regulamentação voltada para edifícios residenciais é o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. (RTQ-R) idealizada pelo INMETRO (Instituto Nacional De Metrologia, Qualidade E Tecnologia) que tem seu foco principalmente em análise de envoltória e sistema de aquecimento de água, assegurando padrões de análises que classificam as edificações em categorias que vão do E ao A, no qual E apresenta resultados insatisfatórios e A satisfatórios.

Esse regulamento estava em vigor desde 2012 e passou por revisão em 2021, quando foram incluídos critérios de avaliação para análise de eficiência energética da envoltória, condicionamento de ar e aquecimento de água, passando a ser denominado Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R). Segundo a INI-R, os critérios de avaliação dos sistemas energéticos da edificação devem determinar percentuais de redução de carga térmica e consumo de energia para: refrigeração e aquecimento, potencial de geração local de energia renovável, percentual de acréscimo ou redução das emissões de dióxido de carbono (CO₂), percentual anual de redução do consumo de água potável por meio do seu uso racional e critérios para avaliação das áreas comuns de edificações multifamiliares ou de condomínios de edificações residenciais.

2.4 - CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE PROJETOS DE TIPOLOGIAS DE HABITAÇÃO POPULAR NO BRASIL

Lamberts et al. (2015) buscam entender as características de desempenho energético da produção de habitação social no Brasil promovida pelo governo federal por meio do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). Os autores buscaram estabelecer estratégias que possam levar a maior eficiência energética nas promoções das edificações destinadas aos programas de habitação popular, como o PMCMV.

Para poder entender a assinatura energética da produção habitacional do programa, a pesquisa de Lamberts et al. (2015) foi feita por meio da escolha de 108 projetos que representassem a maior parte da produção dos empreendimentos do programa observando dois grupos de renda identificados no PMCMV como faixa 1 e 2. A análise térmica e energética das tipologias destinadas a esses grupos com relação a Instrução Normativa do Inmetro para Residências/2012 se concentrou em duas zonas climáticas distintas: a ZB3 e ZB8.

A escolha dos projetos analisados pela pesquisa supracitada está baseada na repetição da tipologia da edificação empregada na produção do programa PMCMV dentro do espectro de duas Zonas Bioclimáticas. Em função de haver desvios na coleta de dados com incertezas das informações fornecidas, como área de pavimentos e alguns materiais de execução, os autores utilizaram métodos de teste de amostras de dados como Kolmogorov–Smirnov para casos com até 30 amostras e QQ Square para exemplos com mais de 30 amostras que culminou em 95% de acurácia das amostras de dados para a sua análise estatística.

A metodologia de análise das assinaturas energéticas dos modelos escolhidos só foi possível com a obtenção dos dados que foram analisados na simulação termo energética.

Os autores estipularam que seria necessário coletar os seguintes dados para metodologia de análise: informações sobre a zona bioclimática em que os edifícios estavam inseridos, dados sobre acessibilidade, área dos pavimentos, pé direito das áreas da tipologia habitacional, ausência ou presença de ventilação cruzada, número de quartos, caracterização das tipologias das unidades habitacionais, sistema de aquecimento de água, desempenho térmico das paredes internas e externas, materiais de composição das vedações, coberturas e estrutura, análise de envoltório, capacidade térmica e de transmissão de calor, cor das paredes externas, dados das aberturas, informações sobre ventilação e insolação.

Adicionalmente outro dado utilizado foi o censo do IBGE/2010 para determinar as características de moradia no Brasil (IBGE/2010), que aponta que cerca de 85% das moradias são caracterizadas por casas térreas e o restante é composto por prédios de apartamentos. Dentre as casas, a maior parte da produção é composta por casas térreas simples e dentre os apartamentos a maioria das unidades são determinadas por blocos em forma H com quatro tipologias habitacionais por pavimento, escada com circulação vertical e composição da edificação por cinco pavimentos.

A simulação das tipologias estudadas por Lambert et al (2015) foi realizada no *software* Energy Plus e os resultados dos dados de saída das simulações das tipologias foram comparados com os padrões estipulados pela INI-R/2012. Dessa forma, foi possível determinar que, para as tipologias analisadas nos dois níveis de renda na ZB8, o desempenho térmico da cobertura em termos de transmissão térmica é baixo. O uso de ventilação, tanto para ZB3 e ZB8 na grande maioria dos casos, não alcançou os pré-requisitos para obter uma boa classificação com base no processo de avaliação da INI-R. Vale ressaltar que, apesar de algumas tipologias utilizarem aquecimento solar para água de banho, ainda existe uma maioria de tipologias que se valem de chuveiro elétrico; o que prejudica a sua classificação energética segundo a INI-R.

A maior parte das habitações destinadas a faixa de renda 1 analisada por Lamberts et al. (2015) é composta por casas térreas singulares. Essas tipologias apresentaram baixo desempenho energético principalmente nas simulações com dados climáticos de verão. As tipologias destinadas ao público da faixa 2 apresentou um desempenho energético melhor do que as destinadas a faixa 1, porém os dados de saídas resultados das simulações dessas tipologias as classificaram entre posições médias e baixas dentro do espectro da certificação INI-R/2012.

As simulações também apontaram que, dentro das duas faixas de renda (1 e 2), foi verificada a baixa performance com relação a capacidade das paredes em absorver radiação

solar, em particular em tipologias localizadas na ZB8 com relação a ZB3, sendo que, em ambas as zonas, as edificações apresentaram resultados abaixo do esperado.

Outro aspecto, também considerado, foi a capacidade das unidades habitacionais de proporcionarem condições de conforto térmico por meio da aplicação de medidas passivas como ventilação cruzada, medida desconsiderada na maior parte dos projetos analisados. Essa configuração de projeto remete os usuários das unidades habitacionais a um maior consumo energético em geral causado pelo emprego de aparelhos condicionadores de ar o que interfere diretamente no nível da certificação das edificações analisadas destinada ao público de baixa renda.

2.5. CAPITAL COMO RELAÇÃO SOCIAL E SUA RELAÇÃO COM A PRODUÇÃO DA HABITAÇÃO NO BRASIL NO PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA

Anwar Shaikh (1990) desenvolve o conceito de que no capitalismo todas as propriedades que constituem o meio de produção são apropriadas pelos interesses sob a ótica de obtenção de maior acumulação. As dinâmicas das operações entre propriedade e trabalho são estabelecidas a partir da alienação do trabalho.

Um exemplo dessa relação é as formas de empréstimos que, tanto para o capitalismo como para o comunismo, servem para realizar uma operação de trabalho; porém no capitalismo os empréstimos são mecanismos no qual os donos do dinheiro utilizam os empréstimos para obter lucro.

Um aspecto interessante apresentado pelo autor é o estabelecimento das relações entre as pessoas por conta do trabalho. Ele afirma que o trabalhador acaba sendo essencial para além da produção de novas riquezas, uma vez que também no trabalho existe a reprodução das relações sociais em torno desta produção, bem como outras relações sociais ligadas diretamente nas operações do trabalho.

Esse tema abordado por Shaikh faz certo paralelo com a definição de Jesse de Souza (2017) sobre distinção de classe. A formação do indivíduo dentro de uma determinada classe tem relação direta ao contexto sociocultural em que esse indivíduo é exposto e inserido, no qual o estabelecimento do capital imaterial é repassado de acordo com exemplos e inserção dos indivíduos em instituições que vão reproduzir esses valores éticos, e tornar esses valores fatores determinantes nos interesses dos indivíduos protagonizados em uma classe (SOUZA, 2017).

Outra consideração de Shaikh (1990) é sobre o fato de que as condições de trabalho de uma classe devem ser exigidas para além da necessidade do indivíduo que produz, assim o

excedente produzido pode ser usado como apoio aos donos do capital ou governantes, ou seja, a própria existência de uma classe dominante se dá pela exploração do trabalho.

E ainda citando Anwar Shaikh:

“que a condição social geral para a venda regular de força de trabalho é que a classe trabalhadora como um todo seja induzida a realizar trabalhos excedente, pois é este trabalho excedente que forma a base do lucro capitalista, e é este lucro que, por sua vez, mantém a classe capitalista disposta e capaz de reutilizar trabalhadores. E como o próprio capitalismo deixa bem claro, a luta entre as classes sobre as condições, termos e futuro dessas relações sempre foi uma parte integrante de sua história”. (Shaikh A. 1990 – pag. 74).

Dessa forma, o capital, quando de interesse do indivíduo, visa única e exclusivamente o lucro.

Shaikh (1990) traz também que o capital como relação social é direcionado para obtenção de lucro. Ele explica que, em geral, a ideia de acúmulo pode ser representada pela quantia M de capital que segundo a lógica do capital deve ser transformada em uma quantia M' ainda maior que o valor inicial e quanto maior essa escala maior o sucesso da operação. Os empréstimos financeiros devolvidos com juros podem ser considerados um exemplo dessa lógica, outros processos são a compra e revenda de *commodities*, além de outros exemplos do ciclo do lucro.

Com relação aos empréstimos financeiros segundo os moldes do capital dentro da produção de habitação, Rolnik (2015) menciona que as questões de produção de espaços habitacionais deixam de ser responsabilidade de políticas públicas diretas e passam a fazer parte do cenário do neoliberalismo através da inserção de ativos financeiros como instrumentação de hipotecas e sistemas de crédito imobiliário de acordo com o contexto de cada país. Em alguns casos, essa transformação aconteceu por meio da privatização de habitação pública, cortes drásticos de investimentos em fundos habitacionais e quebra de subsídios de aluguéis de imóveis. Essas medidas foram acompanhadas pela desregulamentação do mercado financeiro e novas instrumentações urbanas que permitiam a mobilização do capital nacional junto com ação do capital internacional.

A autora ainda menciona que a ideologia da transferência da responsabilidade de produção de habitação pelo poder público para o mercado financeiro e a institucionalização dessa dívida para as famílias ocorre em lugares mesmo onde a privatização do estoque público de habitação não foi tão intensa. Na verdade, houve a disseminação em massa do paradigma do modelo de casa própria e propriedade privada como modelo de política habitacional com atuação intensa do estado através do abandono de instrumentos de promoção de habitação e política urbana em favorecimento da desregulamentação do mercado imobiliário (ROLNIK, 2015).

Um dos instrumentos de operação dessa política pública na qual o estado passa a responsabilidade de promoção de habitação ao mercado financeiro que à remete ao indivíduo são as operações de hipoteca ou crédito imobiliário. Segundo Marinheiro (2005), o crédito imobiliário tem, por definição, ser um empréstimo financeiro que tem sua garantia na execução da própria propriedade objeto do financiamento. Nesse caso, o risco do operador do empréstimo está na inadimplência por parte do financiador e no valor de mercado da propriedade, além da taxa de juros que pode sofrer graduações de acordo com a operação utilizada.

Viotto (2015) faz a comparação entre Sistema Financeiro de Habitação (SFH) e o Sistema Financeiro Imobiliário (SFI) no Brasil, mencionando que o SFH está correlacionado à um período desenvolvimentista e intervencionista no país.

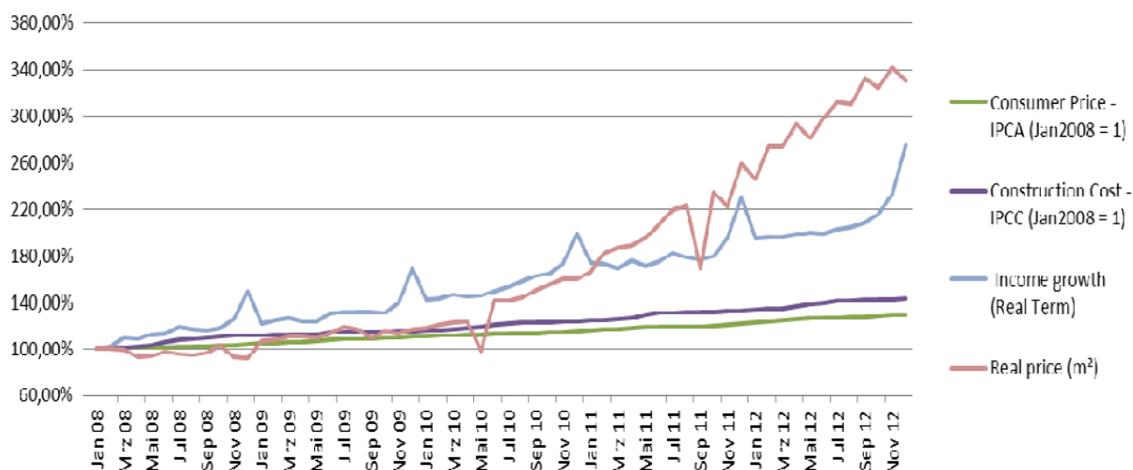
Viotto (2015) ainda menciona que o modelo de produção de habitação partindo de uma lógica intervencionista do estado começa a colapsar entre as décadas de 1960 e 1970, em particular em países da centralidade do capitalismo e alguns países da periferia como o Brasil. Essa transformação se dá no período de recessão que começa no final da década de 1970 e início da década de 1980 com o fim do padrão dólar-ouro e com a liberalização do câmbio.

As medidas mencionadas geraram altas taxas de inflação e baixa capacidade de arrecadação dos estados, o que levou ao esgotamento de políticas públicas em setores como o da habitação e com isso começa a se intensificar a ideia de que o mercado deveria ter mais liberdade de operação e que ao estado deveria ser relegada a algumas funções específicas de acordo com o contexto.

O programa Minha Casa Minha Vida é um modelo de operação financeira e produção de habitação onde a ação do estado está ligado aos interesses das empresas que vão produzir conjuntos habitacionais como uns dos instrumentos de crescimento econômico do país.

Rolnik (2015) menciona que, entre outros fatores, cabia às construtoras a decisão de projeto e localização dos empreendimentos. A articulação entre o setor privado e público é representativo no PMCMV, ao mesmo tempo que o programa fazia as empresas se comprometerem diretamente com a questão do déficit habitacional. Essas operações só acontecem quando o poder público permite essas produções através de subsídios direcionados na aquisição das unidades habitacionais dentro do sistema de crédito imobiliário de pessoa física. Essa manobra financeira acontece quando o risco da operação fica exclusivamente sobre o setor público garantindo que o subsídio de aquisição da unidade habitacional possa ser incorporado ao lucro de produção do setor privado, em particular as grandes construtoras.

Figura 1 - Relação de crescimento de IPCA, IPCC, Renda Real e Valor de m²



Fonte: ARAGÃO T., 2014 – pag. 16

Aragão (2014) mostra na Figura 01 que os preços de m² da produção imobiliária passam a ter um crescimento maior a partir de novembro de 2011 com relação ao índice de Inflação (IPCA), preço de produção do setor da construção civil (IPCC) e o crescimento da renda (*Real Term*) e está correlacionado com as operações do modelo do PMCMV.

Rolnik (2015) apresenta o relatório realizado pelo LabCidade em 2014 sobre as regiões metropolitanas de São Paulo e Campinas que contou com entrevistas de representantes de grandes construtoras que atuavam no PMCMV na época. O relatório aponta que a realização dos empreendimentos tinha como lógica a obtenção de terrenos na franja das malhas urbanas e em áreas públicas localizadas em regiões centrais consolidadas nessas regiões metropolitanas. As construtoras também relataram que, como modelo de negócio, a produção de conjuntos habitacionais contava com uma taxa de retorno a partir de 15%.

Segundo Csaba (2013), a relação entre Estado e a difusão da acumulação no capitalismo na organização espacial é descrita como:

“A história do planejamento urbano, a forma assumida pela intervenção do Estado na organização espacial, é dominada pelo processo de difusão do capitalismo em seu estágio de acumulação intensa ou em outras palavras, pelo rumo que tomou o desenvolvimento dos estados nacionais que se tornaram os principais centros de acumulação dentro da estrutura imperialista mundial.” (CSABA, 2013, pag. 4).

Shaikh (1990) comenta como a acumulação de capital serve para gerar uma maior acumulação de capital. Esse processo acontece por meio de instrumentos como o rentismo, a formação de commodities, a lógica de comprar barato e vender caro; assim como as apropriações dos meios de produção. Esses conceitos constituem as relações sociais em uma

sociedade capitalista e determinam as condições de produção em setores essenciais como a moradia.

2.6 - REVISÃO DE ESTUDOS DE CASOS DE CALIBRAÇÃO DE MODELOS EM SIMULAÇÃO ENERGÉTICA PARA EDIFÍCIOS

A calibração de modelos energéticos para edificação é um processo de ajuste de simulação energética de um edifício a partir de uma referência de consumo de energia. Segundo Tardioli G. et al. (2020), a calibração de modelos é um processo demorado que envolve grande quantidade de dados e conhecimento técnico especializado para ajustes da simulação energética. Por conta da quantidade de dados processados na calibração e o número de parâmetros que envolvem uma simulação energética, cada processo de calibração de simulação tem sua especificidade. Esse subcapítulo vai apresentar alguns estudos de casos a partir de suas particularidades na calibração de modelos energéticos, levando em consideração três semelhanças que os estudos de casos apresentam como:

- As simulações foram feitas no *software EnergyPlus*;
- Todas as simulações apresentaram regime anual de análise;
- Análise de sensibilidade no critério técnico de calibração de modelos.

Os trabalhos que compõem a revisão de metodologia de calibração são:

2.6.1 - O método Guo J. et al. (2021)

O método proposto por Guo J. et al. consiste na aplicação de diferentes ferramentas na operação da simulação energética de edifícios utilizando *software* de simulação energética para estimar as demandas energéticas de edifícios e consolidar a avaliação de sua assinatura energética. A maior parte das ferramentas de simulação energética não conseguem prever com precisão o funcionamento energético de um edifício por conta da interação entre inúmeras variáveis no processo de simulação.

Assim, os autores têm como objetivo propor um método apropriado para a calibração do modelo energético de um edifício levando em consideração a grande quantidade de parâmetros e complexidade de cálculos necessários no processo de calibração. Para diminuir as diferenças entre medições de dados do edifício e resultados de simulação os autores utilizaram um sistema de calibração baseado em otimização através de um algoritmo chamado *Slime* e assim realizar a análise de sensibilidade da calibração do modelo, que é aplicado no próprio

processo de simulação energética. A quantidade de parâmetros que envolve uma simulação energética dificulta o processo de escolha de quais variáveis adotar para calibrar a simulação. Como técnica a otimização dentro do processo de simulação análise qual dado de entrada do modelo deve sofrer alteração tendo como base o resultado da simulação configurado para atingir um Erro Sistemático Médio (ESM) determinado nos parâmetros do algoritmo (Guo J et al., 2021). Como estudo de caso da metodologia de calibração os autores modelaram um edifício de escritórios localizado em Dubai nos Emirados Árabes Unidos, o prédio era composto por cinco pavimentos e 3.610m² de área útil.

O edifício analisado utiliza energia elétrica como única fonte de energia e apresenta um padrão de ocupação de 5 dias por semana com 9 horas de ocupação diária na maioria dos ambientes. A mensuração dos padrões de consumo de energia elétrica reais foi feita por aparelhos que mediram o consumo nos principais circuitos das caixas de distribuição de energia do edifício entre os meses de maio a setembro de 2016, esses dados de consumo formam o parâmetro de comparação do processo de calibração da simulação da assinatura energética do prédio. O processo de calibração desenvolvido por Guo J et al. (2021) teve como fluxo de operação a inicialização da simulação, análise do algoritmo para parametrização da simulação, processo de simulação com os parâmetros do algoritmo, análise de resultados e otimização do algoritmo caso os resultados finais da simulação não sejam alcançados.

Tabela 2 - Índice de Erro Sistemático Médio atingido por Guo J et al (2021 e o estipulado pela ASHRAE

Horário	Guo J et al., 2021		ASHRAE
	ESM	-3.24%–6.79%	

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Guo J et al., 2021.

O resultado da pesquisa apresentou dados que foram comparados a outras pesquisas de calibração de modelos energéticos e mostrou validade do procedimento dentro do intervalo para Erro Sistemático Médio e Coeficiente de Variância do Erro Médio Quadrado definido pela ASHRAE em medições horárias, a tabela 02 mostra a comparação entre o ESM obtido na pesquisa de Guo J et al., 2021 e o intervalo determinado pela ASHRAE para ESM horário.

2.6.2 - O método de Heoa Y. et al., (2012)

O trabalho de Heoa Y. et al. discute a necessidade de metodologias para assinatura energética voltadas para retrofit de edifícios. O estudo dos autores apresenta uma metodologia que garanta tanto em escala como em confiabilidade o aporte de investimentos na modernização energética de edifícios. A metodologia do trabalho é baseada na calibração bayesiana de modelos de energia instruídos por normas de desempenho energético de edifícios, com base nos padrões normativos da CEN-ISSO e na elaboração de modelo baseado em dados de desempenho térmico coletados. Os modelos de energia têm como característica principal formulações leves em equações de equilíbrio de calor, essa característica garante que os modelos operados em simulações energéticas são apropriados para simular com eficiência a maior parte dos edifícios consolidados e em operação. A calibração desses modelos permite representação adequada das características reais dos edifícios e a quantificação das incertezas associadas aos parâmetros de cada modelo em particular. Além disso, os modelos calibrados podem simular padrões específicos de intervenções de *retrofit* para gerar análise de desempenho energético do sistema de *retrofit* que deseja ser empregado.

Modelos de computadores que realizam simulação energética são essenciais para entender a operação de um edifício e entender como podem ser feitas as medidas que garantam sua economia de energia (Heoa Y. et al., 2012). O desenvolvimento de um modelo base e o resultado da análise de seus dados de saída são essenciais para entender as necessidades de calibração ou mesmo a compreensão de onde pode haver ganhos e perdas na assinatura energética do edifício. Conforme o resultado dos dados de saída do modelo base é possível averiguar se há necessidade de uma abordagem de calibração baseada em evidência ou em análise de sensibilidade. Os resultados da simulação calibrada podem quantificar os riscos de desempenho associados às técnicas e tecnologias que podem ser incorporadas no *retrofit* da edificação.

Para apresentar a metodologia de análise de riscos de implementação do *retrofit* os autores realizaram um estudo de caso de um edifício de escritórios na Inglaterra onde havia disponibilidade de dados para a calibração da assinatura energética do edifício. O processo de assinatura energética do edifício teve como base a elaboração de dois modelos de simulação energética. Um modelo baseado nos procedimentos normativos e outro modelo baseado nos dados levantados considerando os parâmetros para aquecimento dos ambientes do edifício.

Como parâmetro de calibração dos modelos foram utilizados os dados de consumo de contas de gás do prédio, esses dados são os parâmetros que determinam a assinatura energética desejada pelos autores. O modelo baseado nas características do prédio teve como caracterização de dados de entrada uma série de parâmetros que vão determinar o consumo de energia do edifício considerando as propriedades térmicas dos materiais de construção, análise térmica da envoltória do prédio, cargas internas de calor, características do sistema de aquecimento, características de ventilação e infiltração das aberturas da fachada e dados de temperatura do ambiente externo da edificação analisada. Os dois modelos rodaram simulações como cenário base e foram comparados com os dados de consumo de contas de gás da edificação, nessa comparação os autores averiguaram a necessidade de calibração dos dois modelos, a tabela 03 mostra os índices de confiabilidade dos modelos antes e depois da calibração.

Para determinar quais dados de entrada devem ser alterados Heoa Y. et al. (2012) usaram uma técnica de triagem de parâmetros que classifica o efeito relativo de cada parâmetro em relação aos dados de entrada nas simulações. Essa técnica é chamada de método Morris, esse método divide cada intervalo de parâmetros em um número e cria um novo intervalo para seleção de cada parâmetro. Esse processo vai se ajustando conforme a relação dos parâmetros e do intervalo se altera para ajustar os parâmetros de dado de entrada da simulação até se adequar os dados de entrada do modelo conforme o parâmetro de consumo desejado. No final do procedimento é obtida a distribuição de efeitos para todos os parâmetros de entrada (Heoa Y. et al. 2012) e esse é o processo de análise de sensibilidade da metodologia. Essa técnica minimiza o erro da análise de sensibilidade e cria um critério de distribuição de alteração dos dados de entrada da simulação voltado para a parametrização dos dados de consumo energético elencado como ideal.

Tabela 3 - Nível de conformidade atingido pelos modelos

Tipo de modelo	Nível de conformidade
Antes da calibração	
BASE NORMATIVA	76%
BASE DE DADOS REAIS	88%
Depois da calibração	
BASE NORMATIVA	97%
BASE DA DODOS REAIS	97%

Fonte: Elaborada pelo autor a partir de Heoa Y. et al., 2012.

O resultado do processo de análise de tomada de risco para o *retrofit* da edificação, demonstra que a metodologia de calibração com desenvolvimento de modelos normativos e modelos baseados em dados diretos da edificação pode representar com segurança a assinatura energética do edifício de escritório escolhido como estudo de caso. Os modelos calibrados apresentaram 97% de nível de conformidade em relação ao parâmetro de comparação estipulado para assinatura energética do edifício.

2.6.3 - O método de Westphal e Lamberts (2005)

A pesquisa de Westphal e Lamberts (2005) tem como objetivo desenvolver uma metodologia de calibração de modelos de simulação energética de edificações baseada em análise de sensibilidade dos dados de entrada de modelos. Os autores definem que a calibração da simulação energética é um processo iterativo onde o usuário realiza ajuste dos dados de entrada de um modelo para obter a representação mais próxima possível do comportamento energético da edificação na realidade. Esta tarefa envolve a manipulação de centenas de variáveis de entrada em uma ferramenta de simulação, onde as bases de consumo energético da edificação, as técnicas de análise de incertezas e sensibilidade de parâmetros de adequação são aplicadas aos modelos computacionais para a validação do método de calibração onde é possível representar com maior fidelidade os dados de consumo de energia real auferidos através de auditorias energéticas do prédio que se pretende representar o consumo energético real.

A metodologia de análise de sensibilidade para calibração de modelos energéticos, é baseada em auxiliar o processo de calibração através do refinamento progressivo do modelo em particular. Esse processo auxilia na redução de incertezas sobre os resultados calculados pela simulação à medida que avança nas etapas de calibração (Westphal et al. 2005).

A metodologia proposta pelos autores sugere que a calibração ocorra em duas etapas, numa primeira fase roda-se um cenário base e onde a análise de sensibilidade é subsidiada pelos dados do prédio e condessados através de equações de regressão. Na segunda etapa da calibração o modelo é analisado a partir da análise de sensibilidade desenvolvida com informações da primeira etapa de calibração (Westphal et al. 2005). No desenvolvimento dos modelos os autores fizeram rotinas de programação para iniciar as simulações no EnergyPlus e o processamento dos dados de saída foram feitos em planilhas do Excel através das equações de regressão considerado o dado de saída de consumo de energia elétrica anual em kWh/m² de área.

O estudo de caso de Westphal e Lamberts (2005) é um edifício público localizado na cidade de Florianópolis/SC onde os autores tiveram acesso aos dados de consumo energético do prédio através de auditorias energéticas sobre o edifício. A metodologia começa com a instrumentação do modelo base de assinatura energética do edifício e comparação com os dados de consumo de energia coletados na auditoria. A partir do modelo base é feita a calibração de cargas contrastantes (cargas de iluminação e tomadas/equipamentos), análise de cargas térmicas simuladas em dias de projeto, análise de sensibilidade de ganhos/perdas de calor dos ambientes, ajustes parâmetros com maior grau de incerteza e ajustes finais.

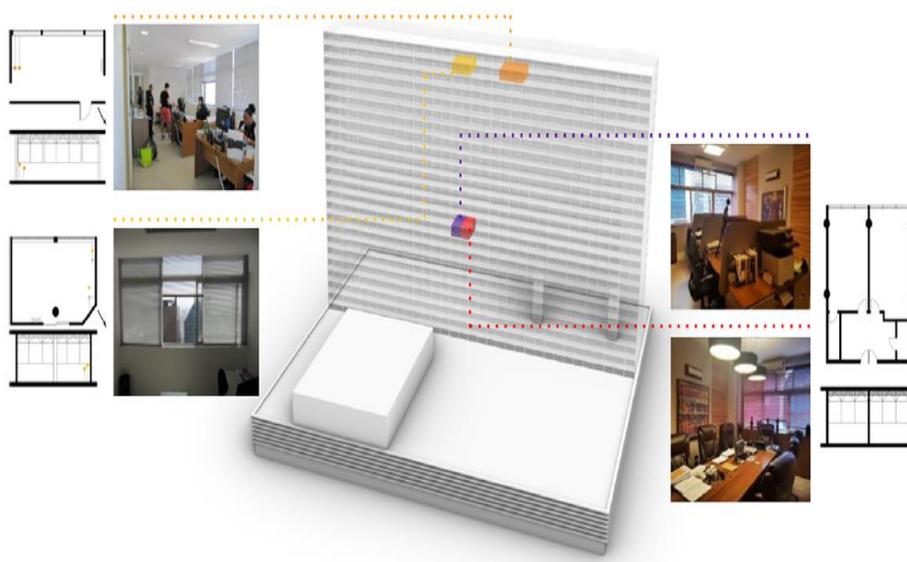
Ao final do processo de calibração da simulação os autores compararam o resultado da simulação com as medições energéticas em regime mensal e horário através de plotagem de gráfico por potência e auferem que a simulação está calibrada de acordo com o parâmetro escolhido. Como resultado da calibração Westphal e Lamberts (2005) obtiveram um modelo que representa o consumo anual médio de 145 MWh \pm 11% de erro sistemático médio e com 95% de nível de conformidade em comparação ao consumo real da edificação que é de 149 MWh.

2.7 - ANÁLISE DE CONFORTO AMBIENTAL DE UM EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIO MODERNISTA BRASILEIRO NA ZONA BIOCLIMÁTICA DE SÃO PAULO: ESTUDO DE CASO DO CONJUNTO NACIONAL

Kronka et al. (2021) levantam a discussão sobre o conforto térmico por meio da análise de dados medidos e simulados em quatro tipologias do edifício comercial modernista brasileiro, o Conjunto Nacional de 1963 localizado na cidade de São Paulo.

No estudo de caso foram analisados dados sobre iluminação natural, cargas térmicas e níveis de ruídos em quatro tipologias com uso comercial. Os cenários termodinâmicos simulados apontaram que as tipologias podem gerar conforto térmico através de ventilação natural em cerca de 85% das horas de ocupação.

Figura 2 - Modelo esquemático evidenciando as tipologias analisadas



Fonte: (Kronka et al., pag. 623 - 2021)

Na figura 02 temos o modelo do estudo de caso para análise de performance térmica e as características térmicas dos materiais construtivos e ganhos térmicos dos equipamentos para as tipologias analisadas

As análises das quatro unidades habitacionais mostraram que a caracterização de conforto das tipologias apresentara os seguintes comportamentos: com relação a incidência solar, são verificados níveis de desconforto visual devido a ofuscação do campo visual e desconforto térmico. Para minimizar o desconforto térmico, os ocupantes das tipologias abrem a janelas, que promove desconforto acústico, devido à alta incidência de ruído na região de sítio

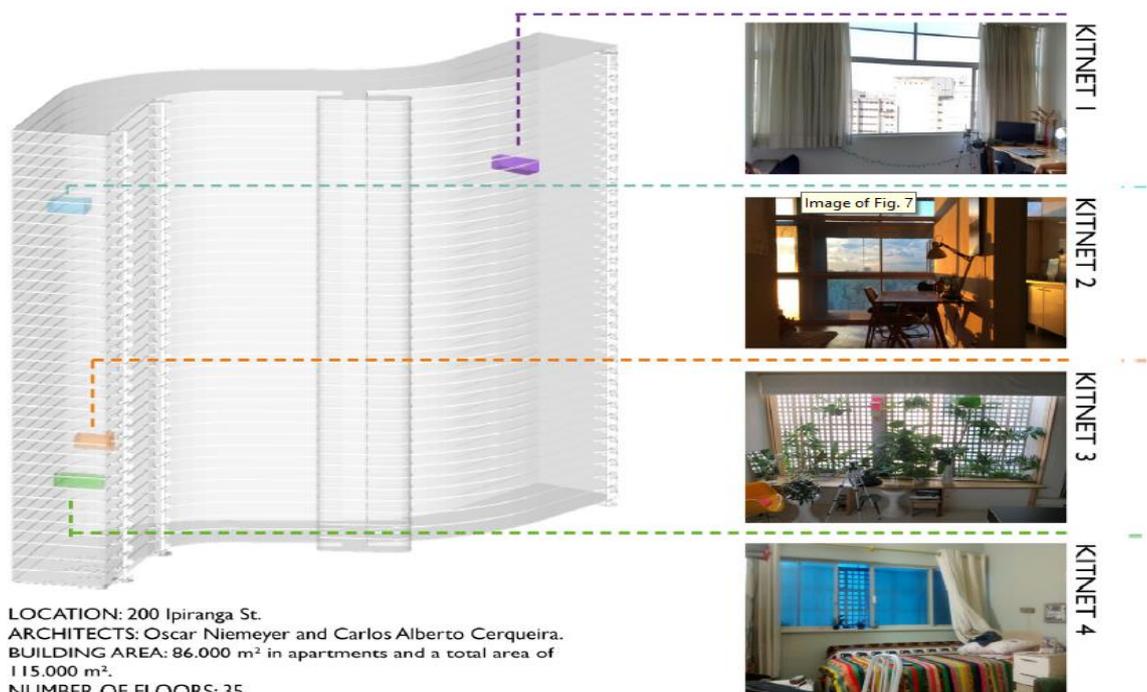
da edificação. Como resultado, para o caso do Conjunto Nacional, a ventilação natural é uma estratégia eficiente de conforto com relação ao resfriamento dos espaços comerciais mesmo com ausência de sistema de sombreamento, mas que promove outras fontes de desconforto para os usuários das unidades habitacionais.

2.8 - ANÁLISE TÉRMICA DOS AMBIENTES DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL DE ALTA DENSIDADE DO PERÍODO DO MODERNISMO BRASILEIRO: O ESTUDO DE CASO DO EDIFÍCIO COPAN

Soares et al. (2018) analisam as características de conforto térmico do edifício COPAN, contando com dados obtidos em campo e por simulação termo energética computacional para a performance térmica da edificação tendo como parâmetro o que estipula a norma ASHARE 55-2013 (colocar referência) como critério de análise para o estudo.

Uma das características do edifício é que, na fase de projeto, a orientação solar foi um dos fatores de orientação na implantação do edifício. Foram levadas em conta estratégias como sombreamento, massas térmicas e utilização de ventilação natural para maximizar a eficiência energética e o conforto térmico dos futuros moradores.

Figura 3 - Modelo esquemático evidenciando as tipologias analisadas



Fonte: (Kronka et al., pag. 623 - 2018)

Foram analisados dados de campos obtidos de 4 unidades habitacionais do tipo quitinete com empenas cegas, com sistema de *brises* de concreto para sombreamento e sistemas de vedação com cobogós. Já a simulação termo energética foi realizada com um modelo digital da edificação e do entorno imediato, utilizando-se a ferramenta TAS (*Thermal Analysis Simulation*) Soares et al. (2018). A figura 03 mostra o modelo da edificação e as características dos ambientes analisados.

Os resultados das análises do estudo concluíram que a inércia térmica gerada através dos mecanismos adotados no projeto do COPAN como os *brises* da fachada, garantem conforto térmico aos ocupantes em períodos quentes e frios do ano com oscilações internas de temperatura variando entre 24°C e 26°C. Os detalhes de projeto orientados pelos conceitos do Modernismo Bioclimática Brasileiro como a valorização da ventilação natural e mecanismos de sombreamento configuram que a tipologia analisada tem como regime de operação de trocas de calor da seguinte forma: durante as noites mais quentes o regime de trocas de calor através da abertura das janelas funciona como um mecanismo que auxilia na diminuição das temperaturas interna durante os períodos diurnos mais quentes, já para os períodos do ano mais frios o fechamento das janelas durante a noite garante que a temperatura dos ambientes internos fiquem próxima de 20°C durante o período de dia.

3. OBJETO DE ESTUDO

3.1 - O EMPREENDIMENTO RESIDENCIAL MARIA PAULA

Para entender a relevância do estudo de empreendimentos como o Maria Paula é necessário entender o contexto em que o empreendimento foi realizado. Como já foi mencionado o centro de São Paulo sofreu um processo de esvaziamento habitacional a partir da 70 do século passado somente a partir da década de 1990 é que começam a surgir programas que incentivariam a recuperação da área central com foco diversificado de usos e atividades. Ferreira (2012) coloca que as ações e os programas de valorização da área central passam por duas lógicas antagônicas:

- Volta de atividades características da região central antes de sua desvalorização e desocupação o que levaria ao incentivo de melhorias nas áreas centrais;
- Forte política pública voltada para a moradia popular na área central.

Com essas visões antagonistas para abordagem de valorização das áreas na região central de São Paulo foram elaborados diversos programas de requalificação; sobretudo a partir da redemocratização (SILVA, 2006):

Foram elaborados vários programas e incentivos para recuperação da área central, como:

- As operações urbanas Operação Urbana do Vale do Anhangabaú (1991), a Operação Urbana Água Branca (1993) e a Operação Urbana Centro (1997).
- As Leis específicas para a região [Lei de Fachadas (1997), a Lei de Incentivos Seletivos (2003), a Lei de Dação (2001) e a Lei de Remissão (2004), entre outras;
- As Zonas Especiais de Interesse Social - ZEIS (Plano Diretor, 2002);
- Associações como a Associação Viva o Centro (AVC);
- O projeto Habicentro (1997);
- O Programa de Requalificação Urbana e Funcional do Centro de São Paulo – Procentro (1993);
- O Programa Viver Melhor (2001); O Programa de Atuação em Cortiços (PAC) da Secretaria de Habitação do Governo do Estado de São Paulo;
- Programa de Locação Social da Prefeitura do Município de São Paulo (PMSP).

Além desses programas citados houve outros programas voltados à incentivar a valorização das áreas centrais do município de São Paulo, em particular vale a menção do projeto “Centro Novo” de 2017, que idealizava a criação de bulevares, circulação de ônibus

elétricos e incentivos para construções de prédios que pudessem atrair a volta da classe média para a região central. Esse programa não previa condições que incluíssem a volta da população de baixa renda na região central (CASSEB, 2018). Os programas voltados para área central estão ligados a questão do esvaziamento de áreas da cidade, mas conforme cita Ferreira (2012) os programas que articulam esta questão estão sempre apontando para soluções antagônicas o que sugere uma abordagem essencialmente voltada a interesses de grupos específicos.

A questão da moradia é essencial na apropriação dos espaços pela população, uma sociedade equilibrada deve ser garantida através de políticas públicas voltadas para esse tipo de questão. Entretanto, as diretrizes de programas públicos tendem a adotar ferramentas direcionadas ao agente promotor da habitação e não ao público de destinação (ROLNIK R., CYMBALISTA R., NAKANO K., 2011).

O programa institucional que vai viabilizar o Maria Paula é o programa de promoção da requalificação PAR (Programa de Arrendamento Residencial); uma parceria entre a Prefeitura de São Paulo e a Caixa Econômica Federal para promover a ocupação do centro histórico de São Paulo com moradia popular (BOMFIM 2004).

O edifício Maria Paula está localizado na Rua Dona Maria Paula, 161, no distrito da Bela Vista, localizado na área de administração da Prefeitura Regional da Sé, na região central da cidade de São Paulo. O edifício residencial foi construído no ano de 1956 concebido com 13 apartamentos residenciais destinados a classe de alto poder aquisitivo da época e com área construída de aproximadamente 320m². O projeto original é de autoria do Escritório Técnico A. B. Pimentel e a propriedade do empreendimento era de Dirce de Azevedo Soares B. Pimentel e outros. (CASSEB, 2018)

Figura 4 - Foto aérea de localização do conjunto residencial Maria Paula – coordenadas 23°33'07"S / 46°38'21"O



Fonte: (elaborado pelo autor a partir de GOOGLEEARTH, 2022)

Desde o início de sua operação até a década de 90 do século passado, o edifício foi passando pelo processo de esvaziamento. Mesmo desocupado a venda do imóvel para o poder público não era de interesse do proprietário da época, porém, em 1997, o movimento de moradia Fórum de Cortiços e Sem-Teto ocupou a edificação o que levou eventualmente ao início da requalificação do Maria Paula. (CASSEB, 2018)

A partida da década de 90, a ausência de moradia no centro e proliferação dos cortiços levaram a manifestações dos movimentos de moradia através da ocupação organizada de edificações abandonadas no centro de São Paulo. Essas ocupações são ferramentas de reivindicação junto ao poder público para moradia de parte da população de baixa renda. Nesse contexto a prefeitura de São Paulo, na gestão de 2001 a 2004, realizou um convênio com a Caixa Econômica Federal, implementando o Programa de Arrendamento Residencial para famílias com renda entre três e seis salários-mínimos, através da requalificação de edifícios em mal estado de conservação e /ou desocupados no centro histórico e seu entorno. Esse convênio entre a Prefeitura de São Paulo e A Caixa Econômica Federal foi chamado de Programa Morar no Centro (DOCOMOMO, 2007).

O projeto de requalificação e a incorporação da edificação começa em 2001 e tem sua conclusão em 2004, elaborado pela assessoria técnica e escritório Fábrica Urbana (FU) em

parceria com o Fórum de Cortiços e Sem-teto de São Paulo. Já a construtora contratada para a execução da obra foi a 3RD Ltda., sediada na época no estado de Mato Grosso.

Durante o processo de legalização do projeto de requalificação, a edificação passa pelo seu tombamento através do Conselho Municipal de Preservação de São Paulo (CONPRESP), mediante Resolução nº 75 22/2002, devido a sua importância arquitetônica, histórica e cultural. Segundo a resolução, o edifício fica classificado como NP3 (Nível de Preservação 3):

Segundo o Artigo 7 da Resolução nº 22/2002, o Nível de Preservação 3 (NP3) é caracterizado como preservação parcial do bem tombado, e ressalta que: “quando se tratar de imóvel deverão ser mantidas as características externas, a ambiência e a coerência com o imóvel vizinho classificado como NP1 e NP2, bem como deverá estar prevista a possibilidade de recuperação das características arquitetônicas originais”. O Artigo 9º ainda expressa: “com relação aos imóveis classificados com NP3 serão admitidos reparos externos visando conservação e manutenção do bem tombado, sem modificação de vãos, estrutura ou material utilizado”. (DOCOMOMO BRASIL, 2007)

Segundo um dos autores do projeto, o arquiteto Juan Luís Rodrigues Gonzáles, as quantidades de unidades habitacionais foram definidas entre a assessoria técnica, o movimento de moradia e o setor da Caixa Econômica Federal que analisou o financiamento do empreendimento. Foi necessário equalizar os valores a serem pagos pelas habitações levando em consideração o preço do imóvel e da obra como um todo.

Sendo assim cada pavimento deveria comportar a maior quantidade de habitações possíveis que possibilitassem uma moradia de acordo com a diretrizes de legalização, o que para esse caso em particular resultou na concepção de um corredor de circulação no fundo da edificação, que possibilitou uma planta tipo com metragens mínimas para seis apartamentos por andar com ventilação e iluminação natural em todas as unidades habitacionais. (CASSEB, 2018).

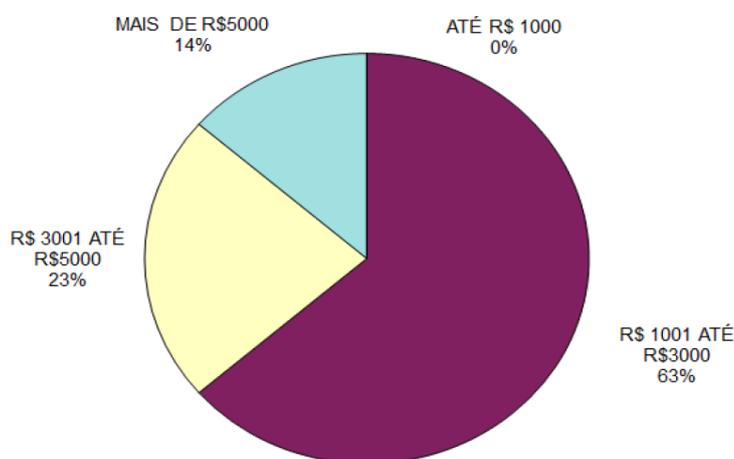
No térreo foram concebidos dois apartamentos adaptados para portadores de deficiência de mobilidade, o acesso da edificação, uma lavanderia coletiva e a portaria. O subsolo foi destinado ao reservatório de água, abrigo de medidores de gás e energia, salão de festas e jardim e, adicionalmente, existe uma unidade habitacional no 13º pavimento.

Ao todo foram concebidas 75 unidades habitacionais destinado ao público de baixa renda onde antes da requalificação existia uma edificação de 13 unidades habitacionais destinada ao público de alta renda quando da concepção do edifício em 1956.

O programa de promoção da requalificação foi o Programa de Arrendamento Residencial (PAR), uma parceria entre a Prefeitura de São Paulo e a Caixa Econômica Federal para promover a ocupação do centro histórico de São Paulo com moradia popular. O valor pago pelo imóvel na época foi de R\$ 1.000.000,00 e o da operação de requalificação do Maria Paula foi de R\$ 1.980.596,69 em valores da época.

O valor das operações de restauração e requalificação, e até da reciclagem de algumas edificações, desenvolvidos através do PAR, tinham como critério valor máximo de aquisição da unidade de habitação para a região metropolitana de São Paulo. De 24/01/2001 até 31/12/2001, o valor comercializado por unidade era de R\$25.000,00 (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL); a partir de 31/12/2001, o valor do programa passou a ser de R\$35.000,00 (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL); e a partir de 08/07/2005, o valor chega a ser de R\$ 40.000,00 (DOCOMOMO, 2007). Na figura 05 temos a distribuição de renda na composição das famílias ocupantes do Residencial Maria Paula.

Figura 5 - Distribuição de renda das famílias do residencial Maria Paula



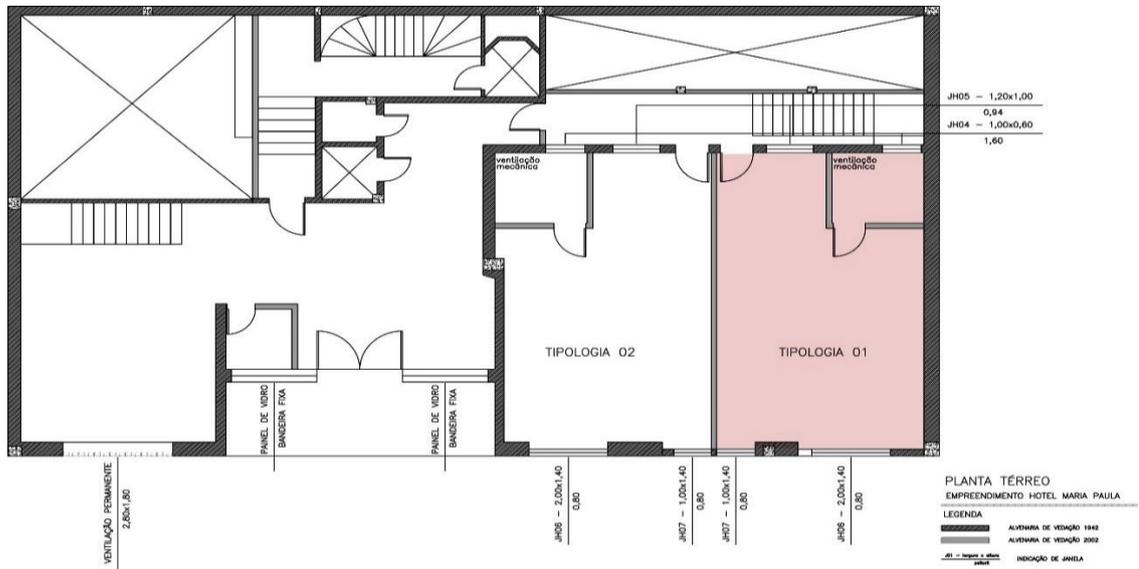
Fonte: (CASSEB, pag. 85, 2018)

3.2 DESIGN DAS TIPOLOGIAS DESENVOLVIDAS E SUAS CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS

A execução da reforma do edifício Maria Paula é resultado do projeto no qual se estabeleceu o *layout* de 9 tipologias habitacionais diferentes, entre elas existem 7 tipologias de unidades habitacionais identificadas como quitinetes e 2 tipologias com a configuração de unidades habitacionais compostas por 2 dormitórios.

A composição de materiais da reforma seguiu a lista determinada pelo agente financiador, a CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, que adota como balizador os materiais de construção civil e composição de preços de serviços atualizados pelo SINAP.

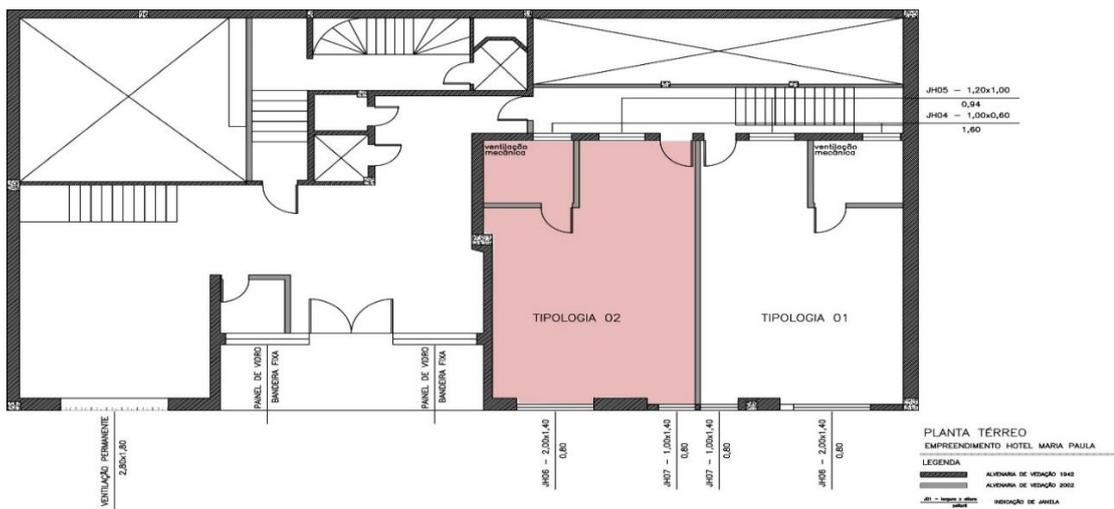
Figura 6 - Tipologia 01 - Térreo



APARTAMENTO	ÁREA (m ²)	PERIMETRO (M)
TIPOLOGIA 01 - TÉRREO	44,528	27,887

Fonte: (elaborado pelo autor, 2022)

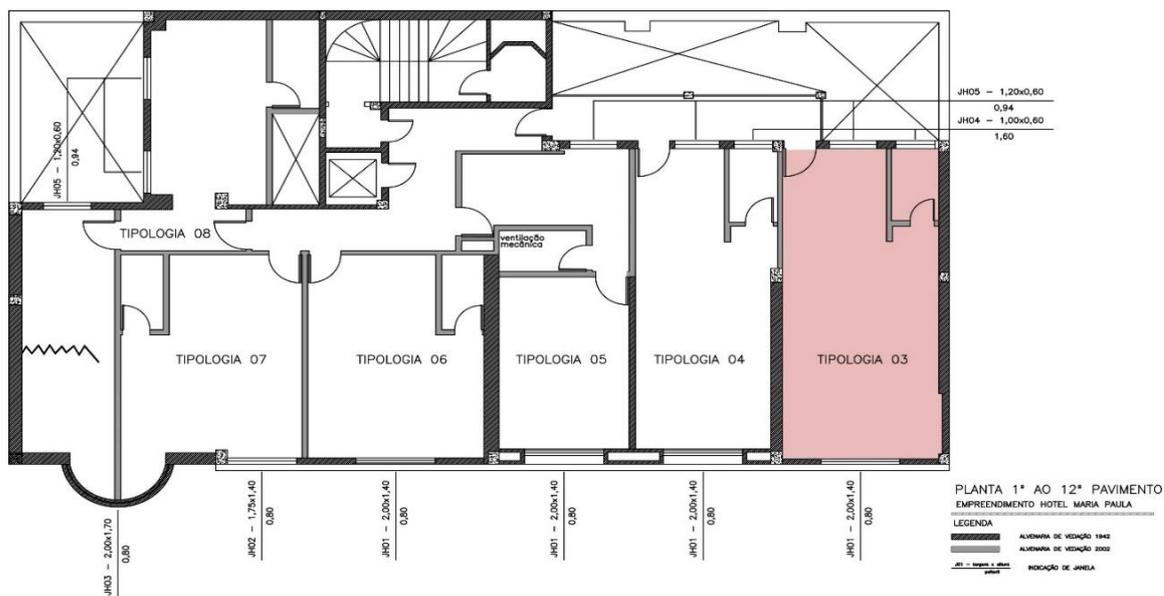
Figura 7- Tipologia 02 - Térreo



APARTAMENTO	ÁREA (m ²)	PERIMETRO (M)
TIPOLOGIA 02 - TÉRREO	44,548	27,93

Fonte: (elaborado pelo autor, 2022)

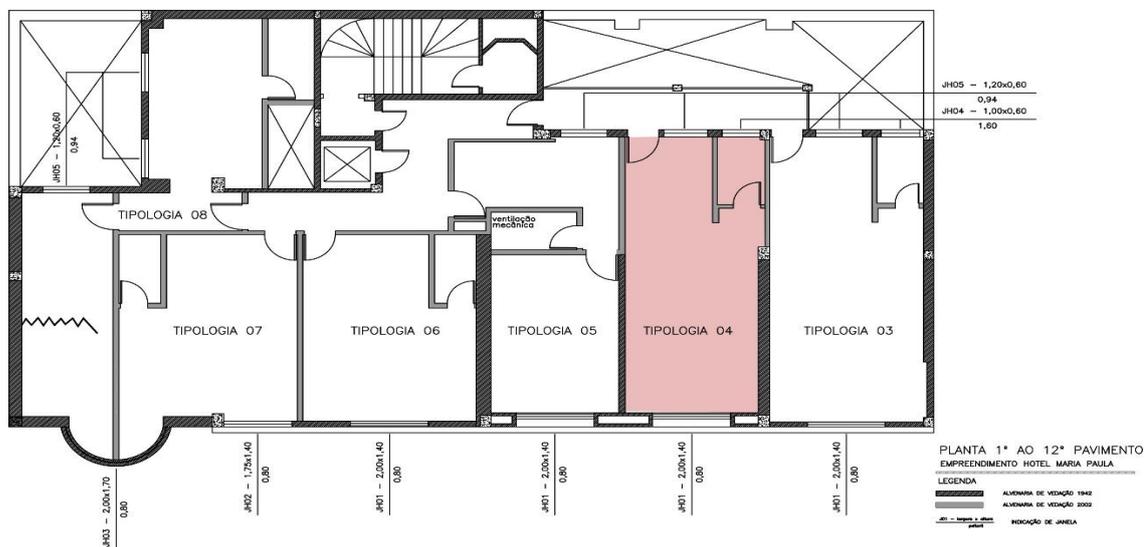
Figura 8 - Tipologia 03 - 1° ao 12° pav



APARTAMENTO	ÁREA (m ²)	PERIMETRO (M)
TIPOLOGIA 03 - 1º AO 12º PAV.	34,869	25,638

Fonte: (elaborado pelo autor, 2022)

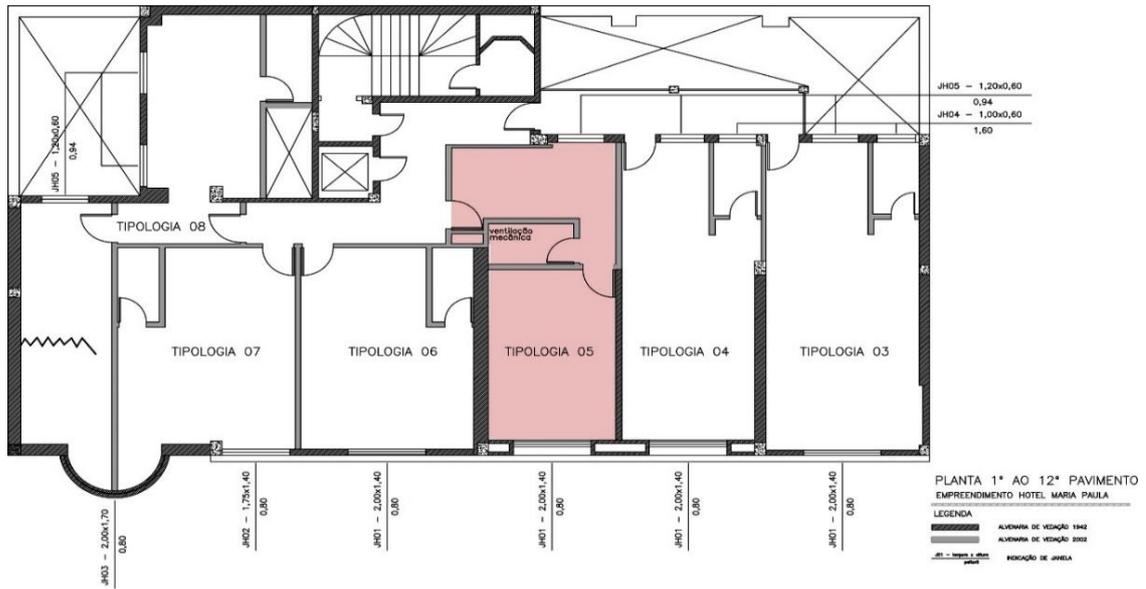
Figura 9 - Tipologia 04 - 1° ao 12° pav



APARTAMENTO	ÁREA (m ²)	PERIMETRO (M)
TIPOLOGIA 04 - 1º AO 12º PAV.	29,583	24,163

Fonte: (elaborado pelo autor, 2022)

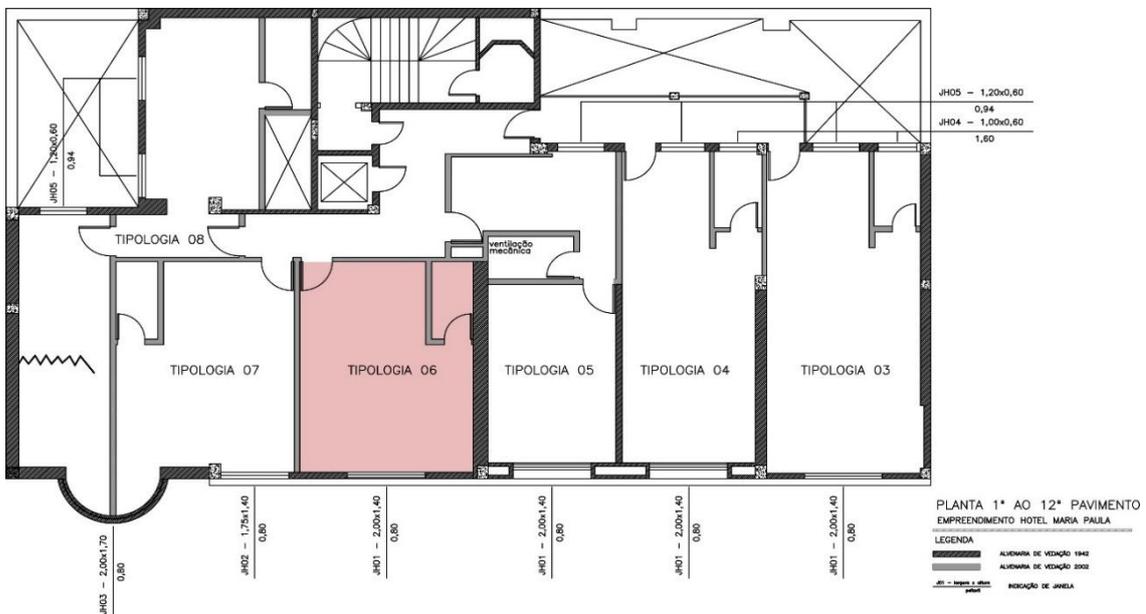
Figura 10 - Tipologia 05 - 1° ao 12° pav



APARTAMENTO	ÁREA (m ²)	PERIMETRO (M)
TIPOLOGIA 05 - 1° AO 12° PAV.	30,245	25,441

Fonte: (elaborado pelo autor, 2022)

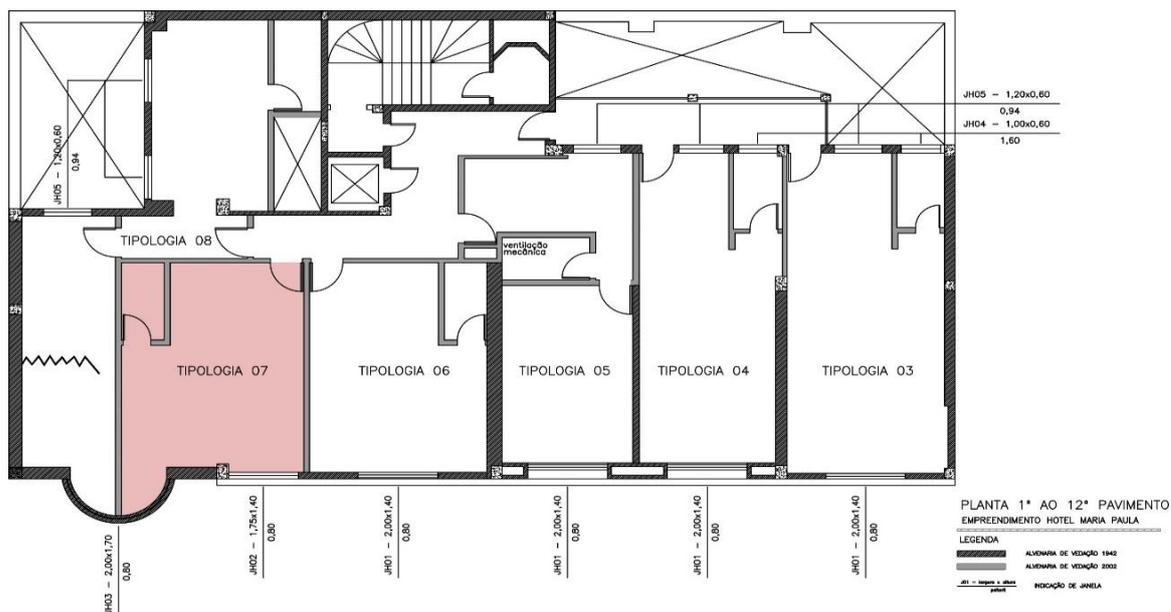
Figura 11 - Tipologia 06 - 1° ao 12° pav



APARTAMENTO	ÁREA (m ²)	PERIMETRO (M)
TIPOLOGIA 06 - 1° AO 12° PAV.	25,602	20,402

Fonte: (elaborado pelo autor, 2022)

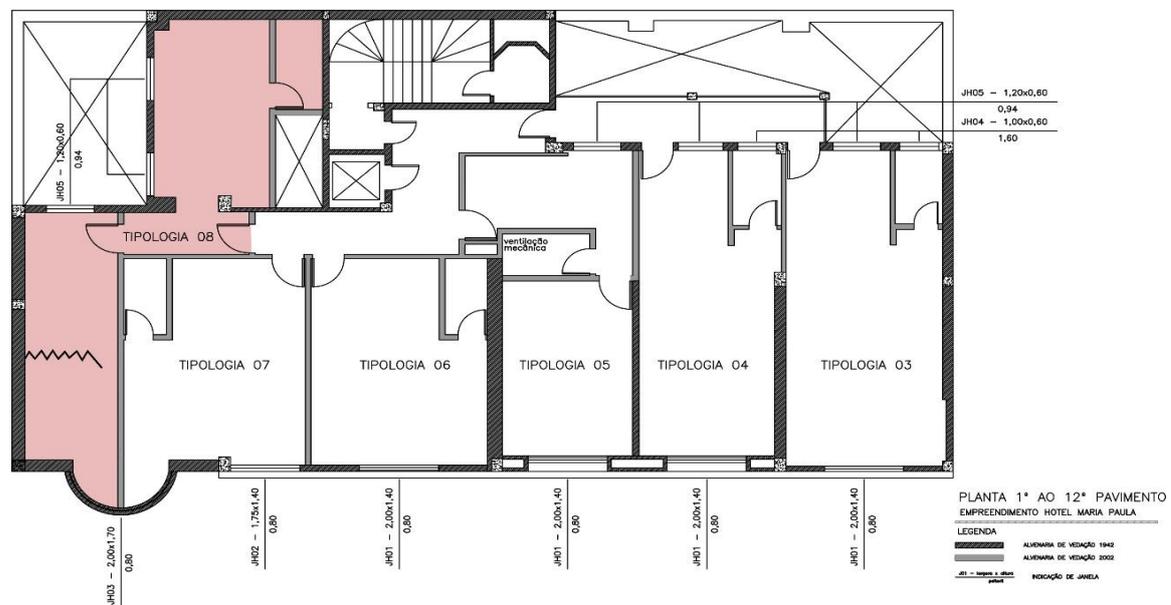
Figura 12 - Tipologia 07 - 1° ao 12° pav



APARTAMENTO	ÁREA (m ²)	PERIMETRO (M)
TIPOLOGIA 07 - 1° AO 12° PAV.	27,107	22,975

Fonte: (elaborado pelo autor, 2022)

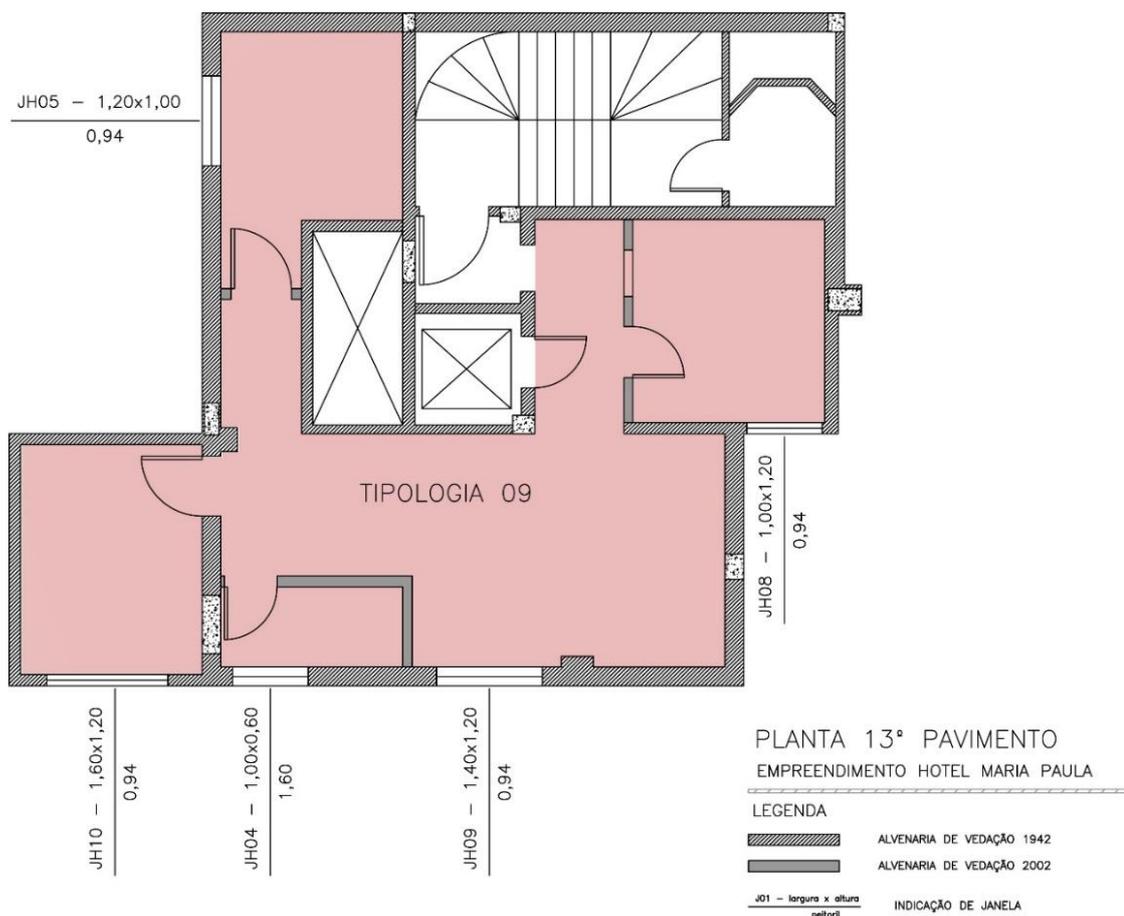
Figura 13 - Tipologia 08 - 1° ao 12° pav



APARTAMENTO	ÁREA (m ²)	PERIMETRO (M)
TIPOLOGIA 08 - 1° AO 12° PAV.	39,895	39,895

Fonte: (elaborado pelo autor, 2022)

Figura 14 - Tipologia 09 - 13° pav



APARTAMENTO	ÁREA (m ²)	PERIMETRO (M)
TIPOLOGIA 09 - 13º PAV.	48,51	47,047

Fonte: (elaborado pelo autor, 2022)

Nas tabelas 04 e 05 são apresentadas algumas características da edificação conforme foram concebidas na incorporação de 2001.

Tabela 4 - Quadro de áreas do Residencial Maria Paula

PLANTA	ÁREA (m ²)
SUBSOLO	304,56
TÉRREO	304,56
1º ao 12º PAVIMENTO	251,88
13º PAVIMENTO	80,25
TOTAL	3.460,05

Fonte: (elaborado pelo autor, 2022)

Tabela 5 - Indicação do pé direito dos pavimentos do Residencial Maria Paula

PLANTA	PÉ DIREITO (m)
SUBSOLO	3,10
TÉRREO	4,00
1° ao 12° PAVIMENTO	3,00
13° PAVIMENTO	3,00

Fonte: (elaborado pelo autor, 2022)

3.3 - COMPOSIÇÃO DOS MATERIAIS

A composição dos materiais que compreendem o Residencial Maria Paula deve ser dividida entre a requalificação de 2001 até 2004 e a execução da edificação em 1956.

A composição dos materiais utilizados na requalificação do edifício em 2001 compreende a adequação da maior parte da caixilharia (portas e janelas) e a aplicação de novos sistemas de vedação que formam o *layout* das 75 unidades habitacionais proposta pelo escritório Fábrica Urbana, a saber:

1 – JANELAS

Todas as janelas foram substituídas por esquadrias metálicas/ferro, que receberam tratamento para antiferrugem de fábrica e pintura eletrostática com vidro liso de 3mm e perfis em aço fosfatizado com primer.

2 – PORTAS:

As portas antigas foram substituídas por portas constituídas por folha de abrir, lisa, compensada, miolo cheio, sarrafeada e batente e moldura executados em madeira.

3 – SISTEMAS DE VEDAÇÃO:

As vedações no novo *layout* de requalificação foram executadas em blocos cerâmicos nas dimensões de 9 x 19 x 19 cm, assentados com argamassa industrializada para esta finalidade com junta tipo amarração.

Nas paredes internas o revestimento foi realizado em pintura látex acrílico fosco sobre emboço desempenado para pintura, Chapisco no traço 1:3 e emboço desempenado e feltrado com argamassa industrializada, esp. 1 cm. Pintura látex acrílica branca.

4 - Em áreas molhadas como BANHEIRO E COZINHA o revestimento consiste em:

Piso: Cerâmica branca fosca 30 x 30cm, sobre camada de regularização de argamassa de cimento e areia.

Paredes: Faixa de 60 cm de azulejo branco fosco 15 x 15cm sobre a pia. No restante da parede, pintura látex acrílico fosco sobre emboço desempenado para pintura. Aplicado com argamassa colante e rejuntado. Chapisco no traço 1:3 e emboço de regularização com argamassa

industrializada, espaçamento de 1 cm (100% da parede) Pintura em 2 demãos, cor branco neve. Box do banheiro inteiramente revestido em azulejo branco fosco 15 x 15cm.

Teto: Gesso liso sobre laje e recomposições ou forro de gesso em placas de 60 x 60 cm quando necessário. Pintura látex sobre gesso liso, em 2 demãos na cor branco neve.

5 – IMPERMEABILIZAÇÕES:

As áreas descobertas, receberam aplicação de primer sobre laje regularizada, manta flexível de 3mm, proteção térmica e mecânica e acabamento do piso cimentado comum desempenado.

Nos boxes dos banheiros aplicação de impermeabilização semiflexível com revestimento de tinta betuminosa.

As caixas d'água receberam sobre o concreto armado, revestimento semiflexível em demão cruzadas de tinta betuminosa, e acabadas com argamassa de regularização impermeável, sem pinturas finais que possam contaminar a água armazenada.

As caixas d'água superiores existentes foram recuperadas tendo seu revestimento interno retirado e receberam revestimento semiflexível em demão cruzadas de tinta betuminosa, e acabadas com argamassa de regularização impermeável, sem pinturas finais que possam contaminar a água armazenada.

As características de materiais do imóvel de 1956 que permaneceram para a requalificação do edifício foram levadas em consideração dentro do cenário exposto na descrição da trajetória da incorporação, características como o tombamento do imóvel e o gerenciamento da viabilidade do empreendimento de acordo com programa habitacional no qual a requalificação foi enquadrada.

O imóvel apresentou nível NP3 (Nível de Preservação 3) de tombamento pelo Conselho Municipal de Preservação de São Paulo (CONPRESP), classificação que determina que o imóvel deve manter suas características externas. Dessa forma, foram mantidas as aberturas de envoltório além de recuperação das fachadas, assim como as estruturas existentes (vide Figuras 15 e 16).

Figura 15 – Foto da fachada frontal do residencial Maria Paula



Fonte: (elaborado pelo autor, 2022)

As configurações e as características existentes no edifício de 1956 sobre a vedação da fachada e o material de composição da estrutura do prédio se mantiveram. Na execução de vedação foram utilizados tijolos cerâmico maciços de 19 x 12 x 5 (cm) e o sistema estrutural do edifício foi concebido e executado em concreto armado compreendendo pilares, vigas e lajes.

Figura 16 - Foto da fachada frontal do residencial Maria Paula



Fonte: (elaborado pelo autor a partir de DOCOMOMO 2007, 2022)

4. METODOLOGIA

A revisão de literatura tem focado no estado da arte sobre o tema de análise de desempenho energético voltada para o setor de habitação popular assim como uma análise de desempenho em conforto térmico de alguns edifícios representativos contemporâneos ao residencial Maria Paula, edifícios esses que como o Maria Paula seguem com sua função até hoje e estão localizados na cidade de São Paulo. Esses dois fatores são essenciais para análise de consumo energético e configuração das temperaturas operativas das unidades habitacionais do residencial Maria Paula, um edifício construído na década de 50 do século passado e que foi reconfigurado no início dos anos 2000 com a mesma categoria de uso, o uso habitacional, porém direcionado para setores diferentes do tecido social da cidade de São Paulo.

Para poder alcançar os objetivos traçados nessa pesquisa será necessário elaborar o processo metodológico que dinamize e auxilie a compreensão do estudo proposto. Nesse sentido, foram estabelecidas 5 atividades dentro do processo metodológico:

1. Revisão de literatura vinculada às categorias que o edifício Maria Paula se enquadra que são estudos termoenergéticos de edificações tombadas na cidade de São Paulo, metodologias de calibração de consumo energético de edifícios e o desempenho energético da produção de habitação popular no Brasil;

2. Levantamento de peças técnicas, como projeto executivo e memorial descritivo, do edifício Residencial Maria Paula que foram analisados e outorgados pelos Governos Federais e Municipais;

3. Desenvolvimento do modelo das tipologias habitacionais no *software OpenStudio/EnergyPlus* e instrumentação de simulações energéticas a partir das configurações de dados de entrada da NBR 155575-1/2021 e LabEEE para a configuração do cenário base;

4. Análise dos dados de saída do cenário base em comparação com amostra de consumo de energia elétrica em kWh segundo PPH/2019 e análise de conforto térmico das unidades habitacionais nas simulações, através da seguinte ordem:

- Consumo de energia elétrica e análise de conforto térmico do cenário base segundo as especificações da NBR 155575-1/2021;

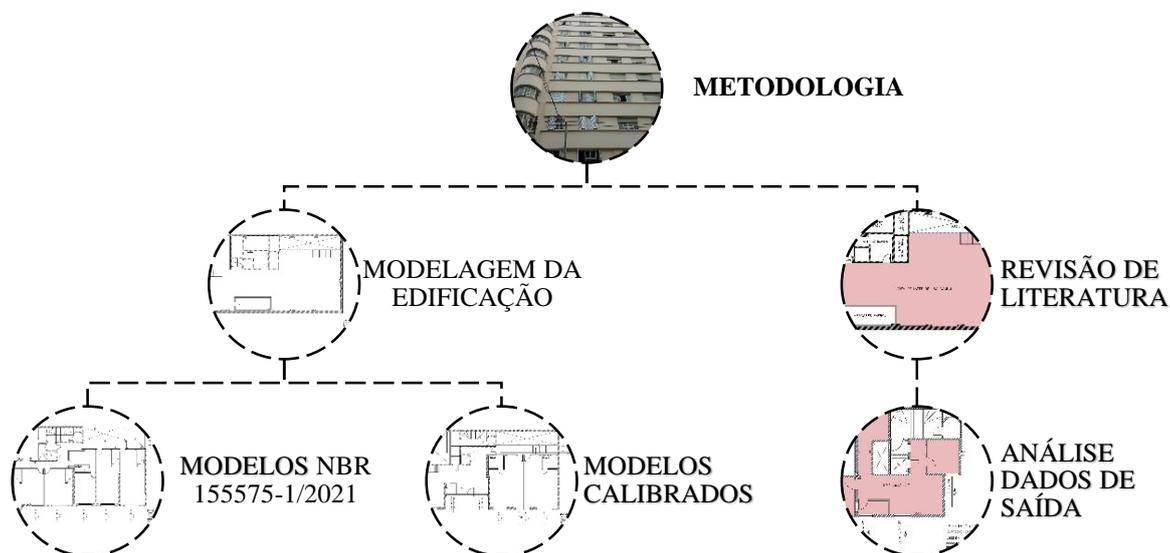
- Calibração do cenário base através de análise de sensibilidade de dados de entrada das simulações orientadas pelo parâmetro de dado de consumo de energia elétrica do PPH2019 para classe social C1;

- Análise de conforto térmico através de Temperaturas Operativas determinado pelo modelo adaptativo segundo a norma ASHRAE 55/2017 em simulações energéticas em regimes

com ambientes fechados e em ventilação natural;

5. Comparação dos dados obtidos nas simulações com dados obtidos na revisão de literatura;

Figura 17 - Gráfico da Metodologia de Pesquisa



Fonte: (elaborado pelo autor, 2022)

No gráfico acima é possível ver que o trabalho está dividido em dois pontos principais que consistem em caracterizar os dados de entrada das simulações energéticas e análise dos dados de saída das simulações com relação as referências, além de uma base de dados composta por outros trabalhos que analisam edificações destinados ao mercado popular através de programas institucionalizados por políticas públicas e edificações contemporâneas ao Edifício Maria Paula.

Apesar do generoso subsídio previsto no Programa Minha Casa Minha Vida, ele não foi desenhado para possibilitar a reabilitação de edifícios ociosos em áreas consolidadas, o que tem impedido ou dificultado o desenvolvimento de projetos desse tipo. Esse fato mostra como ações habitacionais continuam desarticuladas de políticas urbanas, pois a produção de moradias populares em locais próximos ao emprego é uma necessidade fundamental para melhorar as condições e o custo de mobilidade. Bonduki (2012 p.: 17)

A principal etapa desse trabalho consiste no desenvolvimento do modelo da edificação para simulação energética e a obtenção de dados de caracterização energética. A maneira como o modelo será desenvolvido é essencial na produção de dados para caracterização termo energética do edifício Maria Paula. Um fator relevante a ser considerado na análise das simulações é o tombamento da fachada da edificação. Essa condição não permite que haja

alteração no design e composição da fachada da edificação, limitando a possibilidade de mitigações caso os dados de saída da simulação apontem nessa direção.

A análise energética da produção da construção civil para o setor de habitação popular é uma discussão relevante que tem sido abordada em pesquisas acadêmicas. Um estudo que contribui para essa discussão é intitulado "Caracterização de performance energética de projetos de tipologias de habitação popular no Brasil", realizado por Lamberts et al. (2015). O objetivo desse trabalho foi entender as características de desempenho energético da produção de habitação social no Brasil, promovida pelo governo federal através do PMCMV até 2015.

Para atingir esse objetivo, os autores utilizaram o *software EnergyPlus* para realizar simulações energéticas em algumas tipologias de projetos de edificações residenciais financiadas pelo programa MCMV. A partir dessas simulações, eles desenvolveram o modelo real e o modelo ideal, levando em consideração os parâmetros determinados na INI-R/2012 na época. Esse método de análise é importante para definir e caracterizar o desempenho energético da produção de habitação dentro dos programas de políticas públicas (LAMBERTS et al. 2015).

4.1 ESTRUTURA METODOLÓGICA DE ANÁLISE TERMOENERGÉTICA – CONFIGURAÇÃO DO MODELO BASE SEGUNDO A NBR-15575-1/2021

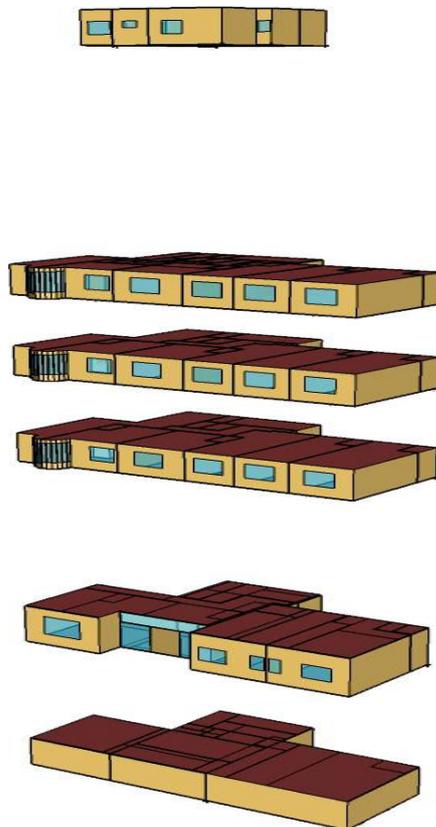
A estrutura metodológica da análise termo energética do Edifício Maria Paula consistiu em analisar os dados de saída de simulação levando em conta duas condicionantes envolvendo consumo e hábitos, a padronização de um consumo de energia elétrica mensal para as unidades habitacionais e a medição interna das temperaturas operativas de seus ambientes de permanência prolongada. A estrutura de análise foi feita com base na caracterização de um modelo base através das instruções da NBR 15575-1/2021, e na padronização de um consumo de energia elétrica através calibração do modelo base a partir dos dados de consumo de energia elétrica e distribuição de cargas do uso final de consumo fornecidos pelo PPH/2019. As análises das temperaturas operativas dos ambientes das unidades habitacionais serão consideradas nas condições de ventilação natural e sem ventilação. O desenvolvimento do modelo foi feito a partir do projeto legal da reforma do empreendimento, com o objetivo de obter uma base de dados mensurável que permita caracterizar padrões de consumo de energia elétrica e determinar a temperatura operativa dos ambientes de permanência prolongada das unidades habitacionais da edificação para avaliar as condições de conforto térmico dos usuários.

Esse capítulo visa apresentar o processo de realização das simulações energéticas das unidades habitacionais de todo o edifício, Trocar por: As simulações energéticas permitiram avaliar o impacto de cada uso final no desempenho energético da edificação analisada.

A ASHRAE Guideline 14 (ASHRAE,2002) estabelece o procedimento de calibração para simulação energética de edifícios consolidados e guiou a análise de consumo energético do modelo desenvolvido para representar o Edifício Maria Paula. Com base nos critérios da ASHRAE Guideline 14, foi realizada uma calibração do modelo proposto com os dados avaliados pelo PPH 2019, de forma a desenvolver modelo com maior aderência possível ao perfil de consumo energético de edificações residenciais no Brasil com as características de ocupação do Edifício Maria Paula.

Para o cenário base para as simulações aqui realizadas, foram utilizadas as diretrizes apresentadas na norma NBR 15575(colocar referência). A escolha destas diretrizes baseou-se no amplo uso desta norma para a análise de desempenho de edificações onde pode-se definir com clareza os perfis de ocupação e uso de equipamentos e iluminação no setor residencial.

Figura 18 - Perspectiva do modelo 3D do edifício residencial Maria Paula executado no OpenStudio com suas zonas térmicas configuradas



Fonte: (elaborado pelo autor, 2022)

O modelo computacional da edificação foi desenvolvido no *software OpenStudio* e *EnergyPlus*. O *OpenStudio* é um *plugin* (módulo de extensão) do *software SketchUP* e tem como base de operação o *software EnergyPlus*. Com esse processo é possível representar o modelo físico da edificação em um modelo 3D onde as áreas da edificação são identificadas como zonas térmicas e assim é possível realizar a simulação energética dos ambientes; o modelo 3D é apresentado na Figura 18.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO BASE SEGUNDO A NBR 15575-1/2021

O cenário base da edificação segue a padronização estipulada pela NBR 15575-1/2021 onde a norma estipula que:

O procedimento de simulação computacional requer a modelagem de toda a UH, incluindo ambientes de permanência prolongada (APP) e ambientes de permanência transitória (APT). Quando avaliadas unidades habitacionais de edificações multifamiliares, devem ser considerados o pavimento térreo, o(s) pavimento(s) tipo e o pavimento de cobertura. Todas as UH destes pavimentos devem ser consideradas...; NBR 15575/2021 (2021 p.: 24)

Figura 19 - Modelo de exemplo da delimitação dos pavimentos a serem representados no modelo computacional segundo NBR 15575-1/2021

Corte esquemático da edificação		Número de pavimentos a serem representados na modelagem computacional
Uso residencial	Pavimento de cobertura	Modelagem de todas as UH
Uso residencial	Agrupamento de pavimentos idênticos*: Pavimento tipo 5	Modelagem de todas as UH
Uso residencial		
Uso residencial	Pavimento tipo 4 (cobertura parcialmente exposta)	Modelagem de todas as UH
Uso residencial	Pavimento tipo 3	Modelagem de todas as UH
Uso não residencial	Pavimento tipo 2	Representação como APT
Uso residencial	Agrupamento de pavimentos idênticos*: Pavimento tipo 1	Modelagem de todas as UH
Uso residencial		
Uso não residencial	Pavimento térreo	Representação como APT

Superfície do solo

*Idênticos quanto à geometria e características construtivas

Fonte: (NBR 15575/2021, pag. 25, 2021)

A NBR 15575/2021 também determina que os pavimentos com características semelhantes podem ser modelados uma única vez, pavimentos de cobertura que tem maior área de exposição devem ser representados no processo de modelagem como um todo dentro da

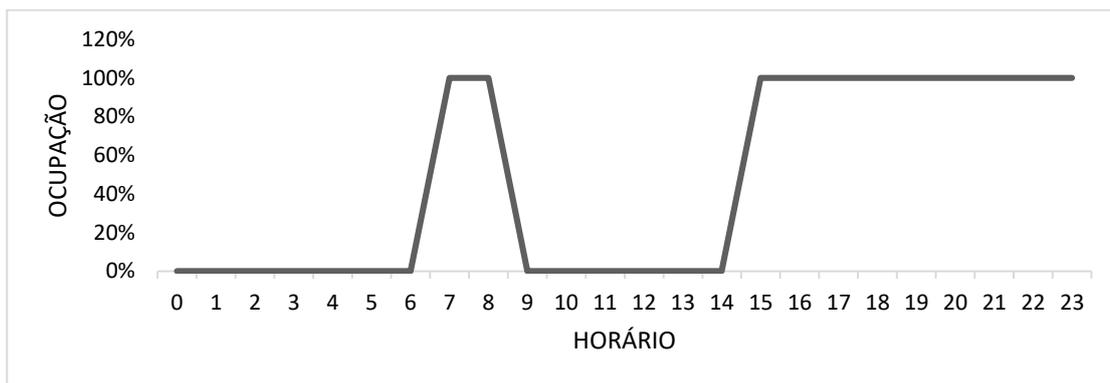
representação assim como o subsolo (vide Figura 19). Na figura 18 é possível ver a caracterização do modelo 3D com a modelagem do subsolo, térreo, pavimento tipo e cobertura que foram desenvolvidos e configurados conforme a determinação da norma.

Outro dado que é possível analisar através da simulação é a caracterização das temperaturas operativas anuais mínimas dos APPs considerando apenas os períodos de ocupação. A análise de temperatura operativa mínima dos APPs é uma condição da simulação energética de edifícios segundo a NBR15575-1/2021 uma vez que o Maria Paula está inserido na Zona Bioclimática 3.

Dentro da caracterização de assinatura energética a NBR15575 determina que a simulação deve ser capaz de estimar a variação de temperatura operativa, determinar as cargas térmicas de refrigeração e aquecimento e simular as características de uso da ventilação natural das UHs em ensaios de períodos de 8.760h correspondente a um ano.

Na metodologia do trabalho as simulações foram feitas com pré-dimensionamentos estipulados pela norma. Como o diagnóstico determinado por um período de 8.760h, simulações em condições de ambientes com as aberturas fechadas e ventilação natural e adotando o padrão de ocupação diária de uso misto. A NBR15575/2021 determina que quando as APPs apresentam a mesma função de sala e quarto deverá ser considerado o padrão de ocupação de uso misto, a figura 20 apresenta o padrão de ocupação diário para sala, quarto e uso misto.

Figura 20 - Padrões de ocupação diária das APPs em uso misto



Fonte: (elaborado pelo autor a partir de NBR 15575/2021, pag. 31, 2022)

A NBR também estipula que a simulação deve levar em consideração além dos horários de ocupação, a agenda de potência de iluminação conforme a figura 21 e potência de equipamentos identificado na figura 21.

Figura 21 - Padrões de uso do sistema de iluminação artificial dos APPs



Fonte: (elaborado pelo autor a partir de NBR 15575/2021, pag. 32-33, 2022)

Tabela 6 - Período de uso, densidade de cargas internas e fração radiante para equipamentos dos APPs

AMBIENTE	Período de uso	Potência W	Fração radiante
SALA	14:00 – 21:59	120	0,30
USO MISTO	14:00 – 21:59	120	0,30

Fonte: (elaborado pelo autor a partir de NBR 15575/2021, pag. 33, 2022)

Outro fator relevante para rodar a simulação é a determinações de potência de iluminação, que nos modelos de caracterização da NBR15575/2021 determina o valor **5,0W/m²**.

Outro processo na configuração da simulação é a determinação das características dos materiais empregados na construção da edificação. Como a espessura dos materiais e acabamentos, condutividade térmica, densidade, calor específico e resistência térmica.

Para poder configurar essas características foram utilizadas as referências de materiais descritas na biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulações no visualdoe-3.1 desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (Lamberts et al. 2013), as características dos materiais estão descritas na tabela 07.

Tabela 7 - Propriedades dos materiais na composição da construção das unidades habitacionais

Nome do material	Espessura	Condutividade	Densidade	Calor	Resistência
	equivalente (cm)	térmica (W/mK)	equivalente (kg/m ³)	específico (kJ/kg K)	térmica (m ² K/W)
Argamassa de Emboço (2,5 cm)	2,5	1,15	2000	1,00	0,022
Ceram Tij 6 fur quad (9 cm)	1,4	0,90	2290	0,92	0,016
Tijolo Maciço (10 cm)	9,6	0,90	1764	0,92	0,106
Concreto maciço (10 cm)	10,0	1,75	2400	1,00	0,057
Laje mista (12 cm) *	9,5	1,05	1087	0,92	0,090
Piso cerâmico (10 mm)	1,0	0,90	1600	0,92	0,011

Fonte: (elaborado pelo autor a partir de Lamberts et al. 2003, pag. 12-14, 2022)

Com o modelo 3D desenvolvido e as configurações de padrão de ocupação e iluminação e as outras características descritas. O próximo passo para configuração da simulação do cenário base é determinar qual o arquivo climático será utilizado.

Com relação ao arquivo climático a NBR 15575-1/2021 determina que o arquivo deve fornecer valores mensais de temperatura média do solo onde a edificação está implantada em graus Celsius em todos os meses do ano.

O arquivo climático também deve referenciar o valor meteorológico representativo das 8.760 horas do ano dos seguintes parâmetros:

- Temperatura de bulbo seco;
- Temperatura de ponto de orvalho;
- Umidade relativa, expressa em porcentagem;
- Pressão atmosférica, medida em Pascal;
- Intensidade de radiação horizontal de onda longa, expressa em Watt-hora;
- Radiação horizontal global, expressa em Watt-hora;
- Radiação normal direta, expressa em Watt-hora;
- Radiação horizontal difusa, expressa em Watt-hora;
- Direção do vento, expressa em graus;
- Velocidade do vento, medida em metros por segundo.

Para a realizar as simulações foram utilizados como dados de entrada do modelo os padrões de ocupação determinados pela NBR15575/2021, os dados sobre materiais e o arquivo climático (Sao_Paulo_TRY_LABBEE.epw) com dados climáticos do ano de 2006, fornecidos pela LabEEE. Como ferramenta de análise foram utilizados os dados de saída de consumo de

energia de cada tipologia de unidade habitacional do Maria Paula e a temperatura operativa dos APPs das unidades habitacionais simuladas.

Os dados de saída da primeira simulação configuram o regime de desempenho energético do cenário base, o ponto de partida para a configuração da assinatura energética do edifício considerando um padrão de consumo energético específico.

4.3 CALIBRAÇÃO DO MODELO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

O processo de calibração de simulação do consumo de energia elétrica de uma edificação é feito por conta da necessidade de adequação do padrão de consumo energético da simulação da edificação à um parâmetro determinado de consumo energético. Por conta da dificuldade de se conseguir todos os parâmetros de dados de entrada em uma simulação energética, algumas simplificações devem ser atendidas em ordem de se conseguir atingir uma simulação energética mais próxima do padrão de consumo estipulado (P. PAULO, 2018).

No processo de calibração é essencial ter acesso aos dados de consumo de energia elétrica da edificação analisada, em alguns casos, a coleta de dados de consumo energético em loco não é disponibilizada. Por conta dessa condição, a pesquisa adotou os dados fornecidos pelo PPH/2019 para uma análise de consumo de energia elétrica baseada num padrão médio real como uma alternativa de comparação e parametrização. A amostra de dados de consumo do PPH/2019 é baseada na análise de coleta de 18.775 dados de consumo de energia elétrica de residências localizadas na região Sudeste divididas por classe de renda (PPH/2019), região onde o Maria Paula está inserido, esses dados de consumo energético ajudam a configurar um quadro de consumo energético do setor residencial próximo da realidade utilizando métodos estático para estabelecer um padrão de consumo de energia no setor residencial no Brasil. Assim, os dados de consumo de energia elétrica e distribuição de carga por uso final de energia do PPH/2019 podem ser utilizados como parâmetros de calibração de modelos de consumo de energia elétrica em eventual falta da medição de consumo de energia elétrica das unidades habitacionais que se pretende analisar.

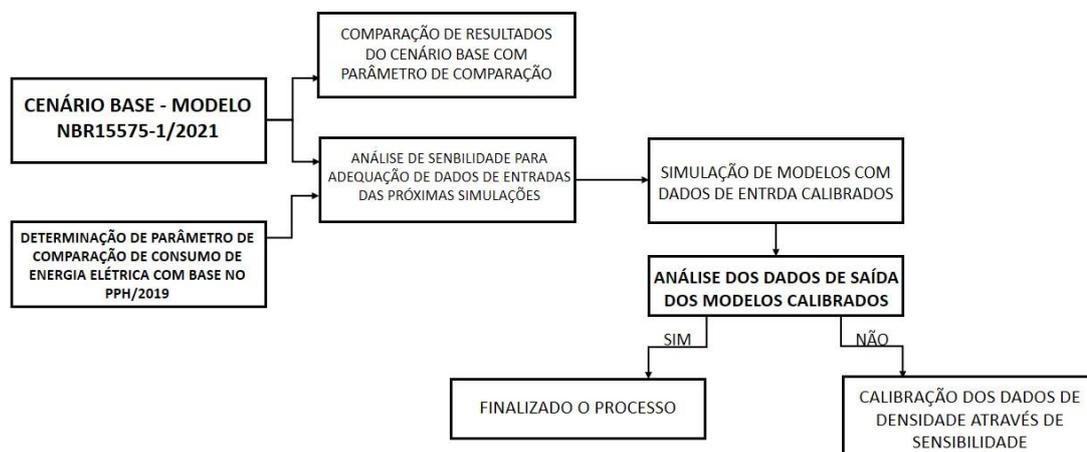
A metodologia de calibração de consumo de energia elétrica do Maria Paula consiste no desenvolvimento de um cenário base determinado pela NBR15575-1/2021, comparação de dados de consumo de energia elétrica das unidades habitacionais em relação ao parâmetro de consumo de energia elétrica mensal determinado pelo PPH/2019 e análise de sensibilidade dos dados de entrada da simulação a partir da distribuição do percentual de consumo de carga determinado também pelo PPH/2019. A análise de sensibilidade foi necessária uma vez que o

padrão de consumo de energia elétrica das tipologias das unidades habitacionais do cenário base não atendeu os níveis de confiabilidade do parâmetro do PPH/2019.

O desenvolvimento da calibração então teve como cenário base a orientação do desenvolvimento do modelo a partir da NBR15575-1/2021, parâmetro de comparação para consumo de energia determinado pela análise de variância dos dados de consumo de energia elétrica mensal durante um ano determinado pelo PPH/2019 e análise de sensibilidade da simulação através dos dados de percentual de consumo de carga fornecidos pelo PPH/2019.

A figura 22 faz uma síntese da metodologia de calibração. O fluxograma mostra a ordem de operação do processo de calibração começando pelo cenário base e comparação com parâmetro de consumo de energia elétrica determinado pelo PPH/2019. O fluxograma também aponta para a análise de sensibilidade utilizada para adequação da simulação ao parâmetro de consumo energético determinado, que no caso do processo de calibração teve como base os parâmetros de densidade de iluminação e equipamentos como dados de entrada da simulação que foram processados na calibração de consumo de energia elétrica das unidades habitacionais do Maria Paula.

Figura 22 - Processo de desenvolvimento e análise de dados da metodologia proposta do trabalho.



Fonte: (elaborado pelo autor 2022)

A análise de sensibilidade da calibração foi realizada até chegar em um dado de saída que correspondesse ao consumo de energia elétrica que atendesse os níveis de confiabilidade e ESM de todas as tipologias das unidades habitacionais do Maria Paula tendo como referência

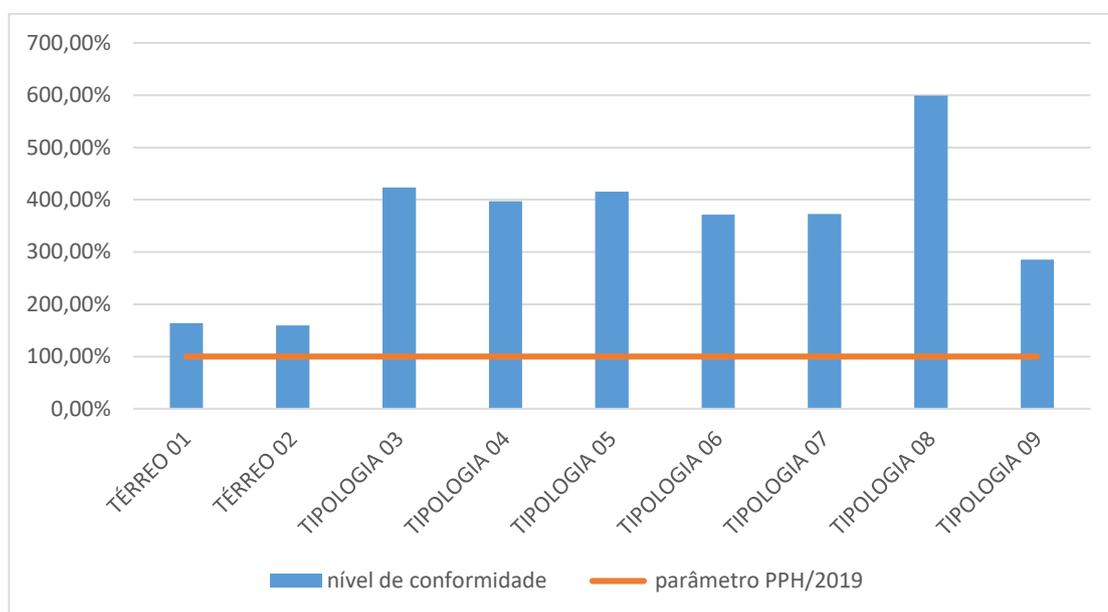
o parâmetro de consumo de energia elétrica do PPH/2019 determinado através de análise de variância.

O mecanismo de comparação é feito entre as medições da média anual de energia em kWh de cada tipologia habitacional do Maria Paula a partir do cenário base com caracterização da NBR15575-1/2021, e o dado escolhido através de análise de variância da média de consumo mensal da Classe C1 do PPH/2019.

O PPH/2019 segmenta os dados de consumo de energia elétrica do setor residencial brasileiro a partir da definição de classe econômica social. Com identificação pelas letras A, B1, B2, C1, C2 e D-E (PPH/2019). Para o caso da calibração foram adotados os dados de consumo de energia elétrica para a classe C1. A classe C1 se encaixa no perfil de análise dos modelos pois representa a maioria da faixa de renda dos moradores do Maria Paula, conforme a figura 5.

Os resultados dos dados de saída para consumo de energia elétrica das tipologias habitacionais do Maria Paula do cenário base estão relacionados no Gráfico 01; no qual é possível notar que os dados de saída da simulação do cenário base referente aos valores finais de consumo de energia elétrica das tipologias das unidades habitacionais apresentaram valores maiores com relação ao parâmetro de consumo de energia elétrica desejado, se comparado ao valor em kWh de consumo de energia elétrica referente ao mês de setembro divulgado pelo PPH/2019. Esse dado de consumo mensal de energia elétrica do PPH2019 é uma média estatística do campo amostral de contas de energia elétrica determinadas por classe social que o PPH/2019 divulga em seu relatório.

Gráfico 1 - Relação entre a média anual de consumo de energia elétrica por tipologia habitacional do cenário base e o parâmetro mensal de consumo de energia elétrica do PPH / 2019



Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

A simulação energética abrange uma vasta gama de variáveis para avaliar o desempenho de uma construção. Portanto, é crucial identificar quais dados de entrada serão selecionados como parâmetros para a calibração. Na pesquisa em questão, a análise dos dados de entrada concentrou-se na caracterização dos parâmetros de densidade de equipamentos e iluminação. Essa escolha foi motivada pela disponibilidade de dados públicos utilizados, bem como pela distribuição da carga de consumo final fornecida pelo PPH/2019.

Com os dados do PPH/2019 é possível estabelecer uma relação entre os dados de entrada da simulação que representa o cenário base com esses dois grupos de dados divulgados pelo PPH2019 e assim determinar os dados de entrada da simulação que terão de ser alterados no processo de calibração da simulação energética do edifício. O Gráfico 02 mostra que 11% do consumo final de energia elétrica da Classe C1 na região Sudeste é destinado a iluminação.

Com os dados da média de consumo anual de energia elétrica das tipologias habitacionais da simulação do cenário base, a análise de variância das médias mensais de consumo de energia elétrica obtidas durante o período de um ano disponíveis no PPH/2019 e a disposição de distribuição de carga por uso final da Classe C1, também disponível no PPH/2019. Foi possível determinar a correlação entre os dados de saída e entrada da simulação do cenário base com os dados processados do PPH/2019, sendo possível obter os parâmetros de densidade de iluminação e equipamentos que foram utilizados nas simulações dos modelos

calibrados. A Tabela 08 mostra os dados de entrada de densidade de iluminação e equipamento para os modelos com configuração da NBR15575-1/2021 e para os modelos calibrados.

Tabela 8 - Parâmetros de dados de entrada dos modelos de simulação para iluminação e equipamentos

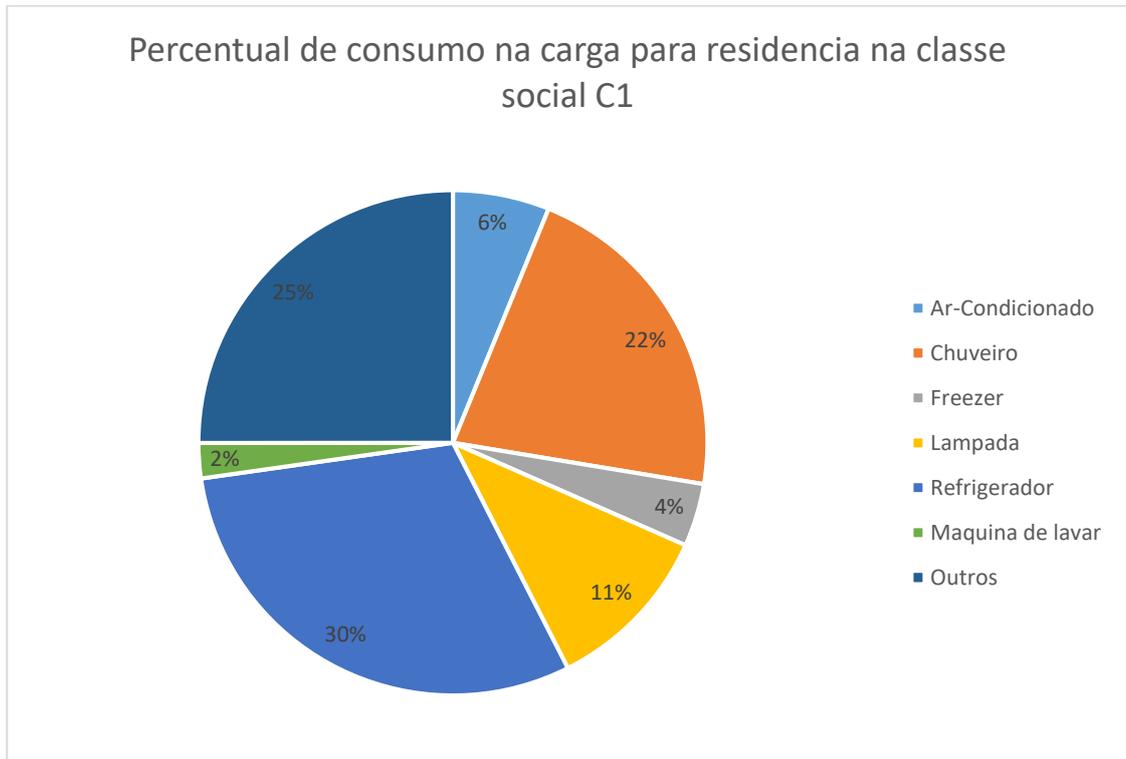
PARÂMETROS	ILUMINAÇÃO (W/m ²)	EQUIPAMENTOS (W)
NBR15575-1/2021	5	120
CALIBRAÇÃO PPH/2019	0,54	37,94

Fonte: (elaborado pelo autor 2023)

Um fato considerável nas simulações do cenário base é que o modelo não determina as cargas energéticas para aquecimento de água, em particular a carga de energia elétrica voltada para aquecimento de água. Já o relatório do PPH/2019 discrimina que 85,12% das habitações entrevistadas dentro da Classe C1/RSE utilizam energia elétrica para aquecimento de água (PPH/2019).

Nesse sentido é importante adequar esse cenário aos dados de entrada das simulações calibrados. Para o consumo médio de carga de energia elétrica da Classe C1 o PPH/2019 estipula que cerca de 21,68% do consumo final é voltado para o uso de chuveiro elétrico, assim a calibração dos modelos utilizando os dados do PPH/2019 deve manter essa relação de consumo final dos equipamentos, o que reflete com a realidade do Maria Paula onde o aquecimento de água de banho é feito por meio de energia elétrica. O gráfico 02 mostra a distribuição de consumo de carga dos principais equipamentos elétricos na classe social C1; assim a parametrização dos dados de entrada de iluminação e equipamento dos modelos de calibração deve obedecer a essa ordem de distribuição onde o consumo de iluminação corresponde à **11%** do total de energia elétrica consumida na Classe C1/SER e o restante é corresponde a equipamentos (PPH/2019, 2019).

Gráfico 2 - Percentual de Consumo de carga para o setor residencial da classe social C1 – PPH/2019



Fonte:(elaborado pelo autor a partir de PPH/2019, 2022)

A calibração de consumo energético do modelo simulado por meio da densidade de iluminação e equipamentos foi desenvolvida a partir de um padrão de consumo médio de energia elétrica, medidos em kWh. A ASHRAE determina que para a determinação de parâmetro de calibração é necessário que se tenha no mínimo 12 amostras de padrão para que a parametrização seja efetiva (ASHRAE, 2002).

A tabela 9 mostra os dados do PPH/2019 para consumo de energia elétrica mensal para a Classe C1/RSE durante o período de janeiro de 2019 até dezembro de 2019, 12 amostras de consumo de energia elétrica. Como resultado temos que o consumo médio foi de **140,50 kWh**, que é a média de aplicação na análise de variância para a escolha do parâmetro de consumo de energia elétrica mensal que deve ser alcançado nas simulações das tipologias das unidades habitacionais do Maria Paula.

Tabela 9 - Média do Consumo Mensal de Energia Elétrica do Domicílio, em kWh, consultado diretamente na conta de energia elétrica apresentada pelo morador do domicílio, identificado como a classe econômica C1 – REGIÃO SUDESTE

Mês	Consumo/kWh	Desvio padrão %
Jan	139,33	58,77
Fev	136,36	54,12
Mar	139,77	55,62
Abr	142,85	58,05
Mai	141,78	59,16
Jun	139,68	56,22
Jul	142,00	54,23
Ago	142,00	52,19
Set	141,85	53,15
Out	141,00	54,68
Nov	140,97	55,06
Dez	138,35	52,73
Média anual	140,50	55,33

Fonte: (elaborado pelo autor a partir de PPH/2019, pag. 36-35, 2022)

A análise de variância é um processo estático para estabelecer qual dado do campo amostral está mais próximo da média, como os dados públicos já são uma média de dados compilados pelo PPH/2019 na região sudeste, a análise de variância foi realizada para poder utilizar o dado da amostra mais adequado no processo de calibração.

A seguir será apresentado o resultado da análise de variância a partir dos dados de consumo energético do PPH/2019 para mensuração dos dados de entrada para densidade de iluminação e equipamentos nos modelos destinados para a calibração.

A análise de variância teve como resultado **S** o valor **1,77**. Numa análise comparativa entre aos dados obtidos na **equação 1** e o resultado **S** foi possível observar que o valor mais próximo do resultado **S** é o valor **1,82**, que nessa pesquisa é atribuído ao consumo de energia referente ao mês de setembro discriminado na tabela 9. O valor referente ao mês de setembro apresentou uma diferença de **0,05** com relação ao valor **S**. Quanto mais próximo do valor **S** estiver o resultado da equação 1, maior é a validação do dado do campo amostral com parâmetro de comparação de consumo de energia elétrica mensal que deve ser alcançado nas simulações termo energéticas.

$$(M - V_m)^2 \quad (1)$$

Na tabela 10 foram destacados em amarelo os resultados da equação de variação e o valor mensal de consumo adotados no modelo calibrado para estabelecer os dados de entrada de densidade de iluminação e equipamentos.

Para estabelecer a análise de variância foi utilizada a **equação 2**, apresentada abaixo.

$$S^2 = \frac{\Sigma(Vm - M)^2}{n} \quad (2)$$

S² = Variância;

Vm = Valor Mensal de consumo de energia em kWh;

M = Média aritmética da amostra;

n = Número de dados da amostra.

Fonte: (elaborado pelo autor 2023)

Tabela 10 - Dados de análise de variância para calibração de modelos

Indicador	Consumo (kWh)	Relação (M – Vm)²
Jan - Vm	139,33	1,37
Fev - Vm	136,36	17,14
Mar - Vm	139,77	0,53
Abr – Vm	142,85	1,64
Mai – Vm	141,78	1,64
Jun – Vm	139,68	0,67
Jul – Vm	142	2,25
Ago – Vm	142	2,25
Set – Vm	141,85	1,82
Out – Vm	141	0,25
Nov – Vm	140,97	0,22
Dez - Vm	138,35	4,62
Média - M	140,5	
Variância - S		1,77

Fonte: (elaborado pelo autor 2023)

Por se tratar de um método simplificado, a simulação necessita de indicadores de aceitabilidade. No caso das simulações calibradas os indicadores para validação do processo restringem o nível de variação entre a comparação do dado selecionado como parâmetro de consumo de energia e os resultados dos dados de saída das simulações para consumo de energia mensal. Os resultados de consumo energético das simulações devem variar em percentual para mais ou para menos observando o dado de consumo energético determinado pela análise de variância, no caso dessa pesquisa o valor de referência é 141,85kWh atribuído ao mês de setembro determinado pelo PPH/2019.

Os indicadores de validação determinam o intervalo de valores que os dados de saída da calibração devem operar com relação ao parâmetro de consumo de energia selecionado para auferir a validação ou não do processo de calibração das simulações energéticas.

Os indicadores adotados nessa pesquisa foram os utilizados na pesquisa de P. Paulo (2018) que aponta que a validação de um modelo calibrado deve atender os indicadores determinados por normas como ASHRARE, USDOE e EVO para Erro Sistemático Médio (ESM) (P. PAULO, 2018). Além do ESM a pesquisa também adotou o índice de nível de conformidade como método comparativo representado através de gráficos com os resultados de consumo de energia elétrica de todas as simulações realizadas por essa pesquisa.

O nível de conformidade é a relação da divisão da média mensal do consumo de energia elétrica de cada tipologia das unidades habitacionais do Maria Paula pelo parâmetro de consumo de energia elétrica mensal determinado pela análise de variância dos dados fornecidos pelo PPH/2019. Quanto mais próximo de 100% essa relação de dados maior será o grau de validação do processo de calibração.

Já o ESM é o índice definido pela relação entre a subtração do parâmetro de referência de consumo de energia e os valores de consumo de energia obtidos nas simulações. Essa operação de subtração é dividida pelo parâmetro de referência e seu resultado é o índice de ESM. O ESM aceitável como validação da calibração deve operar entre um intervalo \pm em percentual.

Segundo a ASHRAE o ESM é uma medida de proximidade entre as simulações de modelos de energia e o parâmetro determinado medidos em regimes mensais ou anuais, a tabela 11 mostra os índices de tolerância para a calibração de simulação energética segundo as normas ASHRAE, EVO e USDOE.

Tabela 11 - Nível de erro médio admitido entre os dados de simulação e os dados medidos do consumo de energia da unidade habitacional

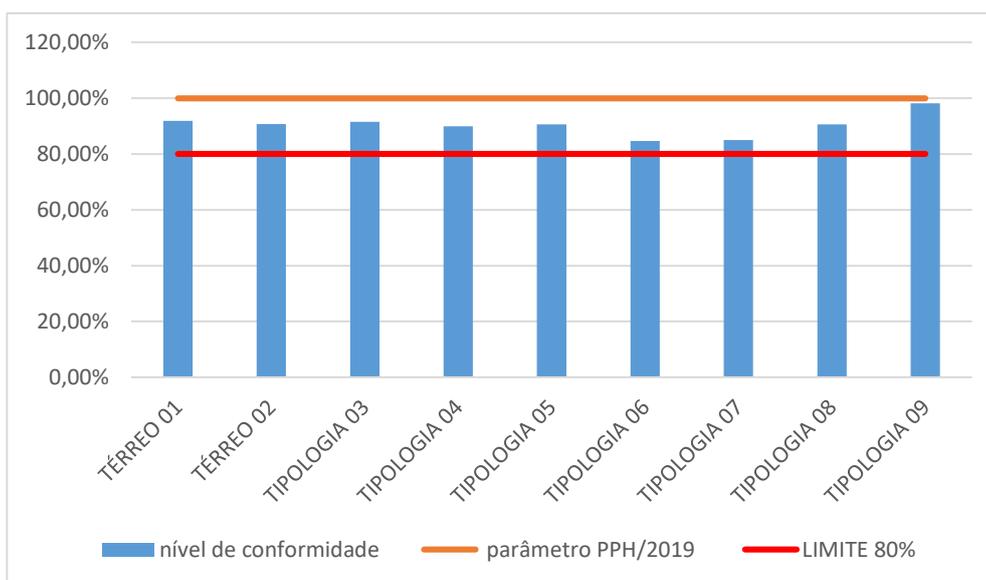
	MENSAL	HORÁRIO
NORMA	ESM(%)	ESM(%)
ASHRAE	± 5	± 10
EVO	± 20	± 5
USDOE	± 5	± 10

Fonte: (elaborado pelo autor a partir de PAULO. P, pag. 28, 2023)

No processo de análise de dados de saída dos modelos calibrados a pesquisa adotou o parâmetro mensal de ESM da EVO de **$\pm 20\%$** como indicador de erro médio aceitável. A referência é o valor de consumo de energia da média mensal do mês de setembro de 2019 **141,85kWh** apontado pelo PPH/2019 para a Classe C1 da Região Sudeste. Dentro do processo de calibração os índices de tolerância das simulações atenderam o ESM da EVO na análise de sensibilidade sem a necessidade de ajustes finais das simulações calibradas e, por conta dessa

condição a pesquisa adotou o índice da EVO como indicador de validação do processo de calibração. Para que o processo de calibração seja validado, os valores previstos para média mensal do consumo de energia elétrica anual das unidades habitacionais dos modelos calibrados devem apresentar valores dentro de um intervalo entre **113,48kWh** e **170,22kWh** para operar dentro do parâmetro de ESM de **±20%**.

Gráfico 3 - Comparação entre os modelos calibrados e PPH/2019



Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

O gráfico 03 apresenta níveis de conformidade na ordem de **85%** a **98%** entre os dados de saída de consumo de energia elétrica do modelo calibrado em comparação ao parâmetro de consumo de energia elétrica do PPH/2019. O gráfico 03 mostra que as operações de calibração das simulações no processo metodológico estão dentro da faixa de aceitação e também atendem o índice de ESM de $\pm 20\%$ da EVO.

4.4 CONFIGURAÇÃO DOS MODELOS

O desenvolvimento dos modelos obedece a uma ordem específica que seguem os processos determinados na metodologia onde a primeira simulação tem de atender os requisitos da NBR15575-1/2021 configurando o cenário base. Todas as simulações devem obedecer ao período de análise **8.760h**, que é número de horas correspondente à um ano. O primeiro modelo e seus dados de saída são o ponto de partida da pesquisa, pois a NBR15575/2021 determina a configuração do modelo voltado à representação da realidade, porém essas características do

primeiro modelo podem não atender aos critérios específicos de uma assinatura energética em particular; como é caso desse trabalho.

O processo de caracterização dos outros modelos foi estabelecido em sequência, uma vez que os resultados dos dados de saída de consumo de energia elétrica do primeiro modelo como cenário base estavam fora do padrão estabelecido. A calibração baseada no consumo de energia elétrica vem seguida da operação do cenário base. As simulações calibradas seguem obedecendo a necessidade de ajustes de seus dados de entrada para atender o parâmetro de consumo mensal de energia elétrica de **141,85kWh**.

Para além da calibração de consumo de energia elétrica os modelos também foram desenvolvidos pensando uma agenda de operação que considere os ambientes das tipologias habitacionais fechados ou em condição de ventilação natural com 5 renovações de ar por hora dos ambientes.

Assim os modelos desenvolvidos são determinados na condição de Cenário Base - M.CB e calibração - M.C e seguem a seguinte caracterização:

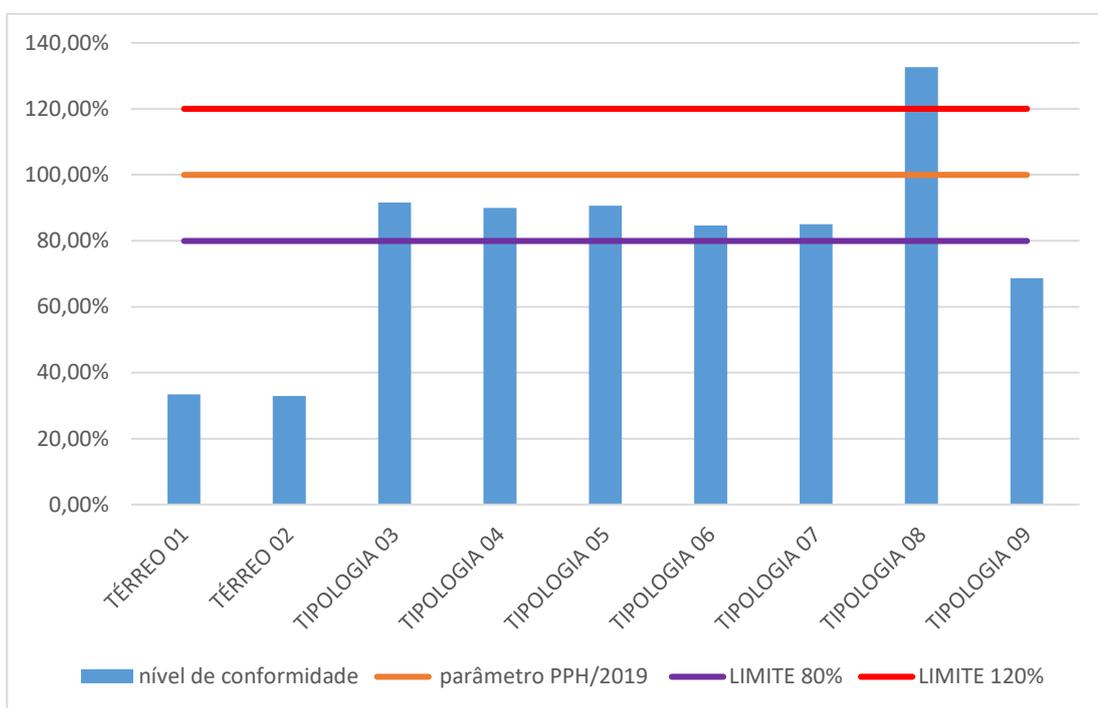
Tabela 12 - Modelos desenvolvidos para a pesquisa e condições de simulações

MODELO	NBR 15575-1	CALIBRAÇÃO PPH/2019	AMBIENTES FECHADOS	VENTILAÇÃO NATURAL
M.CB-01	X		X	
M.CB-02	X			X
M.C-01		X	X	
M.C-02		X		X
M.C-03		X	X	
M.C-04		X	X	
M.C-05		X	X	

Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

A análise de dados de saída do modelo M.C-01 apresentou índices aceitáveis no processo de calibração da simulação para algumas das tipologias das unidades habitacionais do Maria Paula, porém houve algumas tipologias que apresentaram nível de conformidade abaixo e acima da variação entre **80%** e **120%** adotado pelo trabalho. O gráfico 04 mostra a relação entre os dados de saída para consumo da média mensal de energia elétrica das tipologias habitacionais do modelo M.C-01 calibrado e o dado de referência para consumo mensal de energia elétrica do PPH/2019.

Gráfico 4 - Relação entre a média anual de consumo de energia elétrica por tipologia e o parâmetro mensal de consumo de energia elétrica do PPH/2019 do modelo M.C-01



Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Através do gráfico 04 é possível determinar que na simulação do modelo M.C-01 as tipologias 03 até 07 foram as tipologias que apresentaram resultados aceitáveis dentro do nível de conformidade, já as tipologias Térreo 01 e 02, tipologia 08 e tipologia 09 apresentaram dados que estavam fora do nível de conformidade, a tabela 16 apresenta o resultado da simulação do modelo M.C-01 indicando quais tipologias atendem os índices de ESM da EVO e quais não atendem. As tipologias das unidades habitacionais que ficaram fora da faixa de índice da EVO no modelo M.C-01 foram submetidas a um novo processo de calibração. Essas novas simulações passaram por um novo processo de análise de sensibilidade seguindo os mesmos critérios do M.C-01.

No processo foram realizadas mais três simulações energéticas com a configuração de dados de entrada a partir de análise de sensibilidade de densidade de luzes e equipamentos, voltada para equalização dos níveis de consumo de energia elétrica para as tipologias das unidades habitacionais Térreo 01, Térreo 02, Tipologia 08 e Tipologia 09 dentro dos níveis de ESM da EVO e níveis de conformidade entre 80% e 120%. A tabela 13 mostra os dados comparativos de nível de conformidade entre a simulação e a média do PPH/2019 do modelo M.C-01.

Tabela 13 - Indicadores de nível de conformidade dos dados de saída do modelo M.C-01 com relação ao consumo de energia elétrica

TIPOLOGIA	ACEITÁVEL	NÃO ACEITÁVEL
TÉRREO 01		33,45%
TÉRREO 02		32,95%
TIPOLOGIA 03	91,59%	
TIPOLOGIA 04	89,96%	
TIPOLOGIA 05	90,62%	
TIPOLOGIA 06	84,69%	
TIPOLOGIA 07	85,01%	
TIPOLOGIA 08		132,63%
TIPOLOGIA 09		68,70%

Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

A identificação das tipologias que estavam fora do nível de conformidade levou a outra análise de sensibilidade do modelo na forma de correlação de dados a partir dos dados de saída do modelo calibrado M.C-01. Esse processo levou a configuração de outros parâmetros de dados de entrada para densidade de iluminação e equipamentos para cada tipologia do Maria Paula que precisou de uma nova configuração de simulação para atender a adequação do parâmetro de consumo do PPH/2019. Além dos dados de saída do modelo M.C-01 também foi processado a depuração de usos finais do consumo de energia elétrica do PPH2019 que determina que o consumo de energia elétrica representa **11%** do total da energia elétrica consumida no mês em cada tipologia, e que o restante do consumo de energia elétrica representa o uso de equipamentos, o mesmo processo de calibração do modelo calibrado M.C-01.

A tabela 14 mostra a variação dos índices de densidade de iluminação e equipamentos que foram utilizados no processo de análise de sensibilidade de calibração das simulações dos modelos M.C-03, M.C-04 e M.C-05.

Tabela 14 - Dados de entrada - Índices de densidade de iluminação e equipamentos dos modelos

PARÂMETROS	ILUMINAÇÃO (W/m²)	EQUIPAMENTOS (W)
M.CB-01 e M.CB-02 - NBR	5	120
M.C-01 e M.C-02 -PPH/2019	0,54	37,94
M.C-03- PPH/2019	1,34	117,40
M.C-04- PPH/2019	0,83	48,73
M.C-05- PPH/2019	0,48	42,63

Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

As configurações dos dados de entrada para densidade de iluminação e equipamentos mostra que a densidade de iluminação dos modelos com cenário base M.CB-01 e M.CB-02 configurados com parâmetros da NBR15575-1/2021 apresentou um índice maior que a maioria dos outros índices dos modelos calibrados. Já para a densidade de equipamentos essa diferença é bem maior entre os modelos do cenário base e os modelos calibrados M.C-01, M.C-02, M.C-04 e M.C-05. O parâmetro de densidade de equipamentos, porém é bem próximo quando a comparação é feita entre os modelos do cenário base e o modelo calibrado M.C-03.

Os dados de saída para consumo de energia elétrica de cada modelo foram instrumentos de análise dessa pesquisa, e foi a partir desses dados que foi possível auferir a validade dos processos empregados na metodologia. As tabelas a seguir mostram os dados de saída de consumo de energia elétrica de todas as simulações desenvolvidas. As tabelas também apontam o índice ESM atingindo em cada simulação rodada e a comparação com o índice de ESM da EVO $\pm 20\%$.

Tabela 15 - Dados de saída para consumo de energia elétrica dos modelos M.CB-01 e M.CB-02 e o nível ESM com o parâmetro de calibração do PPH

TIPOLOGIA	TOTAL (ANO) kWh	MÉDIA (MÊS) kWh	ESM - EVO±20%
TÉRREO 01	2.767	231	-63%
TÉRREO 02	2.692	224	-58%
TIPOLOGIA 03	7.139	595	-319%
TIPOLOGIA 04	6.695	556	-293%
TIPOLOGIA 05	7.011	584	-312%
TIPOLOGIA 06	6.261	522	-268%
TIPOLOGIA 07	6.283	524	-269%
TIPOLOGIA 08	10.106	842	-494%
TIPOLOGIA 09	4.814	401	-183%

Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Tabela 16 - Dados de saída para consumo de energia elétrica dos modelos M.C-01 e M.C-02 - PPH/2019 e o nível ESM com o parâmetro de calibração do PPH

TIPOLOGIA	TOTAL (ANO) kWh	MÉDIA (MÊS) kWh	ESM - EVO±20%
TÉRREO 01	564	47	67%
TÉRREO 02	556	46	67%
TIPOLOGIA 03	1544	129	9%
TIPOLOGIA 04	1517	126	11%
TIPOLOGIA 05	1528	127	10%
TIPOLOGIA 06	1428	119	16%
TIPOLOGIA 07	1433	119	16%
TIPOLOGIA 08	2236	186	-31%
TIPOLOGIA 09	1158	97	32%

Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Tabela 17 - Dados de saída para consumo de energia elétrica dos modelos M.C-03- PPH/2019 e o nível ESM com o parâmetro de calibração do PPH

TIPOLOGIA	TOTAL (ANO) kWh	MÉDIA (MÊS) kWh	ESM - EVO±20%
TÉRREO 01	1.550	129	9%
TÉRREO 02	1.531	128	10%

Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Tabela 18 - Dados de saída para consumo de energia elétrica dos modelos M.C-04- PPH/2019 e o nível ESM com o parâmetro de calibração do PPH

TIPOLOGIA	TOTAL (ANO) kWh	MÉDIA (MÊS) kWh	ESM - EVO±20%
TIPOLOGIA 08	1656	138	3%

Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Tabela 19 - Dados de saída para consumo de energia elétrica dos modelos M.C-05- PPH/2019 e o nível ESM com o parâmetro de calibração do PPH

TIPOLOGIA	TOTAL (ANO) kWh	MÉDIA (MÊS) kWh	ESM - EVO±20%
TIPOLOGIA 09	1.528	127	10%

Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

4.5 ANÁLISE DE CONFORTO TÉRMICO ATRAVÉS DO MODELO DE CONTROLE ADAPTATIVO

Para análise de conforto térmico das simulações, foi adotado o modelo adaptativo da ASHRAE 55/2017, no qual a metodologia deve ser realizada em condições que consideram a ausência de equipamento de resfriamento ou aquecimento dos ambientes analisados e levando em consideração que as temperaturas externas entejam dentro de um intervalo entre $10^{\circ}\text{C} \leq x \leq 33,5^{\circ}\text{C}$. A ASHRAE/2017 considera como resultado satisfatório para conforto térmico que a medição de temperatura operativa dos ambientes deve estar dentro de um limite de capacidade de $\pm 80\%$ em relação a determinação de referência a partir das temperaturas externas (ASHRAE 55, 2017).

Para poder realizar a análise de conforto térmico dos intervalos das temperaturas operativas, a razão dos valores para comparação das temperaturas deve ser determinada conforme as equações 3 e 4:

$0,31 \times (\text{temperatura média mensal do ar externo para bulbo seco}) + 21,3^{\circ}\text{C}$ para o limite superior com 80% de aceitabilidade (ASHRAE 55, 2017) (3);

$0,31 \times (\text{temperatura média mensal do ar externo para bulbo seco}) + 14,3^{\circ}\text{C}$ para o limite inferior com 80% de aceitabilidade (ASHRAE 55, 2017) (4).

A análise de conforto térmico dos APP das tipologias habitacionais do edifício Maria Paula será obtida por meio da simulação de modelos desenvolvidos ao longo deste estudo. Esses modelos deverão considerar duas condições: ambientes fechados e condição dos ambientes em ventilação natural.

A análise de temperaturas operativas dos APPs das tipologias habitacionais do Maria Paula foi feita a partir de 4 modelos que operaram as simulações com características distintas. Os modelos estão configurados com 33 zonas térmicas e tem área total de 1.281,55m², e seguem com a caracterização de agenda de ocupação de uso misto da NBR15575-1/2021, e determinação de materiais segundo o LabEE; porém com densidade de equipamentos e iluminação que seguem a ordem do processo metodológico que envolve a calibração dos modelos. Ou seja, os primeiros modelos seguem com os dados de entrada da NBR15575-1/2021 e os outros modelos seguem com os dados de entrada obtidos através do processo de calibração obtidos através dos dados disponíveis no PPH/2019.

Com essa configuração os 4 modelos rodaram em regimes anuais com obtenção de temperatura a cada hora do ano, ou seja, 8.760 horas com 8.760 leituras de temperatura interna dos ambientes. O foco das análises está direcionado para os ambientes de permanência prolongada, as APPS, que são os quartos e salas e na maior parte dos ambientes do Maria Paula ambientes que têm a função de quarto e sala na configuração das unidades habitacionais.

Para ter uma leitura mais completa dos cenários reproduzidos nas simulações o regime de operações foi realizado em ambientes fechados e ambientes onde haja trocas de ar em regimes de 5 trocas de ar por hora operadas através ventilação natural. Esses cenários representam as hipóteses de operação real dos APPs do Maria Paula, um edifício que têm como proprietários, em sua maioria, famílias de baixa renda, que moram em uma edificação com sua fachada tombada onde a legislação vigente não permite alteração da fachada do prédio.

As 8.760 amostras de temperatura obtidas nas simulações foram subdivididas em regimes mensais e comparadas com relação ao resultado das equações 3 e 4 a partir da

temperatura média mensal do ar externo para bulbo seco, a tabela 20 mostra os valores dessas temperaturas externas e seus limites em regimes mensais.

Tabela 20 – Índice de temperatura para comparação de nível de conforto térmico em regime anual de medição

MÊS	TEMPERATURA MÉDIA MENSAL	C°	
		Limite superior%	Limite inferior%
JAN	22	28	21
FEV	22	28	21
MAR	21	28	21
ABR	18	27	20
MAI	17	27	20
JUN	17	27	20
JUL	16	26	19
AGO	17	27	20
SET	18	27	20
OUT	18	27	20
NOV	19	27	20
DEZ	20	28	21

Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Os valores de temperatura operativa interna foram analisados em planilha eletrônica e comparados com os valores obtidos pelas equações **3** e **4**, de forma a verificar o nível de conforto térmico nos horários de ocupação dos APPs. Isto permite determinar o nível de conforto térmico dos APPs nas condições simuladas nos modelos.

A análise de conforto térmico das simulações está subdividida em modelos com parâmetros de entrada com configuração da NBR15575-1/2021, os cenários base. E os modelos calibrados a partir dos dados do PPH/2019. Em ambas as condições foram feitas análises com regimes de operação em ambientes fechados e condição de ventilação natural.

Tabela 21 – Variação de temperatura das APPs do Modelo M.CB-01, onde a simulação foi feita em regime de ambientes fechados

TIPOLOGIA	MÍNIMA (C°)	MÁXIMA (C°)
TÉRREO 01	21	30
TÉRREO 02	20	30
TIPOLOGIA 03	23	34
TIPOLOGIA 04	22	34
TIPOLOGIA 05	21	35
TIPOLOGIA 06	20	34
TIPOLOGIA 07	19	35
TIPOLOGIA 08	20	26
TIPOLOGIA 09 – SALA	18	37
TIPOLOGIA 09 – QUA01	17	36
TIPOLOGIA 09 – QUA02	20	38

Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Tabela 22 – Variação de temperatura das APPs do Modelo M.CB-02, com simulação realizada em regime de ventilação natural

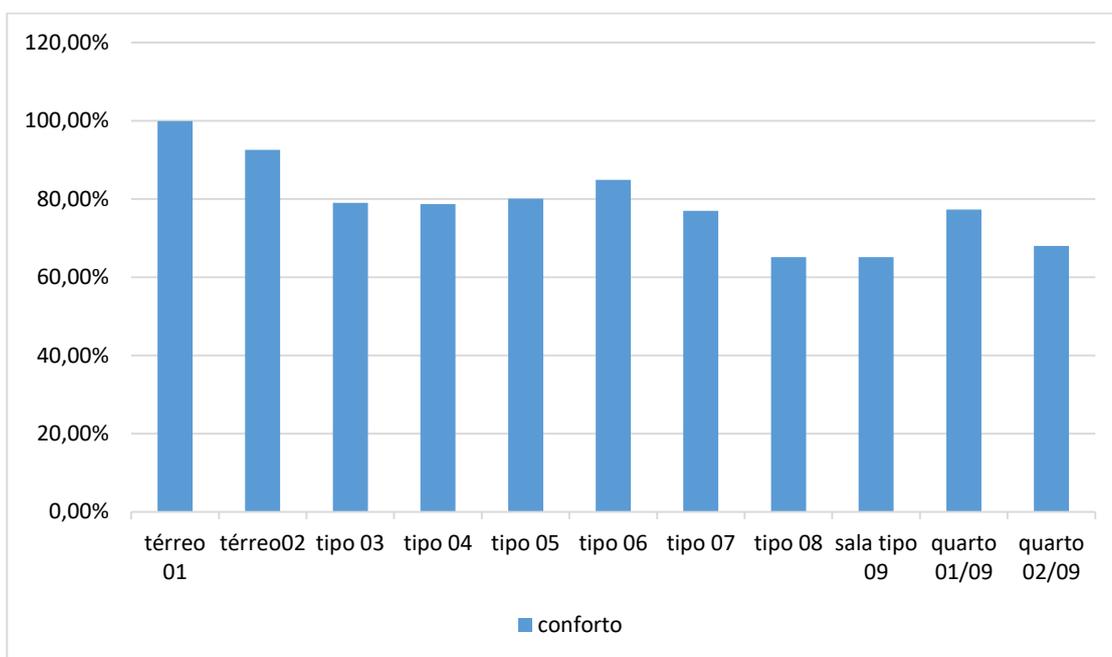
TIPOLOGIA	MÍNIMA (C°)	MÁXIMA (C°)
TÉRREO 01	17	28
TÉRREO 02	17	28
TIPOLOGIA 03	17	29
TIPOLOGIA 04	17	30
TIPOLOGIA 05	17	31
TIPOLOGIA 06	17	31
TIPOLOGIA 07	18	34
TIPOLOGIA 08	18	35
TIPOLOGIA 09 – SALA	17	36
TIPOLOGIA 09 – QUA01	17	36
TIPOLOGIA 09 – QUA02	20	38

Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

4.5.1 Análise de conforto térmico a partir dos dados de saída dos modelos simulados a partir da calibração do PPH2019

Os gráficos a seguir representam o percentual de horas de conforto térmico para os modelos que rodaram simulações que passaram pelo processo de calibração. As operações da simulação dos modelos levam em consideração o regime das temperaturas operativas que foram registradas no APPs das tipologias das unidades habitacionais do Maria Paula, considerando um regime de horas anual de ambientes fechados, Modelo M.C-01 e a operação de ambientes em regime de operação com ventilação natural, Modelo M.C-02.

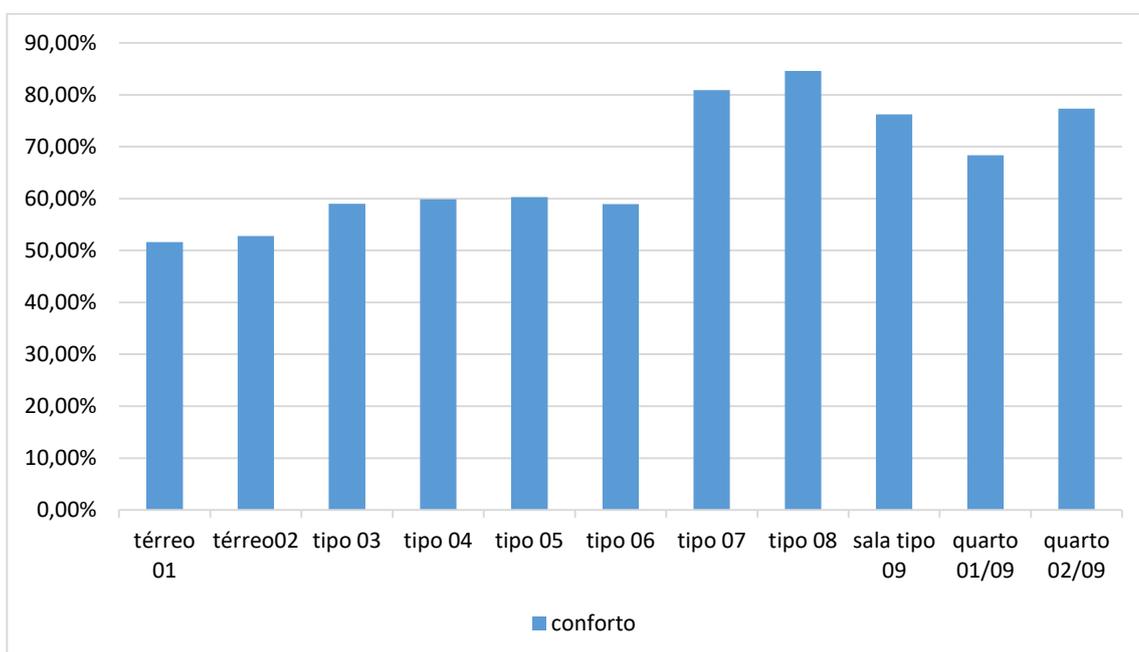
Gráfico 5 - Percentual de horas de conforto térmico das APPs do Modelo M.C-01 com operação em ambientes fechados (sem troca de ar).



Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

A análise de horas de conforto térmico do modelo calibrado M.C-01 apresentada no gráfico com dados em percentual de horas em conforto térmico das APPs mostra uma variação de nível de conforto térmico com ápice de **99,86%** para a APP da tipologia Térreo 01 e **65,14%** das horas em conforto térmico para os APPs das tipologias 08 e sala da tipologia 09 como os índices mais baixos. Os dados de percentual de horas de conforto num regime anual de 8.760h para os APPs das tipologias habitacionais do modelo M.C-01 podem ser vistos no gráfico 07.

Gráfico 6 - Percentual de horas de conforto térmico das APPs do Modelo M.C-02 com operação em ventilação natural (5 trocas de ar por hora)

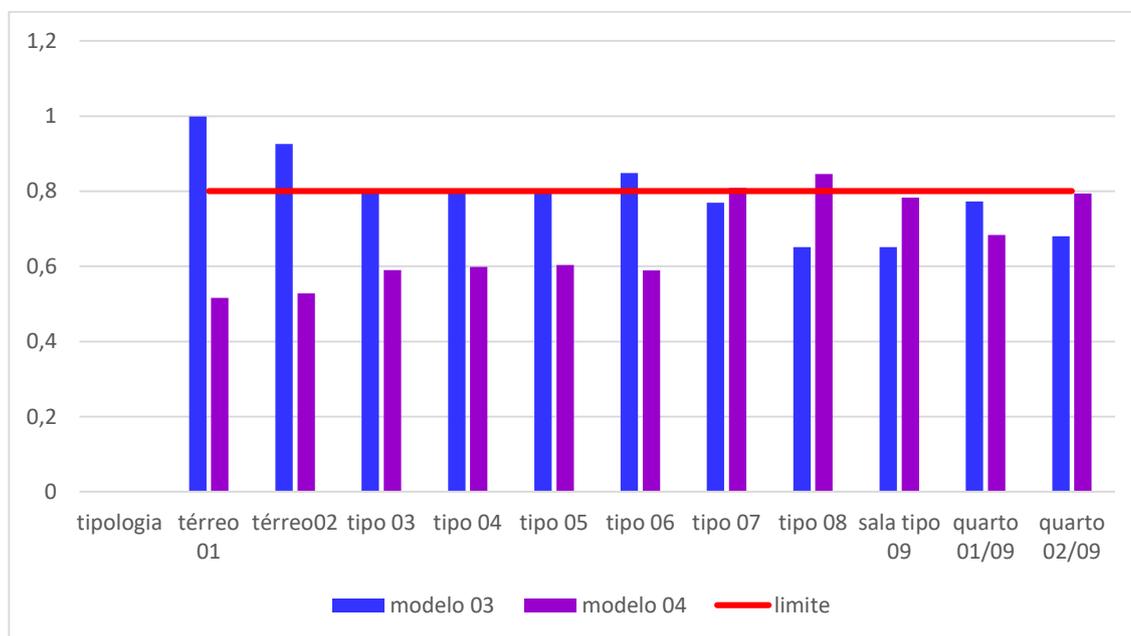


Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Os resultados de conforto térmico para os APPs do modelo calibrado M.C-02 em operação em regime de ventilação natural, apresentaram os seguintes níveis de horas de conforto das unidades habitacionais. Para o modelo M.C-02 temos uma variação de nível de horas de conforto térmico com ápice de **84,60%** de horas de conforto térmico para a tipologia 08 e **51,64%** de horas de conforto térmico na Tipologia Térreo 01 como o índice mais baixo. Os índices de nível de horas de conforto térmico de todas as APPs das unidades habitacionais do Maria Paula para o modelo M.C-02 estão no gráfico 08.

A análise dos gráficos 07 e 08 mostra que para o caso das duas simulações calibradas. Os regimes de operação considerando os APPs em ambientes fechados e em ventilação natural apresentaram menor variação do que a variação apresentada para os casos das simulações do cenários base, modelos M.CB-01 e M.CB-02.

Gráfico 7 - Percentual de horas de conforto térmico das APPs dos Modelos calibrados M.C-01 e M.C-02 e o limite de aceitável de 80% de horas de conforto térmico em APPs



Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

A análise de horas de conforto térmico dos ambientes das tipologias habitacionais do Maria Paula para as simulações dos modelos calibrados M.C-01 e M.C-02, mostra singularidade com relação aos percentuais de horas de conforto térmico em para a tipologia 07. Em ambos os casos, a análise apresentou um regime satisfatório de horas de conforto térmico para a APP da tipologia da unidade habitacional 07. O modelo M.C-01 apresentou níveis aceitáveis de horas de confortos térmico para os APPs das tipologias **térreo 01, 02, tipos 03, 04, 05, 06 e quarto 01 da tipologia 09**. Já o modelo M.C-02 apresentou níveis aceitáveis de horas de conforto térmico para os APPs das tipologias habitacionais **07, 08, sala 09 e quarto 02 da tipologia 09**.

O gráfico 07 mostra a relação dos percentuais de horas de conforto térmicos das APPs das tipologias das unidades habitacionais do Maria Paula para os modelos calibrados e tem como parâmetro o limite de 80% de horas em conforto térmico dos APPs durante o período de um ano.

Também serão apresentados os dados de saída obtidos das simulações dos modelos M.C-01 e M.C-02 mostrando a variação de temperatura medidas nos APPs das tipologias habitacionais durante o regime de um ano em 8.760h. Esses dados mostrarão os registros de menor e maior temperatura medida de cada APP das tipologias das unidades habitacionais do Maria Paula nas simulações calibradas.

No modelo M.C-01 as medições de temperatura operativa das simulações indicam que a temperatura mais baixa registrada foi de **16°C**, já a temperatura mais alta registrada foi de **36°C**. No modelo M.C-02 o registro de temperatura mais baixa é de **15°C** e o mais alto é de **34°C**. Os dois modelos apresentaram baixa variação entre os registros de temperaturas das APPs, tanto quando comparados parra baixas quanto altas temperaturas.

Tabela 23 - Variação de temperatura das APPs do Modelo M.C-01, com simulação realizada em regime de ambientes fechados

TIPOLOGIA	MÍNIMA (C°)	MÁXIMA (C°)
TÉRREO 01	19	28
TÉRREO 02	19	29
TIPOLOGIA 03	21	32
TIPOLOGIA 04	20	32
TIPOLOGIA 05	19	32
TIPOLOGIA 06	19	32
TIPOLOGIA 07	16	31
TIPOLOGIA 08	18	34
TIPOLOGIA 09 - SALA	18	35
TIPOLOGIA 09 – QUA01	17	35
TIPOLOGIA 09 – QUA02	18	36

Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Tabela 24 - Variação de temperatura das APPs do Modelo M.C-02, onde a simulação foi feita em regime de ventilação natural

TIPOLOGIA	MÍNIMA (C°)	MÁXIMA (C°)
TÉRREO 01	17	26
TÉRREO 02	17	26
TIPOLOGIA 03	17	27
TIPOLOGIA 04	17	28
TIPOLOGIA 05	16	29
TIPOLOGIA 06	17	29
TIPOLOGIA 07	16	31
TIPOLOGIA 08	17	33
TIPOLOGIA 09 - SALA	16	33
TIPOLOGIA 09 – QUA01	15	32
TIPOLOGIA 09 – QUA02	17	34

Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

A análise de horas de conforto térmico dos APPs do Maria Paula a partir do modelo adaptativo foi elaborada com os dados coletados das simulações de 4 modelos. Os dois cenários base, modelos M.CB-01 e M.CB-02, o modelo M.CB-01 operou a simulação considerando os ambientes fechados, já o modelo M.CB-02 operou a simulação em regime de ventilação natural. E os dois modelos calibrados M.C-01 e M.C-02, o modelo M.C-01 operou a simulação em regime de ambientes fechados e o modelo M.C-02 operou em regime de ventilação natural. Os registros desses 4 modelos conseguiram determinar o quadro de análise de conforto térmico das simulações energéticas do edifício Maria Paula

As medições de temperatura operativas dos APPs dos modelos M.C-01 e M.C-02 não apresentaram diferenças significativas com relação as medições de temperatura dos modelos M.C-03, M.C-04 e M.C-05. Assim para análise das 8.760 horas de conforto térmico dos APPs das tipologias das unidades habitacionais do Maria Paula os dados de saída de temperatura operativa dos APPs obtidos através das simulações dos modelos M.CB-01, M.CB-02, M.C-01 e M.C-02 já configuram um campo de análise que contempla a metodologia de análise de percentual de horas de conforto térmico dos APPs das unidades habitacionais do Maria Paula através do modelo adaptativo da ASHRAE.

5 DISCUSSÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS DOS MODELOS

A discussão e análise de resultados concentra-se em dois aspectos para a validação da metodologia; primeiro a validação ou não dos resultados do processo de calibração de consumo de energia elétrica do edifício e quais níveis de conforto e desconforto térmico que foram alcançados nas simulações do cenário base e simulações calibradas.

A partir da discussão das análises desses parâmetros é possível auferir se a metodologia proposta tem validade como pesquisa e se o processo metodológico pode ser atribuído a outros casos.

5.1 – VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA DE CALIBRAÇÃO

A observação geral dos resultados de dados de saída de um processo de calibração para consumo de energia de uma edificação é feita a partir da validação dos resultados em relação ao parâmetro de comparação. Como parâmetro foi utilizada a média de consumo de energia elétrica para o mês de setembro da Classe C1 na região Sudeste publicados no PPH/2019 com valor de **141,85 kWh**.

A análise de calibração do consumo de energia elétrica tem uma margem de aceitação de erro, os dados utilizados foram nível de conformidade operando entre **80%** e **100%** e a variação de ESM mensal de $\pm 20\%$ determinado pela EVO, o parâmetro de ESM escolhido foi por conta dos resultados de análise de sensibilidade do processo de calibração. Com o ajuste feito a partir da correlação de dados foi possível auferir que a análise de sensibilidade realizada atendia ao intervalo de ESM da norma EVO sem a necessidade de ajustes finais das simulações calibradas.

Na comparação entre os dados de saída de consumo de energia elétrica dos modelos calibrados e os modelos de cenário base. Os dados de saída dos modelos calibrados apresentaram níveis de conformidade da ordem de **85%** a **98%** e ficaram dentro do intervalo de $\pm 20\%$ determinado pela EVO. Já os modelos que caracterizam o cenário base apresentaram níveis de conformidade da ordem entre **150%** e **600%** e ficaram fora do intervalo da EVO.

Com base nos níveis de conformidade e ESM apresentados dos modelos calibrados, a análise de comparação valida a metodologia de calibração das simulações energética do Maria Paula através do processamento de dados públicos de consumo de energia publicados pelo PPH/2019. Os dados públicos do PPH/2019 de consumo de energia elétrica do setor residencial e a distribuição de consumo por carga permitiu a instrumentação dos dados de entrada de

densidade de iluminação e equipamento do modelo cenário base e possibilitou a adequação do cenário de consumo de energia elétrica das tipologias das unidades habitacionais do Maria Paula ao padrão de consumo estipulado.

A validação da metodologia de calibração possibilita determinar estratégias de eficiência energética para a edificação, uma vez que a partir da validação dos dados de saída é possível determinar os níveis de consumo dos sistemas energéticos da edificação o que permite traçar estratégias de eficiência energética voltadas para o edifício e no processo auferir os resultados dessas estratégias a partir de dados de saída das simulações de acordo com a configuração de dados de entrada voltados para eficiência do consumo energético da edificação.

5.2 – ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO DAS APPS

Com relação a análise do percentual de horas de conforto térmico dos APPs das tipologias do Maria Paula os 4 primeiros modelos simulados apresentaram variações de resultados em regimes de operação com ambientes fechados e ventilação natural. Dentre os resultados dos modelos adaptativos, os dados do modelo M.C.-01, modelo calibrado sem agenda de ventilação natural, foi o que apresentou os melhores resultados de horas de conforto térmico com níveis entre **99,86%** para a tipologia térreo 01 e uma média perto de **80%** de nível de conforto para a maioria dos APPs das tipologias habitacionais analisadas.

A análise de horas de conforto térmicos dos APPs dos modelos calibrados apresentou um quadro onde é possível se chegar ao nível aceita de horas de conforto térmico para todos os ambientes de todas as tipologias das unidades habitacionais sem a necessidade de intervenções no edifício. É possível determinar que as análises dos dados de saída dos modelos calibrados apresentam uma situação de regime de operação entre ambientes fechados e ambientes com regime de ventilação natural onde a operação de todos os ambientes simulados acontece dentro da faixa de 80% de horas de conforto térmico num período de um ano.

A tabela 25 apresenta os níveis de percentuais de horas de conforto térmico das APPs para todas as tipologias habitacionais do Maria Paula nas simulações dos modelos M.C.-01 com ambientes fechados e M.C.-02 onde os ambientes operam em ventilação natural. Nessa tabela é possível determinar uma agenda de operação para todas as tipologias das unidades habitacionais do Maria Paula levando em consideração o conforto térmico sem a necessidade de alteração das características construtivas das tipologias das unidades habitacionais ou fachada do edifício. Essa situação da análise de conforto térmico dos modelos calibrados também sugere uma operação com atividades que não vão precisar de equipamentos ou

mecanismos que levem ao aumento ou diminuição de cargas térmicas dos APPs das unidades habitacionais do Maria Paula.

Ou seja, a análise de conforto térmico dos dados dos modelos calibrados M.C.-01 e M.C.-02 permite que haja um regime satisfatório de horas de conforto térmico em todos as APPs das tipologias habitacionais do Maria Paula sem a necessidade de alteração das configurações realizadas na reforma elaborada em 2002.

Tabela 25 - Agenda de operações mistas dos APPs considerando as condições de conforto térmico

NÍVEIS DE CONFORTO DOS MODELOS 03 E 04		
APP	MODELO 03	MODELO 04
TIPOLOGIA	AMBIENTES FECHADOS	VENTILAÇÃO NATURAL
TÉRREO 01	99,86%	51,64%
TÉRREO02	92,55%	52,78%
TIPO 03	78,99%	58,99%
TIPO 04	78,63%	59,86%
TIPO 05	80,01%	60,32%
TIPO 06	84,84%	58,93%
TIPO 07	76,95%	80,88%
TIPO 08	65,14%	84,60%
SALA TIPO 09	65,14%	76,26%
QUARTO 01/09	77,26%	68,33%
QUARTO 02/09	68,00%	77,37%

Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

A tabela 25 indica os percentuais de horas em conforto térmico dos APPs de todas as tipologias das unidades habitacionais do Maria Paula para os modelos calibrados M.C.-01 e M.C.-02, na tabela estão marcados em azul os percentuais de horas de conforto térmico que apresentaram níveis satisfatórios. No quadro que considera a operação de todos os ambientes com índices aceitáveis de horas em conforto térmico durante a ocupação, é possível averiguar que existe uma configuração onde o ponto central é assegurar níveis aceitáveis de conforto térmico

para todas as tipologias das unidades habitacionais do Maria Paula sem a necessidade de soluções técnicas que vão aumentar ou diminuir cargas térmicas.

O cenário que configura a condição descrita acima opera num regime onde as tipologias: **térreo 01, 02, tipos 03, 04, 05, 06 e quarto 01 da tipologia 09** operam em um regime anual em condições nas quais os ambientes estão fechados e as tipologias **tipo 07, 08, sala 09 e quarto 02 da tipologia 09** operam dentro de um regime de ventilação natural para. O gráfico 09 aponta para o cenário descrito acima.

A análise de percentuais de horas de nível de conforto térmico dos modelos adaptativos dos modelos calibrados M.C.-01 e M.C.-02 apresentaram situações nas quais o conforto térmico das APPs simuladas pode ser atingido atribuindo um regime de ocupação das APPs dividido entre ambientes fechados e ambientes com operação de ventilação natural. Os resultados dos modelos adaptativos de conforto térmico das unidades habitacionais do Maria Paula para os modelos calibrados podem ser analisados também através da planta de situação do Maria Paula, Figura 23. Através da planta de situação é possível observar as condições da agenda de operação através da relação do edifício com seus confrontantes principalmente na direção oeste para leste. Para além disso, o resultado dos modelos adaptativos apresentou também as condições de desconforto térmico, que se caracterizou da seguinte forma:

No modelo calibrado M.C.-01, operação em ambientes fechados, as tipologias Térreo 01 e 02 apresentaram maior período de desconforto térmico por frio. As tipologias 03 até a 07 apresentaram períodos de desconforto por conta de calor, assim como a APP quarto 01 da tipologia 9.

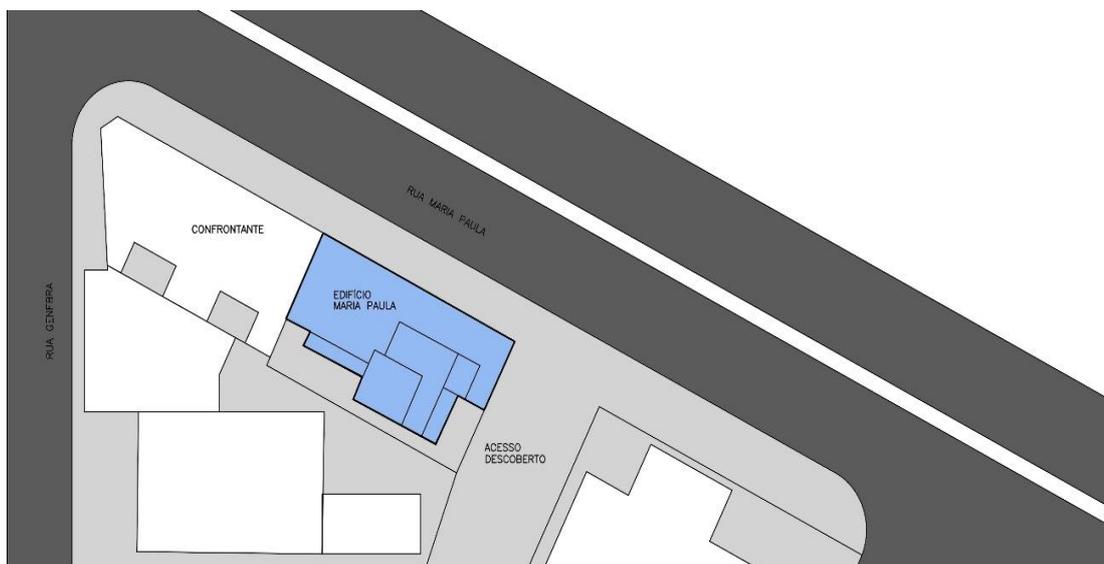
No modelo calibrado M.C.-02, operação dos ambientes com ventilação natural, os níveis de desconforto térmico para a tipologia 07, tipologia 08 e sala da tipologia 09 foram determinados pelo frio. Já o APP quarto 02 da tipologia 09 apresentou períodos de desconforto térmico por conta do calor.

A partir da análise dos níveis de conforto e desconforto térmico dos modelos adaptativos é possível averiguar que a configuração da edificação confere com os dados apresentados.

Na figura 23 é possível analisar quais fachadas recebem maior incidência de radiação solar e realizam trocas de ar direta com o ambiente externo. A fachada oeste faz divisa em empena com um edifício de mesmo gabarito de altura, a fachada norte e leste já tem total exposição a incidência de radiação solar. A fachada norte confronta com a rua Maria Paula onde o primeiro grande anteparo (outra edificação) fica a cerca de 31,00m de distância. Já a fachada oeste faz divisa com um lote onde o anteparo (edifício vizinho) está distante do Maria Paula

cerca de 17,00m. A fachada sul é a fachada que apesar de não confrontar diretamente em empena com nenhum vizinho apresentou a característica de poço de iluminação e ventilação uma vez que os confrontantes estão distantes em uma média de 5,00m e além dessa configuração existe a circulação horizontal do bloco para acesso de algumas tipologias que funciona como anteparo bloqueando a entrada de iluminação. As condições de situação do Maria Paula vão de acordo com os resultados dos modelos adaptativos.

Figura 23 - Planta de Situação do edifício Maria Paula



Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Outra análise proposta na metodologia do trabalho é a comparação entre os resultados dos modelos adaptativos para análise de conforto térmico das simulações energéticas do edifício Maria Paula e trabalhos correlacionados com o tema da pesquisa. No caso, os trabalhos realizados para análise das 4 salas comerciais do Conjunto Nacional de Kronka et al. (2021), de 4 unidades habitacionais do COPAN elaborado por Soares et al. (2018) e a pesquisa de Lamberts et al. (2015) que analisou o desempenho energético de várias tipologias de unidades habitacionais construídas no Brasil dentro do PMCMV em 2014.

A análise de dados em todos os estudos de caso permite determinar que é possível operar nos APPs dos 3 edifícios localizados no centro de São Paulo sem a necessidade de equipamentos que vão aumentar ou diminuir cargas térmicas. As condições da construção dos três edifícios garantem conforto térmico dentro de um perfil de ocupação sem a necessidade de aumento de consumo de energia elétrica ou intervenção na fachada e nos ambientes das tipologias analisadas.

Já a pesquisa realizada por de Lamberts et al. (2015), os autores identificaram que a níveis de conforto térmico da maioria das tipologias analisadas produzidas pelo PMCMV estão abaixo do aceitável e que para gerar um nível de conforto térmico aceitável para as unidades habitacionais analisadas seria necessário implementação de equipamentos que diminuam ou aumentem as cargas térmicas dos ambientes, mesmo para os casos em que as unidades habitacionais apresentaram dispositivos como ventilação cruzada.

Em resumo, as pesquisas que tiveram como foco de estudo as edificações no centro de São Paulo construídas no século passado, inclusive as que passaram por reforma, apresentaram índices de conforto térmico aceitáveis para todos os ambientes analisados, já o trabalho que estudou vários edifícios residenciais produzidos no programa PMCMV contratados a partir de 2014 apresentaram índices de conforto térmico insatisfatórios.

6 CONCLUSÃO

Esse estudo foi realizado para apresentar uma proposta metodológica de caracterização de assinatura energética de uma edificação requalificada através de simulação computacional baseada em processos normativos e dados público do setor residencial da região sudeste do Brasil. Para poder realizar a assinatura energética do edifício foi desenvolvido um modelo que pudesse simular as condições que possibilitem a obtenção de dados de consumo de energia elétrica e temperaturas operativas das unidades habitacionais do edifício Maria Paula.

Para a simulação do Maira Paula foi necessário desenvolver um cenário base de simulação e elencar um parâmetro de consumo de energia mensal mais próximo possível da realidade do edifício. A análise dos dados de saída da simulação do cenário base em comparação ao parâmetro de consumo de energia elétrica, levou o trabalho ao processo de calibração do modelo cenário base. O processo de calibração foi feito por análise de sensibilidade que levou a alteração dos dados de entrada de densidade de iluminação e equipamento do cenário base, assim foi possível obter a validação do processo de calibração do modelo de simulação energética atendendo os parâmetros de ESM da norma EVO e níveis de conformidade aceitáveis com relação ao dado de consumo de energia elétrica elencando para todas as tipologias das unidades habitacionais do Maria Paula.

Com o processo de calibração atendendo níveis aceitáveis de padrão de consumo de energia elétrica das unidades habitacionais a próxima etapa do trabalho foi a análise das temperaturas operativas dos APPs das tipologias das unidades habitacionais do Maria Paula voltada para análise de nível de horas de conforto térmico dos APPs. O resultado dos modelos adaptativos para horas de conforto das APPs durante o período de um ano revelou que as condições dos modelos calibrados M.C.-01 e M.C.-02 apresentaram níveis de conforto térmico entre 80% ou mais de horas de ocupação dos ambientes durante um regime horário num período de um ano para todas as tipologias das unidades habitacionais. O que, para o caso do Maria Paula é uma condição favorável uma vez que o imóvel atende um público de baixa renda e a fachada do imóvel não pode sofrer alteração uma vez que o Maria Paula é tombado pelo patrimônio histórico da Prefeitura de São Paulo.

O processo metodológico desenvolvido nesta pesquisa pode levar a compreensão de um padrão de consumo de energia elétrica e de temperaturas operativas dos APPs onde utilizar dados públicos para obter a assinatura de um edifício residencial requalificado é aceitável. A determinação da assinatura energética é essencial nas escolhas de estratégias voltadas para eficiência energética dá uma edificação. Dentro de um quadro onde a obtenção de dados de

consumo de energia elétrica de uma determinada edificação específica pode ser comprometida, a possibilidade de utilizar dados públicos em um método que apresenta um certo grau de confiabilidade mostrou que a metodologia adotada funciona como uma ferramenta que auxilia a traçar um norte de ação na discussão de transição energética. Análises energéticas prévias levam ao entendimento da assinatura energética da edificação o que permite a possibilidade de ensaios de tecnologias e medidas que envolvem inclusive o design da edificação, e assim é possível entender previamente os resultados das medidas de eficiência energética que possam ser aplicadas na edificação.

7. SUJESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No desenvolvimento da pesquisa surgiram algumas perguntas que podem ser referências para trabalhos futuros:

- Aplicação da metodologia de calibração para desempenho termo energético em outras tipologias residências voltadas para outras classes sociais;
- Aplicação da metodologia para configuração original da edificação Maria Paula onde havia 13 unidades habitacionais com *layout* de uma unidade habitacional por pavimento;
- Análise de desempenho energético com foco em eficiência energética direcionado para subsistemas energéticos, em particular para consumo de aquecimento de água buscando novas fontes energéticas para o aquecimento de água;

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – NBR 15575-1: **Edificações habitacionais – Desempenho parte 1: Requisitos Gerais**, 2013/Em 1:2021.

ASHRAE/GUIDELINE 14-2002, **Measurement of energy and Demand Savings**. 2002.

ANSI/ASHRAE Standard 55-2017: **Thermal environmental conditions for human occupancy**, [17](#) - acessado em 19/10/2022

ANSI/ASHRAE Standard 55: **Thermal environmental conditions for human occupancy, american society of heating, refrigerating and air conditioning engineers (ASHRAE)**, Atlanta, United States, 2010.

BRASIL PROCEL: Pesquisa de posse e hábitos de uso de equipamentos elétricos na classe residencial PPH2019 -
<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNzZkNjZiZDMtOWE3MC00MTU1LTg1NmQtMjM5ZGFjNTFjMTY2IiwidCI6IjhhMGZmYjU0LTk3MTYtNGE5My05MTU4LTl1M2E3MjA2ZjE4ZSJ9>. Acessado em 11/10/2022.

BOLETIM ENERGÉTICO: Série Informações Energéticas, 001, São Paulo 2023.

BOMFIM V. C.: **O centro histórico de São Paulo: a vacância imobiliária, as ocupações e os processos de reabilitação urbana**. Caderno Metrópole, São Paulo, v. 2, n. 12, p.27-48, jul./dez. 2004. Semestral.

BONDUKI N. G.: **Origens da habitação social no Brasil**. Análise Social, vol XXIX (127), 1994 – pag. 711-732

BONDUKI N. G.: **Os pioneiros da habitação social: cem anos de construção de política pública no Brasil**. São Paulo: Unesp, 2012. 387.

CASSEB D. A.: **Avaliação Pós-ocupação funcional em edifício reabilitado: estudo de caso do Maria Paula**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2018.

16^a ANNUAL EDITION: **D.W.U.A.: Demographia world urban areas - Built-up urban areas or urban agglomerations**, 2020

DOCOMOMO BRASIL, 7.: **O moderno já passado / O passado no moderno: reciclagem, requalificação, rearquitetura**. Porto Alegre: Universidade Federal de Pernambuco, 2007. 20 p.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Atlas da eficiência energética Brasil/2020 – Relatório de Indicadores. MMI, 2021.

FERREIRA, João Sette Whitaker (Org.). **Produzir casas ou construir cidades? Desafios para um novo Brasil urbano:** parâmetros de qualidade para a implementação de projetos habitacionais e urbanos. São Paulo: Fupam, 2012.

FOSSATI M., SCALO A. V., LINCZUK C. C. V. and LAMBERTS R.: **Building energy efficiency: An overview of the Brazilian residential labeling scheme.** Renewable and Sustainable Energy Reviews nº65, 2016, pag. 1216–1231

GIOVANNI M. C., ILARIA G.: **The role of the city’s shape in urban sustainability.** 2012 International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technology. Vol. 3. N.3. pp.245-258.

GHISI E., GOSCH S. and LAMBERTS R.: **Electricity end-uses in the residential sector of Brazil.** *Energy Policy*, v. 35, nº 8, 2007, pag. 4107–4120.

GONÇALVES S. J. C., DOLCE M., KRONKA M. R. C., GASPARELO L. E. and HARISH V.S.K.V. and ARUN K.: **A review on modeling and simulation of building energy systems.** Renewable and Sustainable Energy Reviews nº 56, 2016 pag.1272–1292.

GUO J., LIU R., XIA T. AND POURAMINI S.: **Energy model calibration in an office building by an optimization-based method.** *Energy Reports* 7 (2021) pag. 4397–4411.

HEOA Y., CHOUDHARYB R. AND AUGENBROEA G.A.: **Calibration of building energy models for retrofit analysis under uncertainty.** *Energy and Buildings* 47 (2012) pag. 550–560

HUANG Z., WANG Y., MAO J., PAN Y. e YANG T.: **An automated optimization method for calibrating building energy simulation models with measured data: Orientation and case study.** *Applied Energy* nº 179, 2016 pag. 1220-1231.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Atlas do censo demográfico 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

Brasil. **INMETRO** Consulta Pública Nº 18, De 12 De Julho De 2021. Instrução normativa INMETRO para a classificação de eficiência energética de edificações residenciais (INI-R). Acessado em <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002807.pdf>.

LabEEE Laboratório de eficiência energética em edificações UFSC: Usos Finais de Energia Elétrica no Setor Residencial Brasileiro -

<https://labeee.ufsc.br/node/480#:~:text=Observou%2Dse%20que%20o%20consumo,3%20kWh%2Fm%C3%AAAs%20no%20inverno>. Acessado em 11/10/2022.

LAMBERTS R., CANDIDO C., DEAR R. and VECCHI R.: **Towards a brazilian standard on thermal comfort**. Florianópolis: UFSC, 2013.

LAMBERTS R., TRIANA M. A. and SASSI P.: **Characterization of representative building typologies for social housing in Brazil and its energy performance**. Energy Policy n° 87, 2015, pag. 524–541.

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

LORENZO, H. C.: **Eletrificação, urbanização e crescimento industrial no estado de São Paulo, 1880 - 1940**. UNESP, 1993.

MONTES M. A. T.: **Abordagem integrada no ciclo de vida de habitação de interesse social considerando mudanças climáticas**. Florianópolis: UFSC, 2016.

MUSTAFARAJ G., KEANE M., COSTA C. e MARINI D.: **Model calibration for building energy efficiency simulation**. Applied Energy n°130, 2014 pag. 72-85

OLSEN B. W.: **A filosofia por trás da EN15251: Critério de design e cálculo de performance energética para ambientes internos de edifício**. Energy Build n° 39, 2007, pag. 740 até 749.

PAULO P. S. F.: **Calibração do consumo de energia elétrica simulado por um modelo EnergyPlus: estudo de caos do Hospital Universitário da Universidade de São Paulo**. São Paulo: IEE/USP, 2018.

PROCEL: **Pesquisa de posse e hábitos de uso de equipamentos elétricos na classe residencial SUDESTEE**. 2019 Ano base 2018.

SOARES J. C. G., DOLCE M., KRONKA M. R. C., GASPARELO E. L. e FERREIRA A.: **Revealing the thermal environmental quality of the high-density residential tall building from the Brazilian bioclimatic modernism: The case study of Copan building**. Energy & Buildings n°175, 2018, pag. 17–29.

KRONKA M. R. C., GONÇALVES S. J. C., NASCIMENTO M. R. L. X., PRATA S. A. R., NASCIMENTO S. B., MURI C., G. R., PEREIRA M. M., and GOMEZ M. M. A.: **The environmental response of office buildings from the Brazilian bioclimatic modernism in**

São Paulo: the case study of *Complexo Conjunto Nacional – CCN (1962)*. Solar Energy n° 220, 2021, pag. 617–634.

ROLNIK R.; CYMBALISTA R.; NAKANO K.: Solo urbano e habitação de interesse social: a questão fundiária na política habitacional e urbana do país 2011 - Revista de Direito da ADOCEF – Ano VII – n°13

MARINHEIRO A. C. R.: Financiamento Habitacional No Brasil. 2005: PUC/SP. 2005.

ROLNIK R.: Guerra dos Lugares: a colonização da terra e da moradia na era das finanças. São Paulo, 1º Edição, 2015.**ROSSI B., MARIQUE A. F. and REITER S.: Life-cycle assessment of residential buildings in three different European locations, case study.** Building and Environment, v. 51, 2012, p. 402–407.

SHAIKH A.: Carbon capital as a social relation. 1990, pag. 72-78.

SAKA N. O. A. O. and OMOTAYO T.: Reward and compensation incentives for enhancing green building construction. Environmental and Sustainability Indicators N° 11, 2021 – pag. 1-9.

SILVA H. M. B.: Observatório do uso do solo e da Gestão Fundiária do centro de São Paulo. São Paulo: Labhab, 2006. 266 p.

SIMÕES G. M. F., LEDER S. M. and LABAKI L. C.: How uncomfortable and unhealthy can social (low-cost) housing in Brazil become with use? Building and Environment n°205, 2018.

SOUZA j.: A elite do atraso: da escravidão à lava Jato. Rio de Janeiro, 2017.

STEIN, J.: Calibrated simulation: an improved method for analyzing building energy use. E-Source Tech Update TU-97-10, Boulder, CO, September 1997.

TARDIOLI G., NARAYAN A., KERRIGAN R., OATES M., O'DONNELL J. AND FINN. D. P.: A methodology for calibration of building energy models at district scale using clustering and surrogate techniques. Energy & Buildings 226 (2020).

U. S. DEPARTMENT OF ENERGY: Getting started energypplus version 9.5.0 documentation. 2021.

VIOTTO G. A.: Direito e financiamento: as transformações regulatórias do sistema financeiro de habitação para o sistema financeiro imobiliário. São Paulo: USP/SP. 2015.

WESTPHAL F. S. and LAMBERTS E.: **Building simulation calibration using sensitivity analysis.**
9TH INTERNATIONAL IBPSA COFERENCE. Montreal (2005) pag. 1331-1338

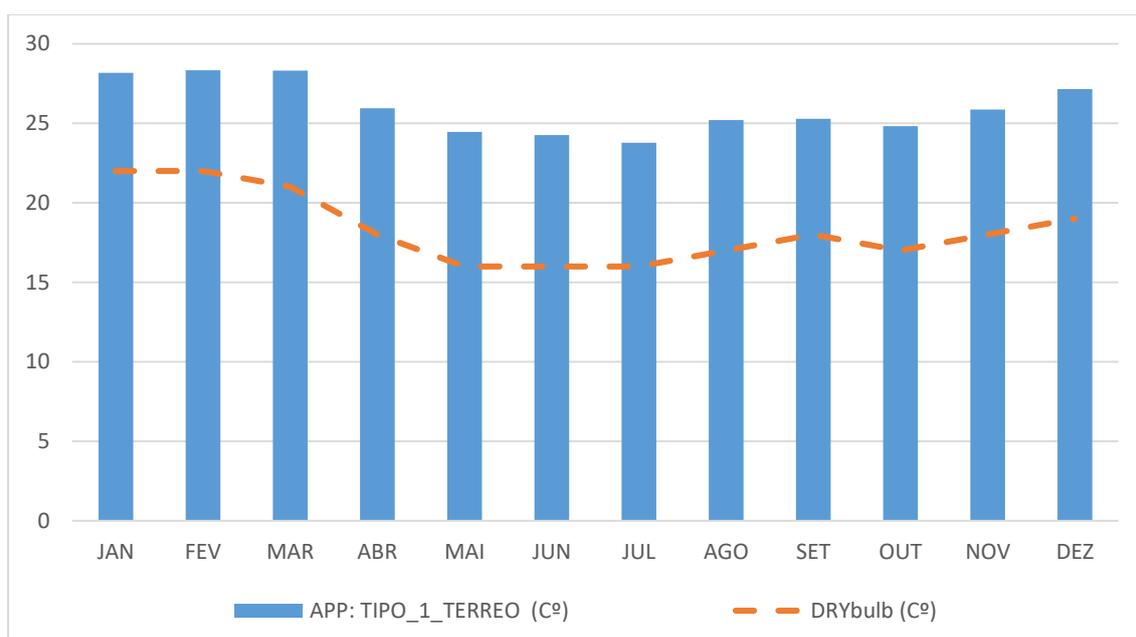
APENDICE 01 – DADOS DO MODELO CENÁRIO BASE 01

Tabela 26 - Dados de saída do consumo de energia elétrica do modelo M.C.B-01

TIPOLOGIA	ILUMINAÇÃO (KWH) 5,00W/M ²	EQUIPAMENTOS (KWH) 120,00W	TOTAL (ANO) KWH	TOTAL (MÊS) KWH
TÉRREO 01	813,90	1.952,79	2.766,69	230,56
TÉRREO 02	777,78	1.913,90	2.691,69	224,31
TIPOLOGIA 03	1.863,90	5.275,04	7.138,95	594,91
TIPOLOGIA 04	1.641,68	5.052,82	6.694,50	557,87
TIPOLOGIA 05	1.813,90	5.197,26	7.011,17	584,26
TIPOLOGIA 06	1.436,12	4.825,04	6.261,16	521,76
TIPOLOGIA 07	1.436,12	4.847,26	6.283,38	523,62
TIPOLOGIA 08	2.494,46	7.611,17	10.105,64	842,14
TIPOLOGIA 09	927,79	3.886,14	4.813,93	401,16

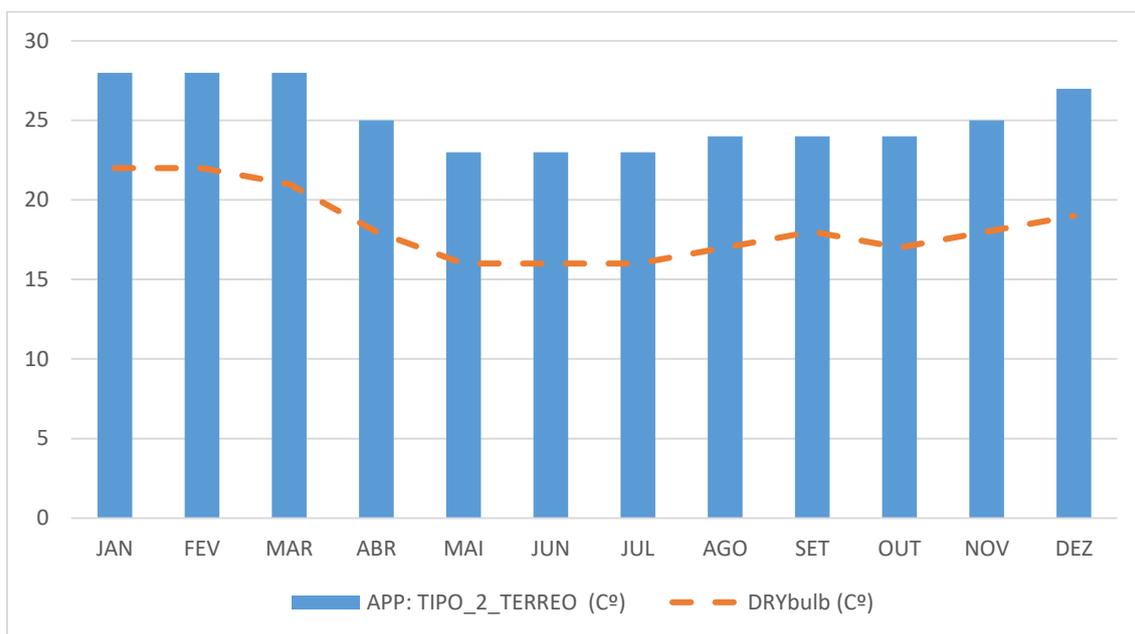
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 8 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: Tipo 1 Térreo (C°) do modelo M.C.B-01



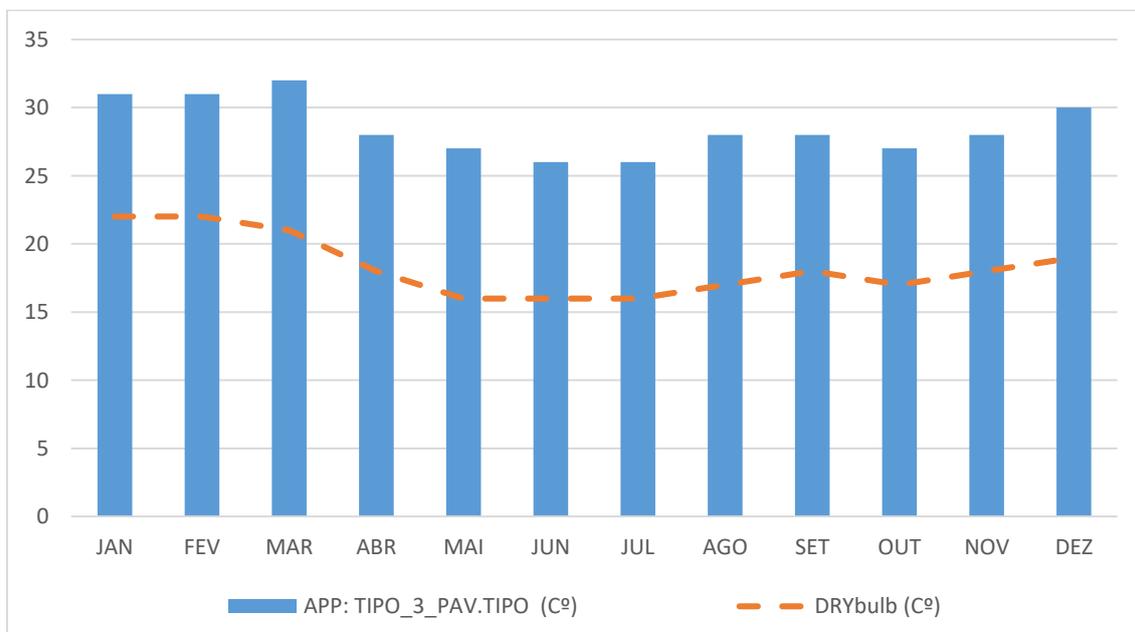
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 9 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP Tipo 2 Térreo (C°) do modelo M.C.B-01



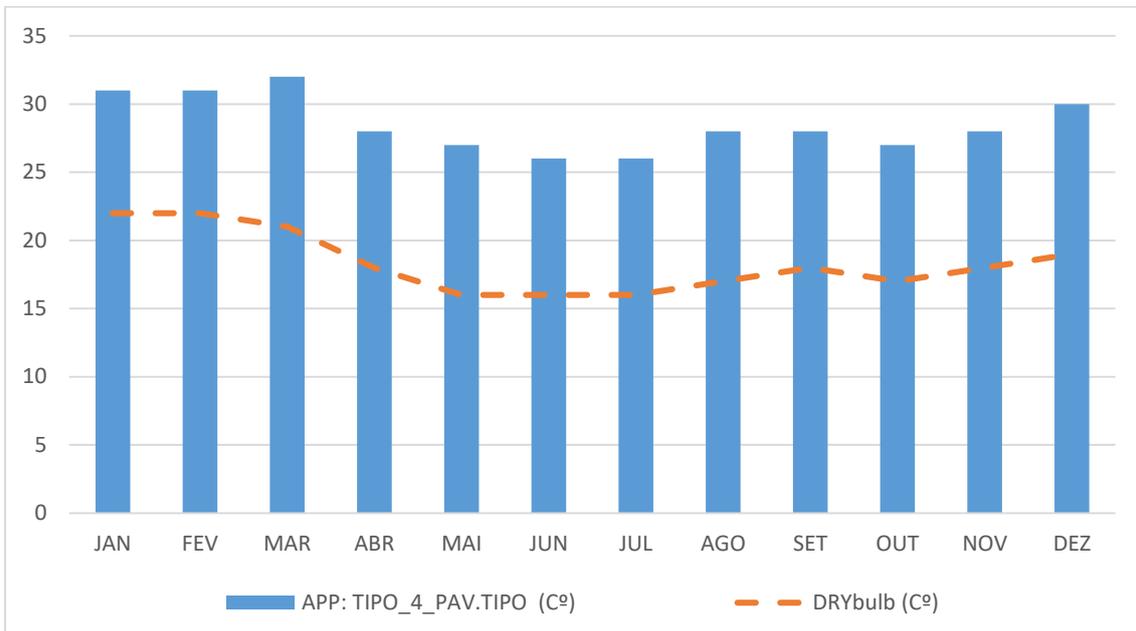
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 10 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP Tipo 3 pav tipo (°C) do modelo M.C.B-01



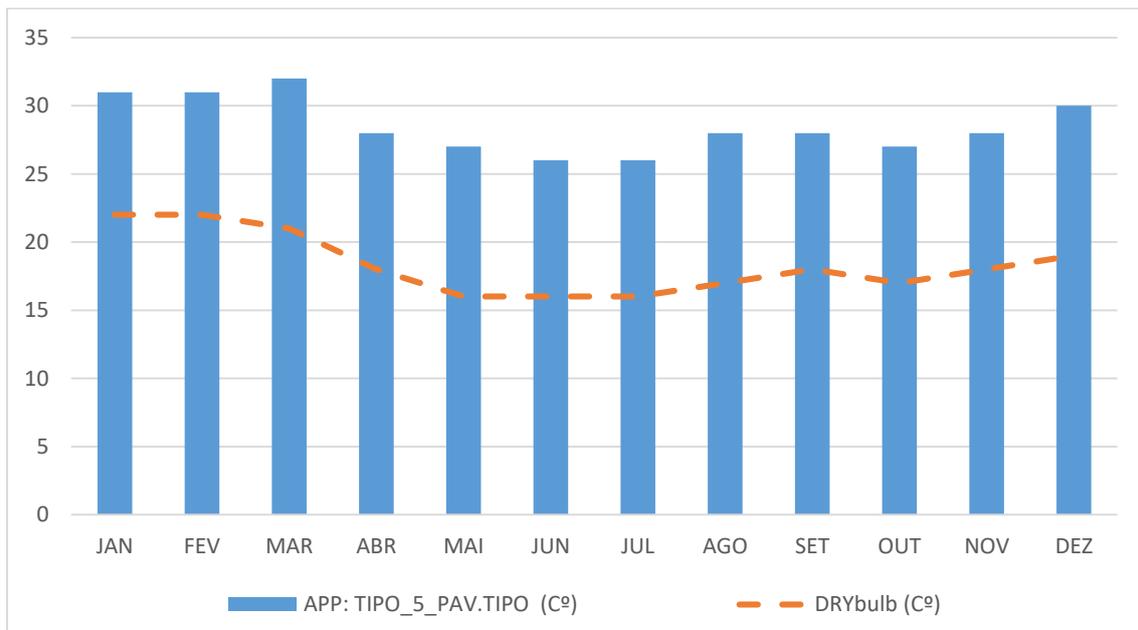
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 11 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: Tipo 4 pav tipo (C°) do modelo M.C.B-01



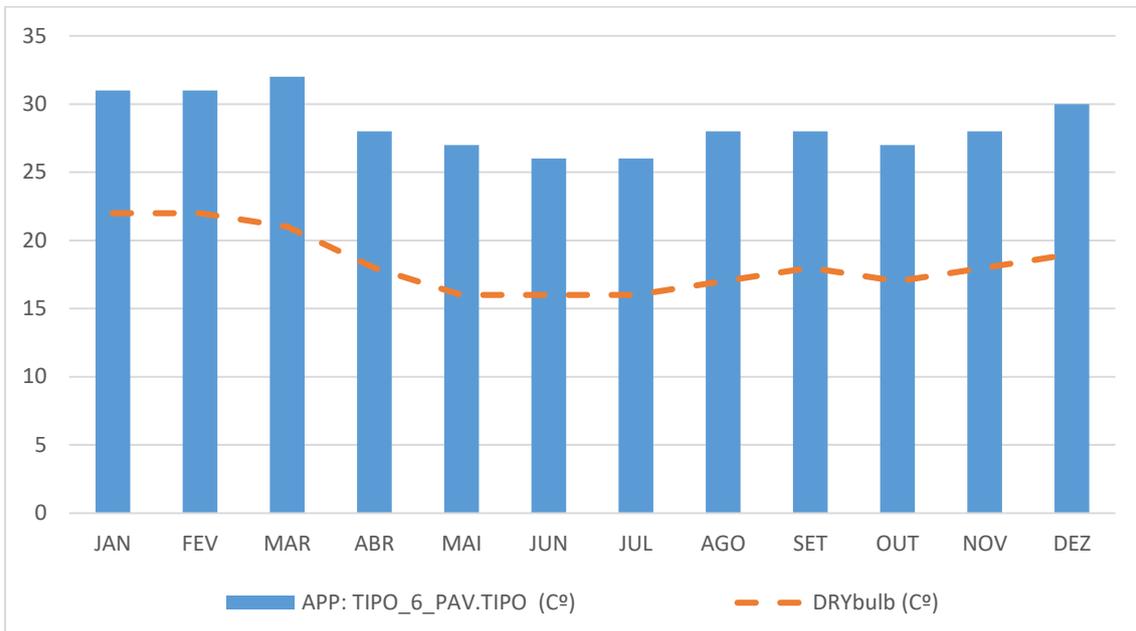
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 12 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: Tipo 5 pav tipo (C°C) do modelo M.C.B-01



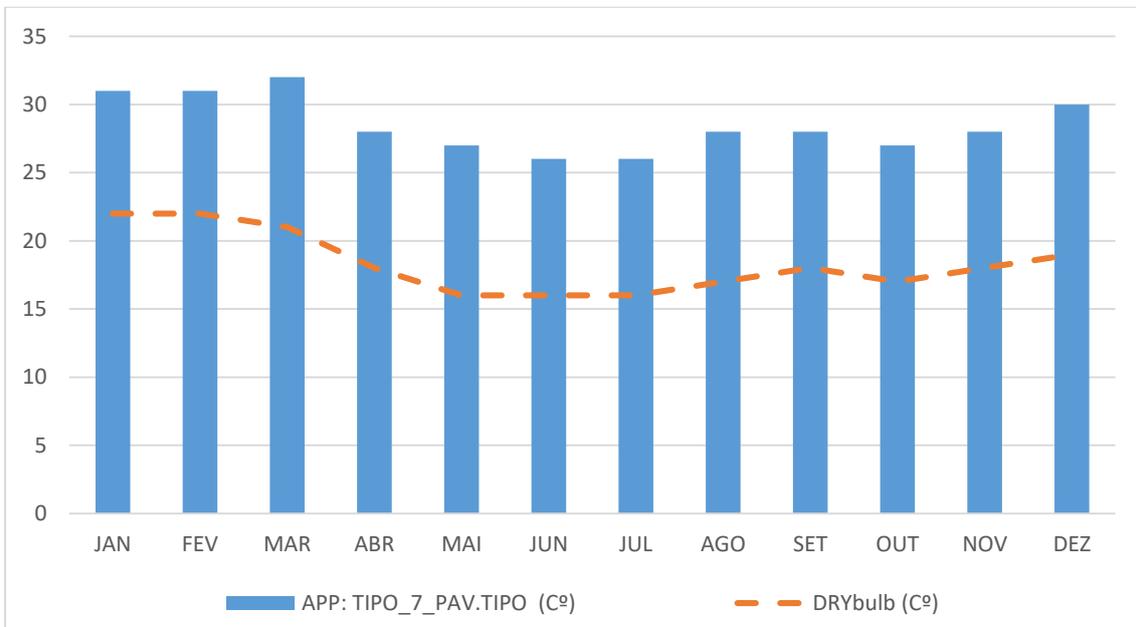
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 13 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: tipo 6 pav.tipo (C°) do modelo M.C.B-01



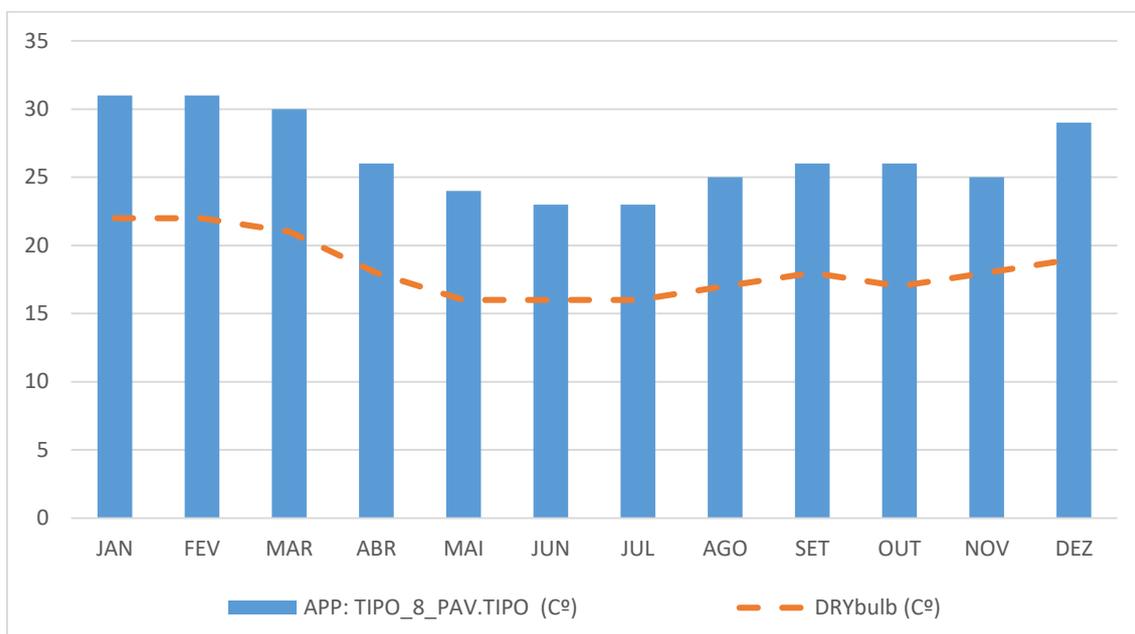
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 14 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: Tipo 7 pav tipo (C°) do modelo M.C.B - 01



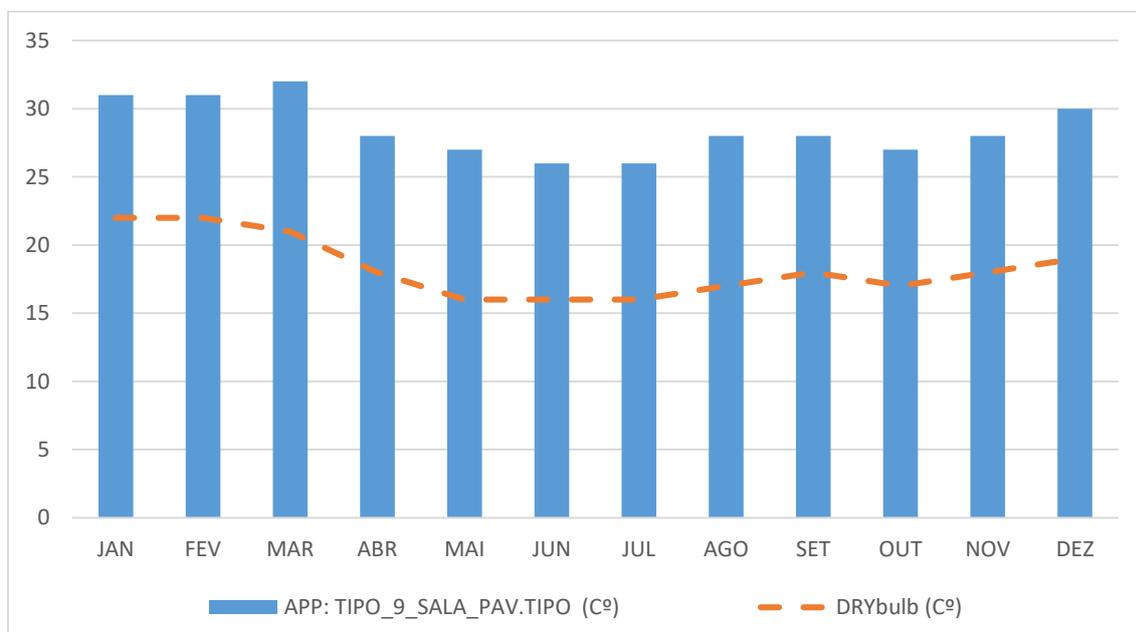
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 15 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: tipo 8 pav tipo (C°) do modelo M.C.B-01



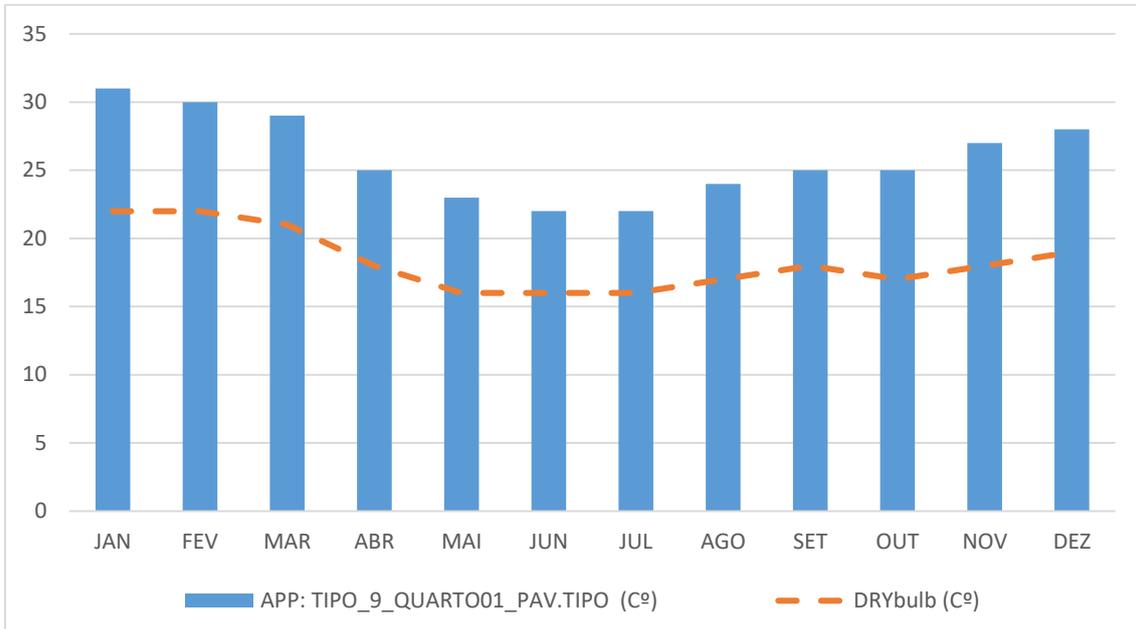
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 16 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: Tipo 9 sala pav tipo (C°) do modelo M.C.B-01



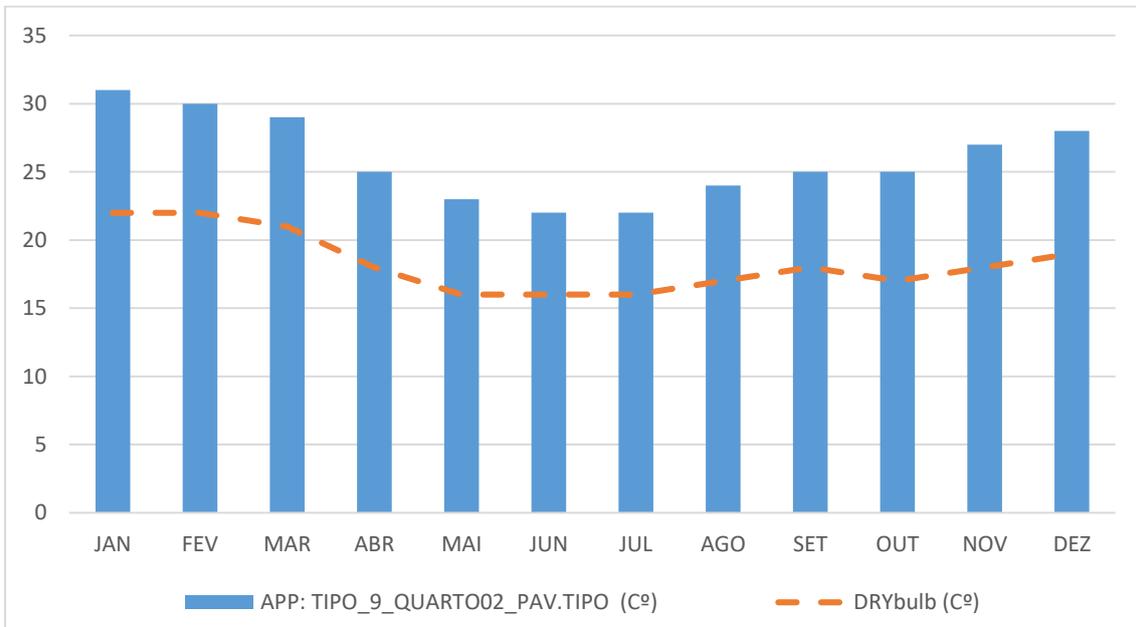
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 17 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: tipo 9 quarto 01 pav.tipo (C°) do modelo M.C.B-01



Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 18 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: tipo 9 quarto02 pav.tipo (C°) do modelo M.C.B-01



Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Tabela 27 - Níveis de conforto térmico segundo modelo adaptativos do modelo M.C.B-01

TIPOLOGIA	CONFORTO	DESCONFORTOTO
TÉRREO 01	99,86%	0,14%
TÉRREO02	92,55%	7,45%
TIPO 03	78,99%	20,94%
TIPO 04	78,63%	21,30%
TIPO 05	80,01%	19,92%
TIPO 06	84,84%	15,16%
TIPO 07	76,95%	22,99%
TIPO 08	65,14%	21,30%
SALA TIPO 09	65,14%	34,86%
QUARTO 01/09	77,26%	22,74%
QUARTO 02/09	68,00%	32,00%

Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

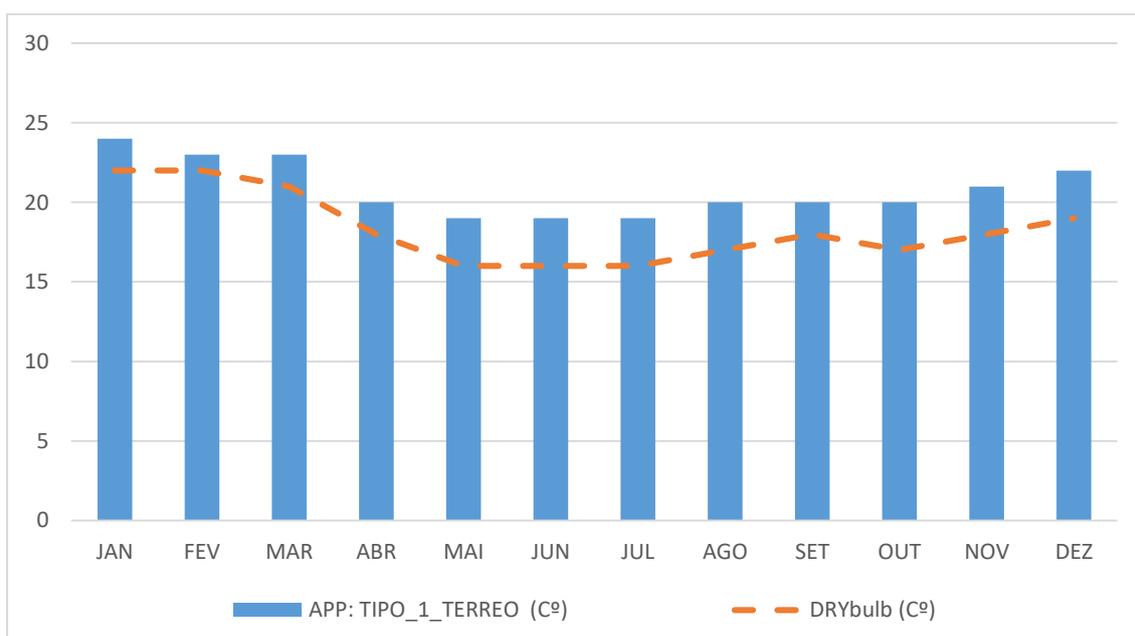
APENDICE 02 – DADOS DO MODELO CENÁRIO BASE 02

Tabela 28 - Dados de saída do consumo de energia elétrica do modelo M.C.B-02

TIPOLOGIA	ILUMINAÇÃO (kWh) 5,00W/m ²	EQUIPAMENTOS (kWh) 120,00W	TOTAL (ANO) kWh	TOTAL (MÊS) kWh
TÉRREO 01	813,90	1.952,79	2.766,69	230,56
TÉRREO 02	777,78	1.913,90	2.691,69	224,31
TIPOLOGIA 03	1.863,90	5.275,04	7.138,95	594,91
TIPOLOGIA 04	1.641,68	5.052,82	6.694,50	557,87
TIPOLOGIA 05	1.813,90	5.197,26	7.011,17	584,26
TIPOLOGIA 06	1.436,12	4.825,04	6.261,16	521,76
TIPOLOGIA 07	1.436,12	4.847,26	6.283,38	523,62
TIPOLOGIA 08	2.494,46	7.611,17	10.105,64	842,14
TIPOLOGIA 09	927,79	3.886,14	4.813,93	401,16

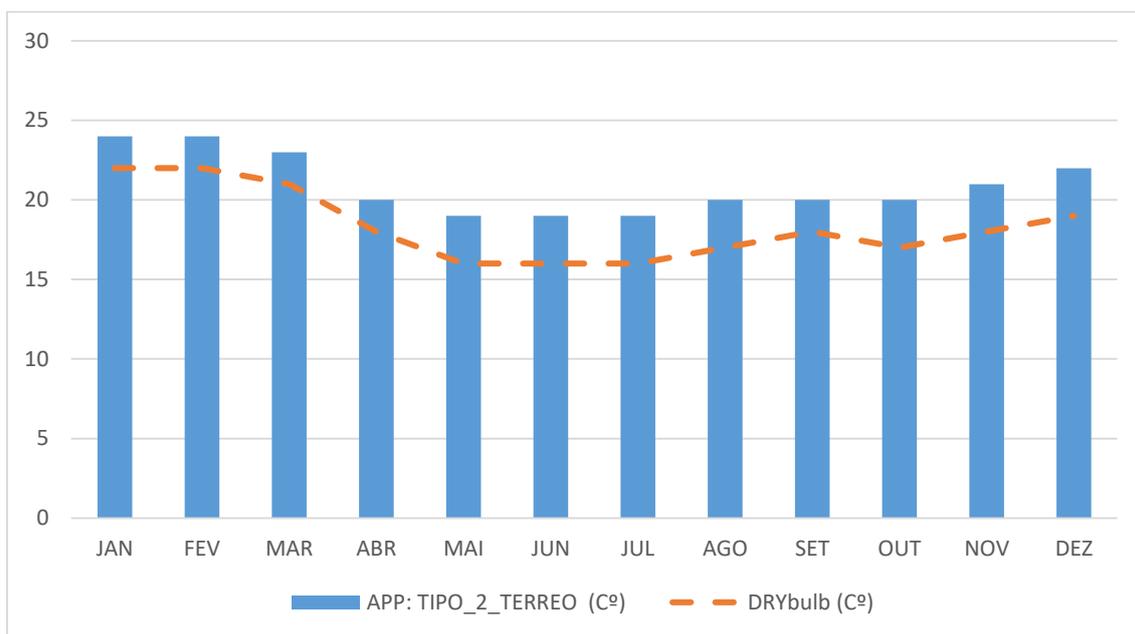
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 19 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: tipo 1 térreo (C°) do modelo M.C.B-02



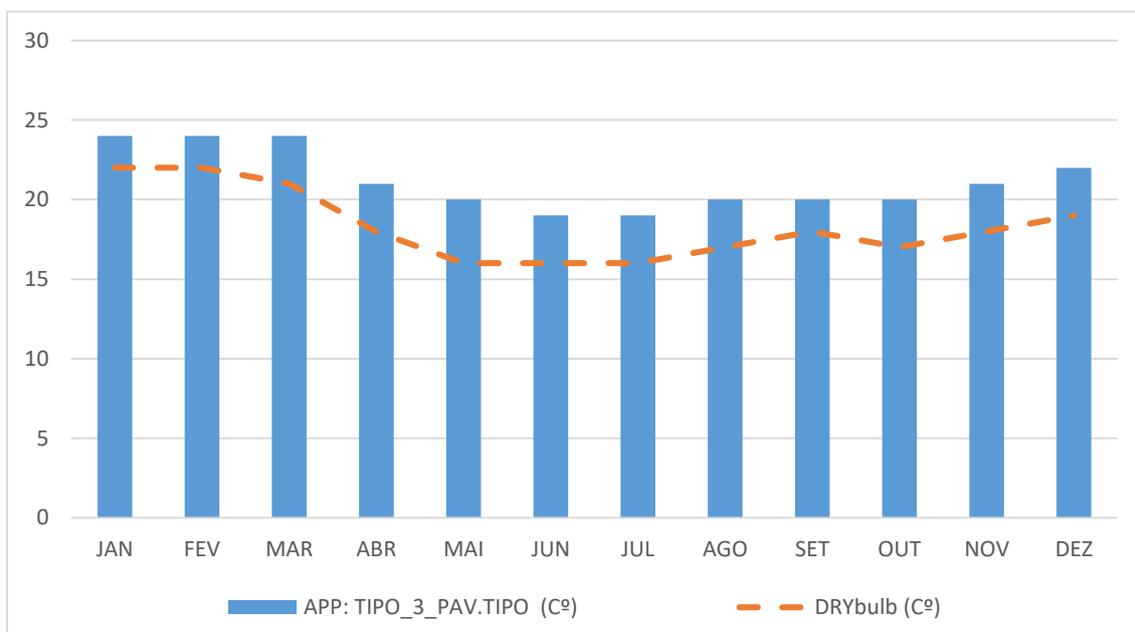
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 20 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: tipo 2 térreo (C°) do modelo M.C.B-02



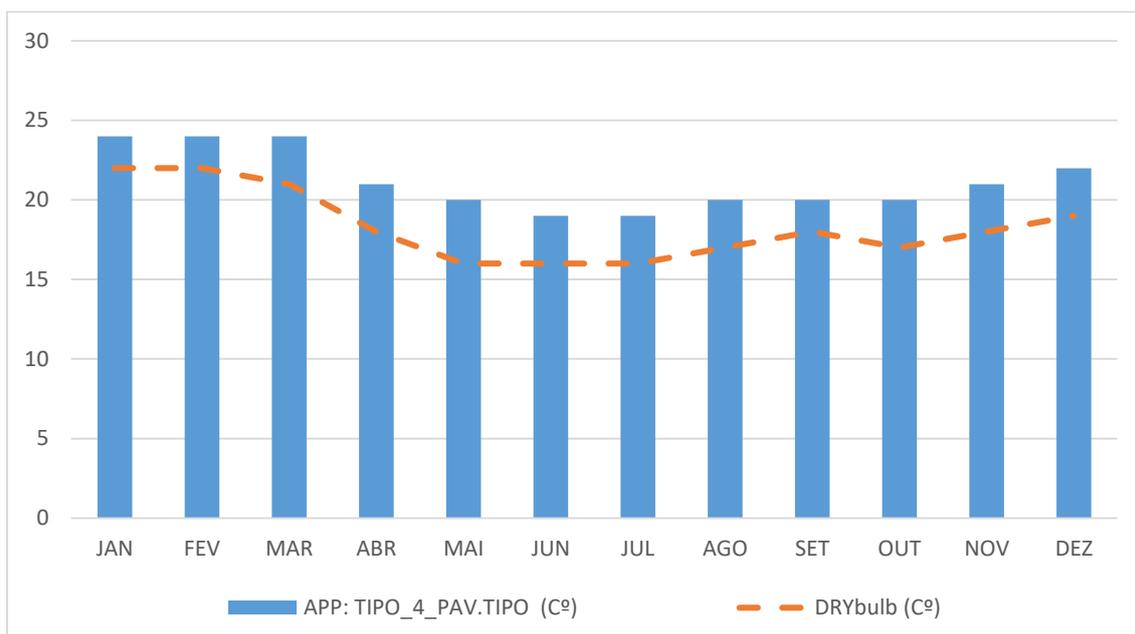
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 21 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: tipo 3 pav.tipo (C°) do modelo M.C.B-02



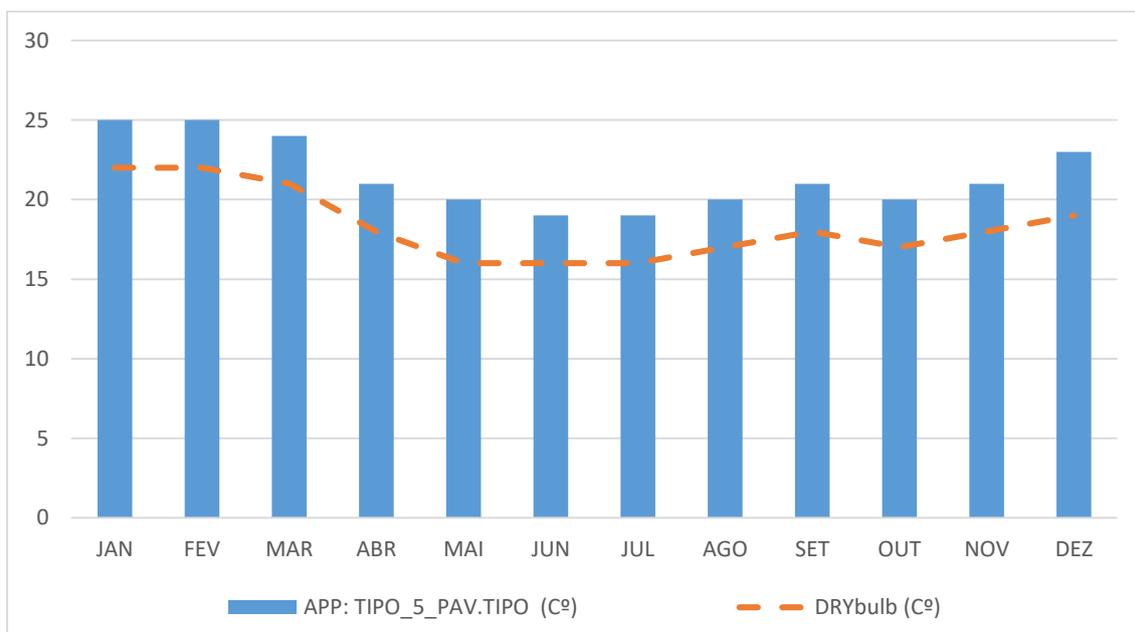
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 22 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: tipo 4 pav.tipo (C°) do modelo M.C.B-02



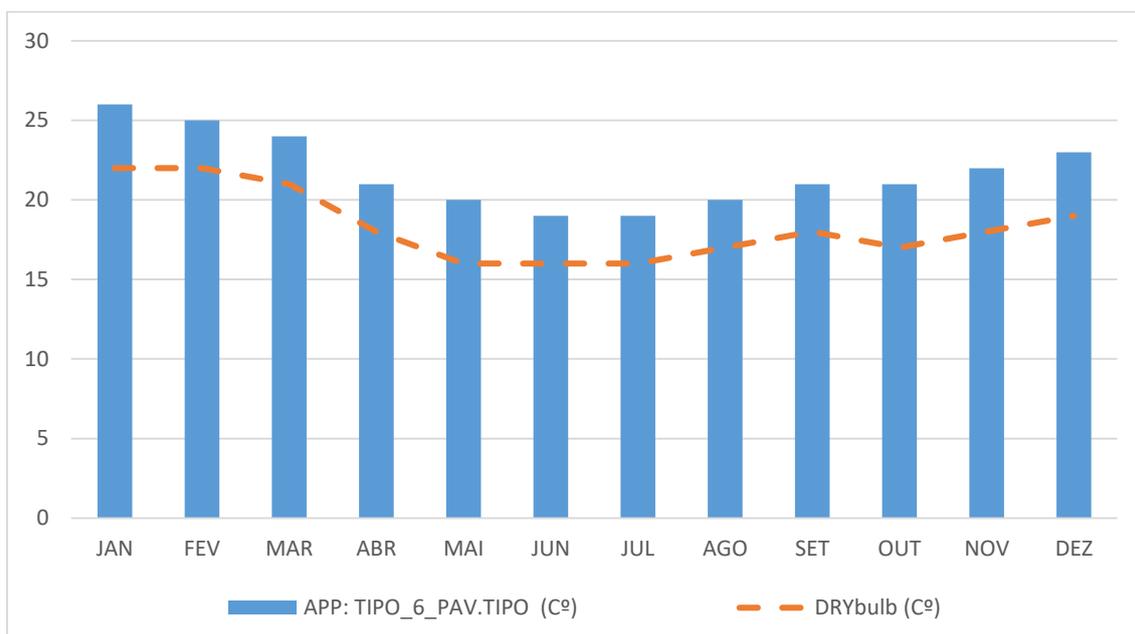
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 23 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: Tipo 5 pav tipo (C°) do modelo M.C.B-02



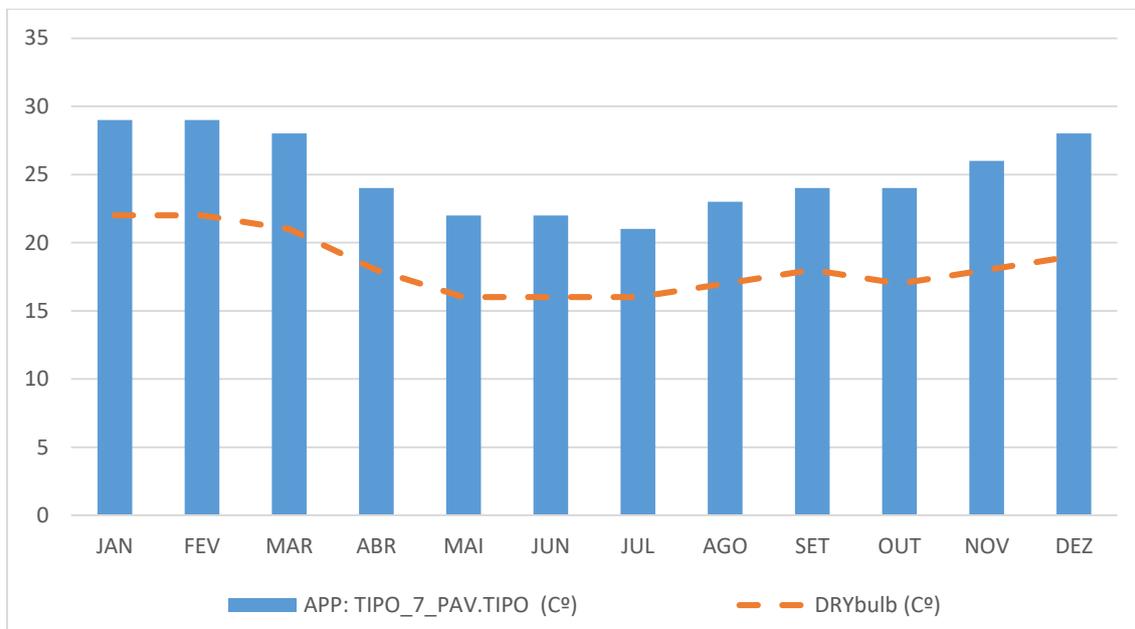
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 24 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: tipo 6 pav tipo (C) do modelo M.C.B-02



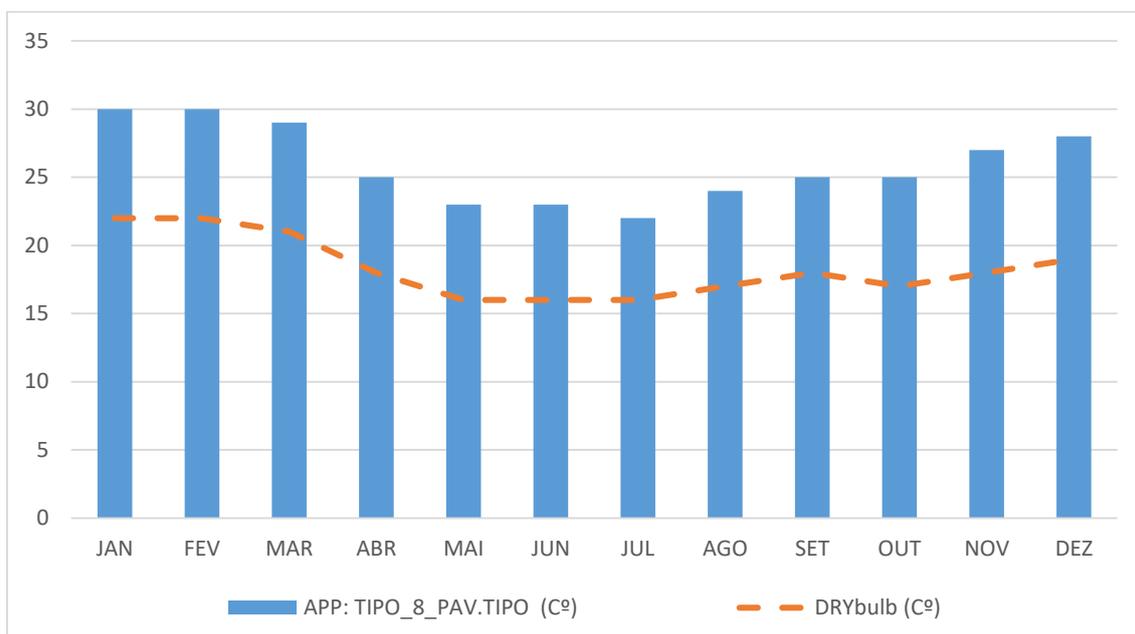
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 25 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: tipo 7 pav tipo (C°) do modelo M.C.B-02



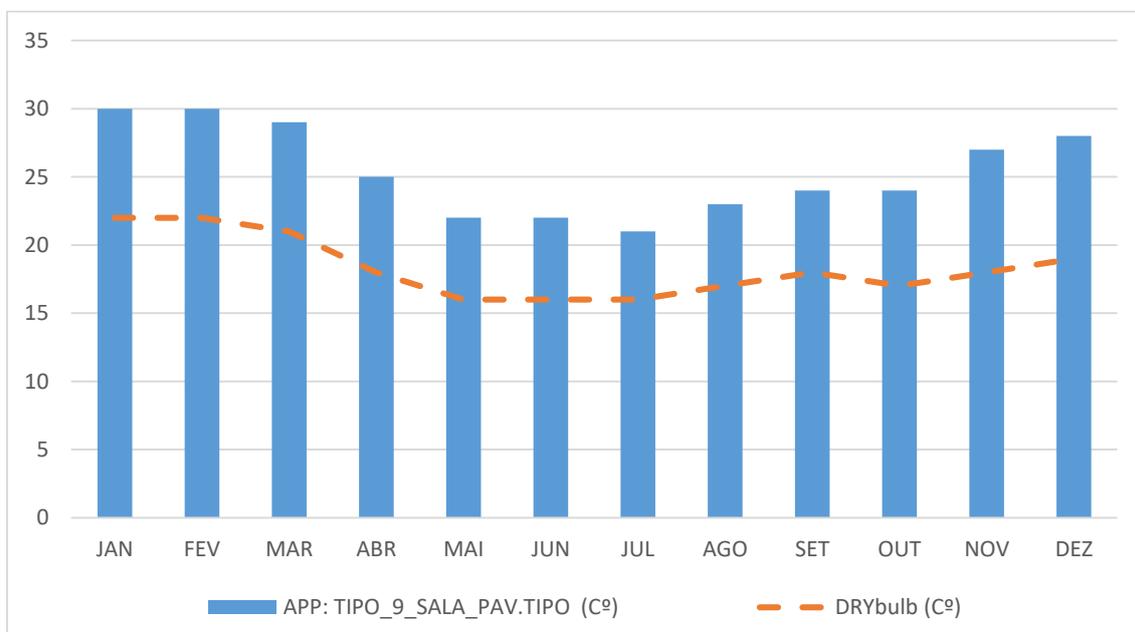
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 26 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: tipo 8 pav tipo (°) do modelo M.C.B-02



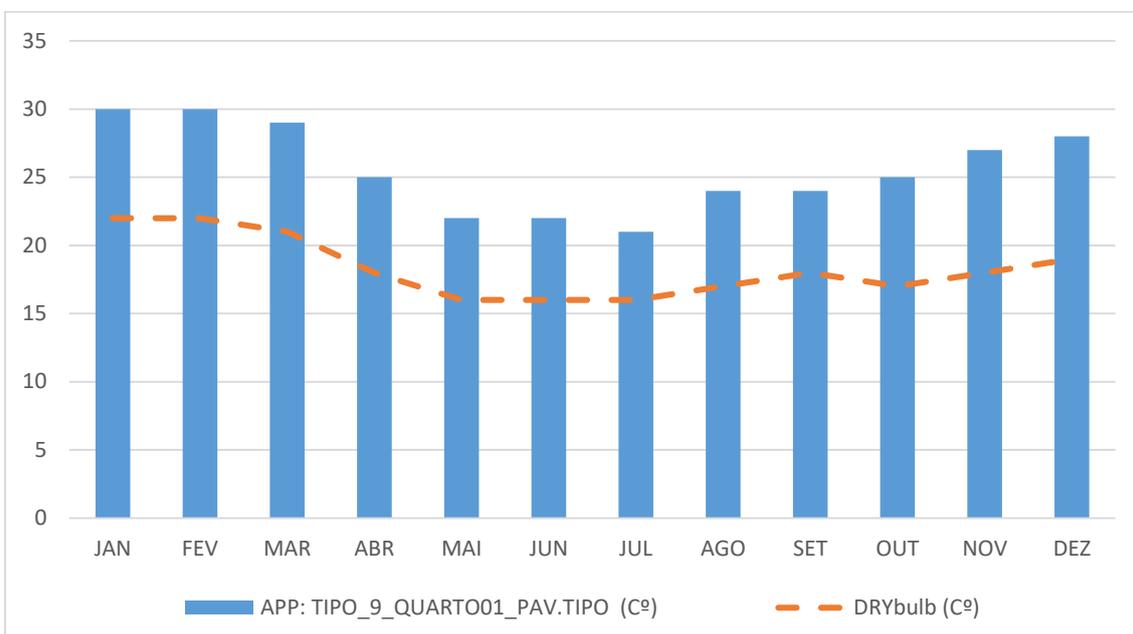
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 27 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: tipo 9 sala pav tipo (C°) do modelo M.C.B-02



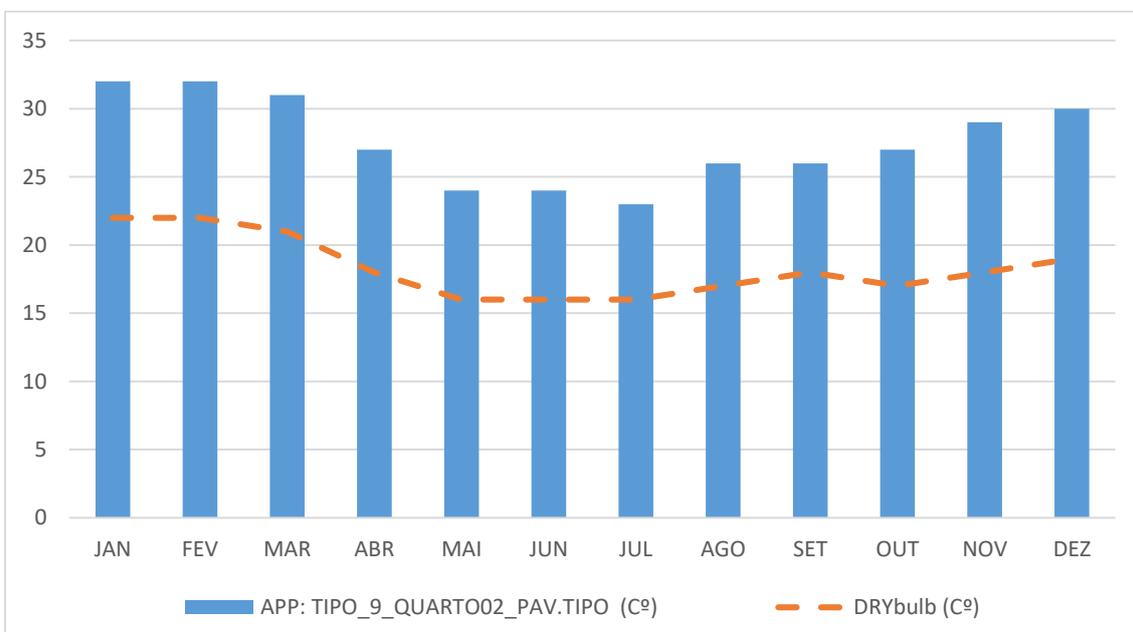
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 28 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP Tipo 9 quarto 01 pav.tipo (C°) do modelo M.C.B-02



Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 29 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: tipo 9 quarto 02 pav tipo (C°) do modelo M.C.B-02



Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Tabela 29 - Níveis de conforto térmico segundo o modelo adaptativo do modelo M.C.B-02

TIPOLOGIA	CONFORTO	DESCONFORTOTO
TÉRREO 01	99,86%	0,14%
TÉRREO02	92,55%	7,45%
TIPO 03	78,99%	20,94%
TIPO 04	78,63%	21,30%
TIPO 05	80,01%	19,92%
TIPO 06	84,84%	15,16%
TIPO 07	76,95%	22,99%
TIPO 08	65,14%	21,30%
SALA TIPO 09	65,14%	34,86%
QUARTO 01/09	77,26%	22,74%
QUARTO 02/09	68,00%	32,00%

Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

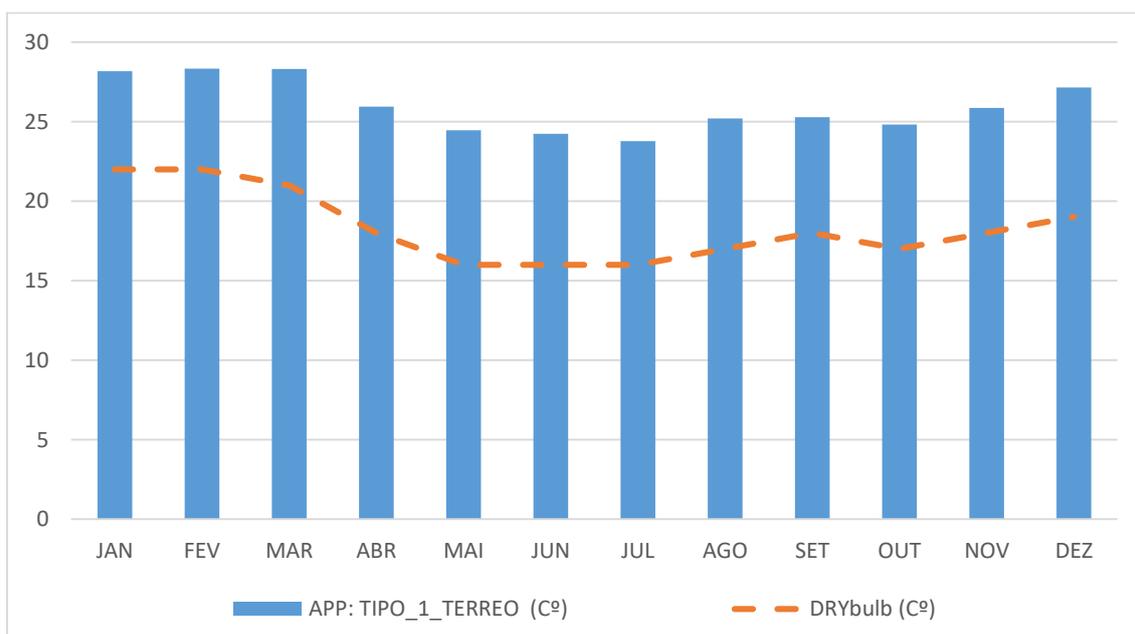
APENDICE 03 – DADOS DO MODELO CALIBRADO M.C.-01

Tabela 30 - Dados de saída do consumo de energia elétrica do modelo M.C.01

TIPOLOGIA	ILUMINAÇÃO (kWh) 0,54W/m ²	EQUIPAMENTOS (kWh) 37,94W	TOTAL (ANO) kWh	TOTAL (MÊS) kWh
TÉRREO 01	105,56	458,34	563,89	46,99
TÉRREO 02	100,00	455,56	555,56	46,30
TIPOLOGIA 03	238,89	1.305,29	1.544,18	128,68
TIPOLOGIA 04	241,67	1.275,01	1.516,68	126,39
TIPOLOGIA 05	230,56	1.297,23	1.527,79	127,32
TIPOLOGIA 06	180,56	1.247,23	1.427,79	118,98
TIPOLOGIA 07	183,33	1.250,01	1.433,34	119,45
TIPOLOGIA 08	319,45	1.916,68	2.236,13	186,34
TIPOLOGIA 09	136,11	1.022,23	1.158,34	96,53

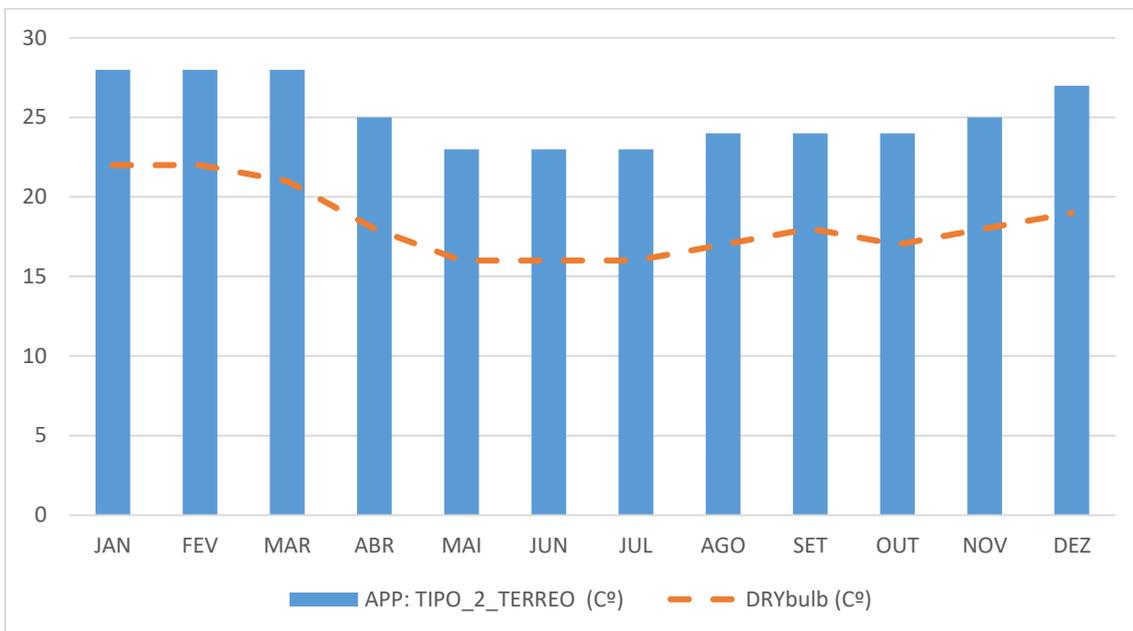
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 30 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_1_TERREO (C°) do modelo M.C.-01



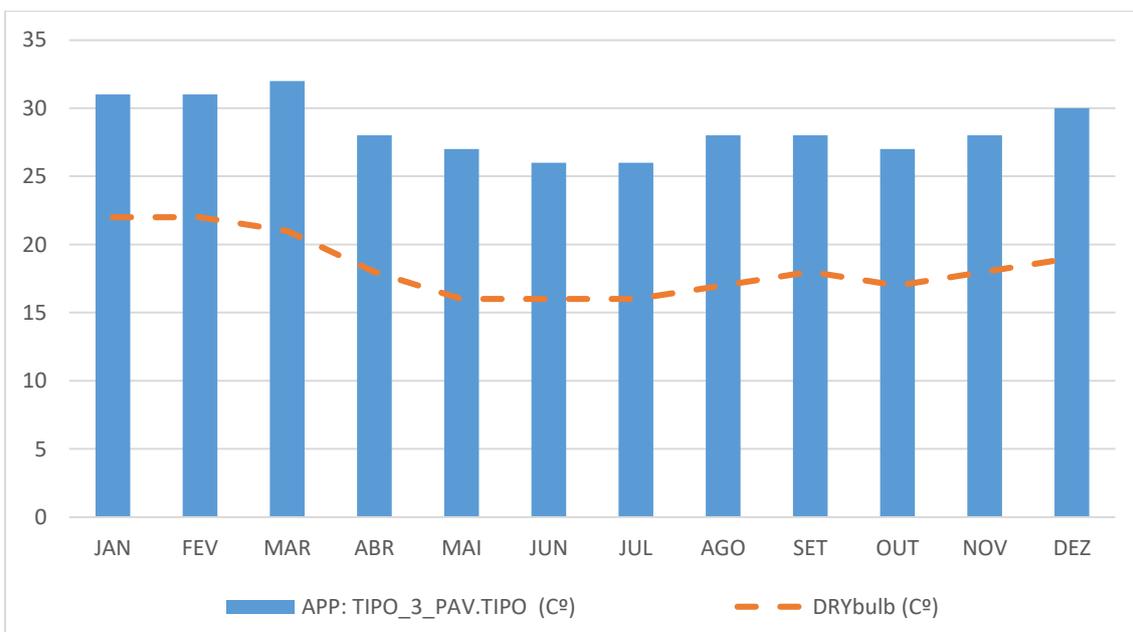
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 31 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_2_TERREO (C°) do modelo M.C.-01



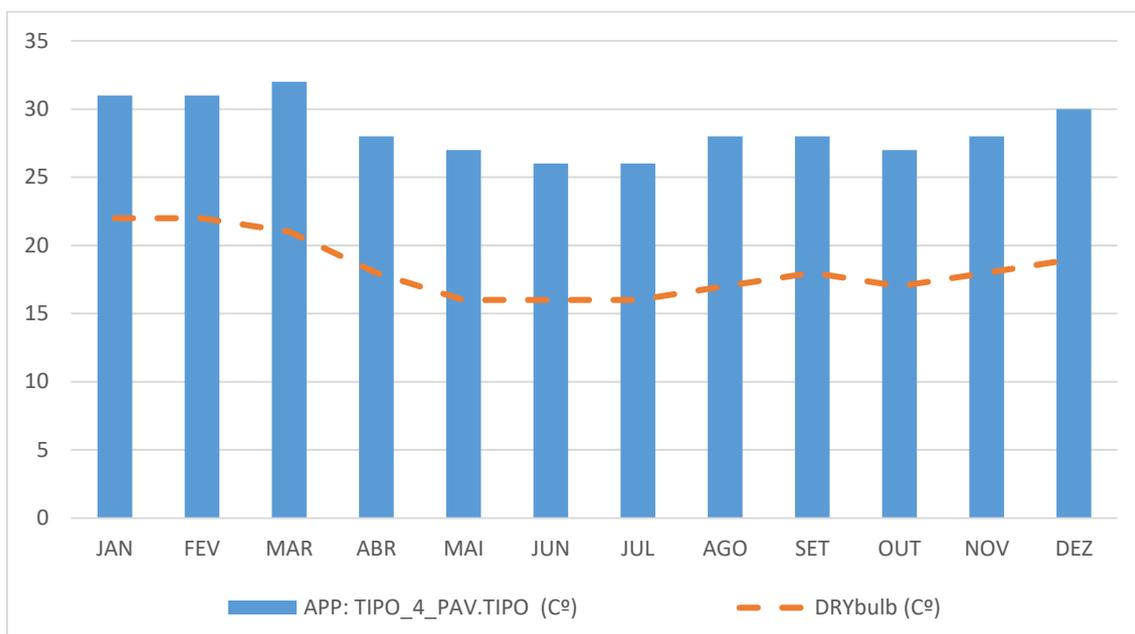
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 32 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_3_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-01



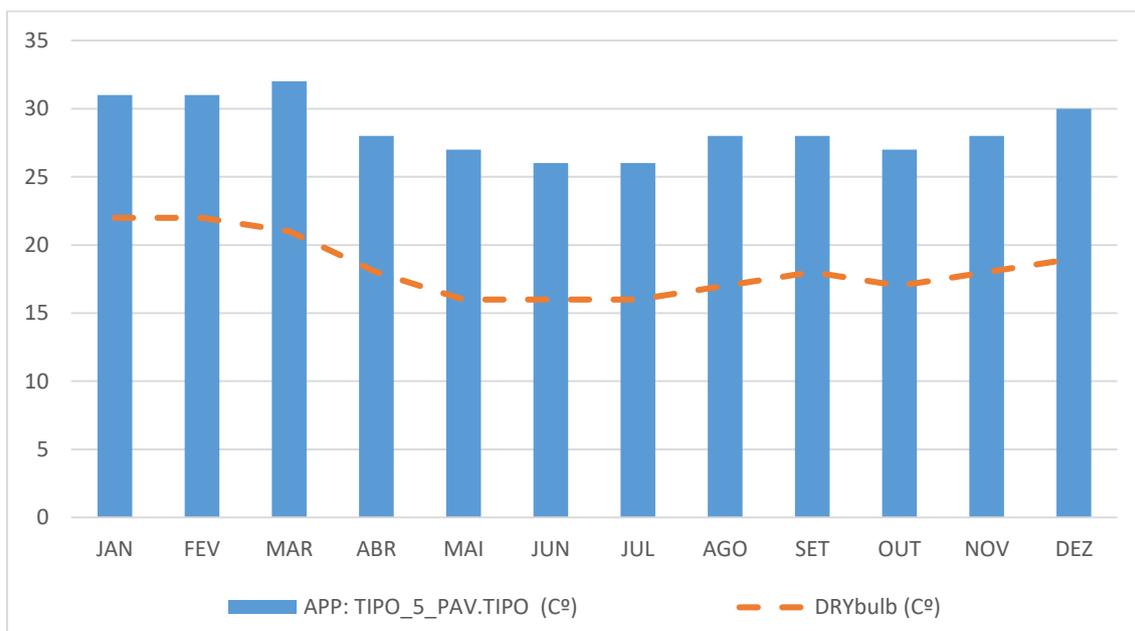
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 33 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_4_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-01



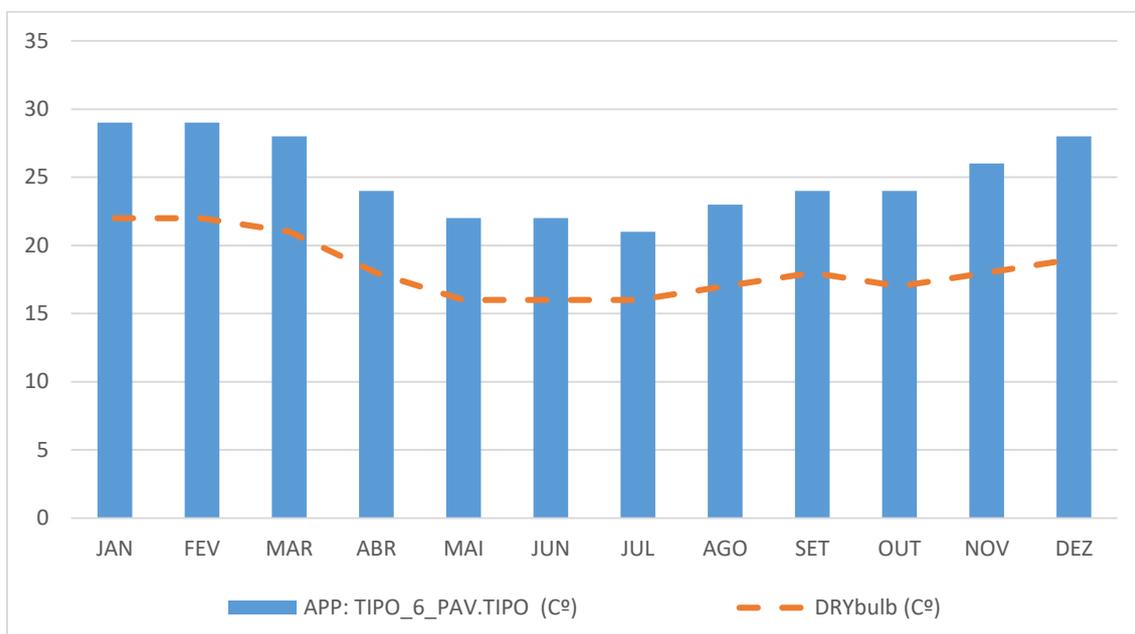
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 34 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_5_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-01



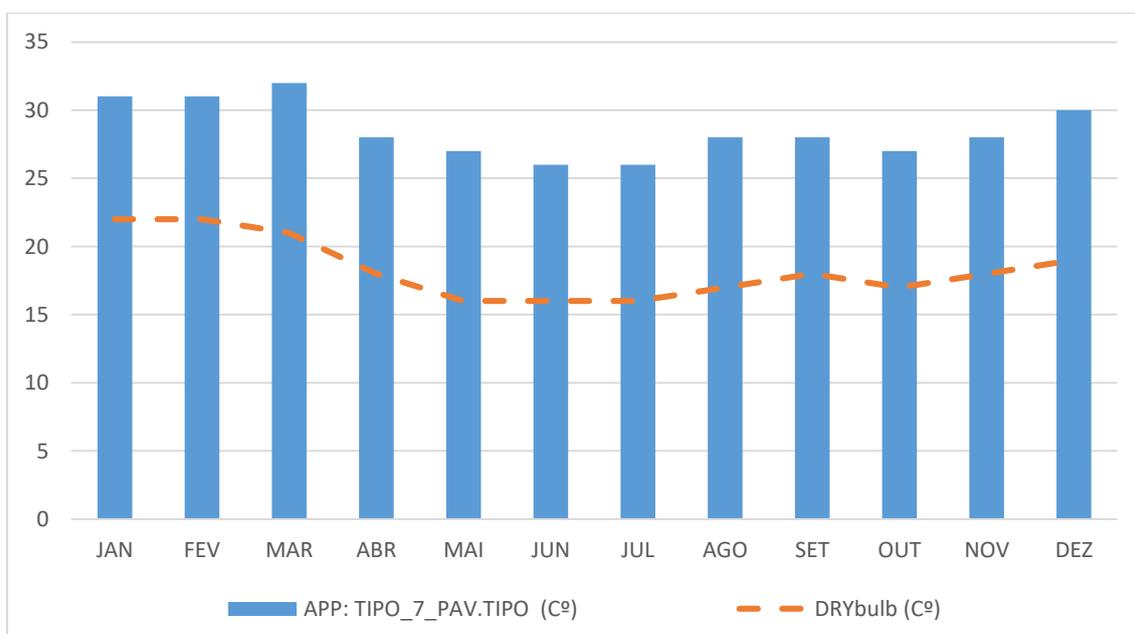
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 35 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_6_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-01



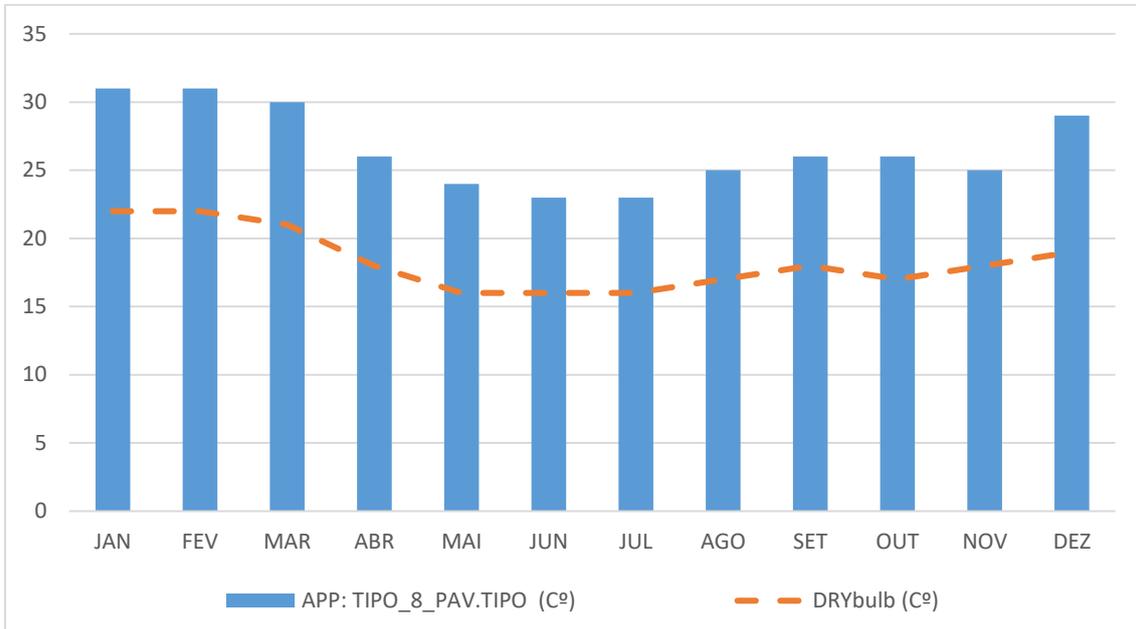
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 36 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_7_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-01



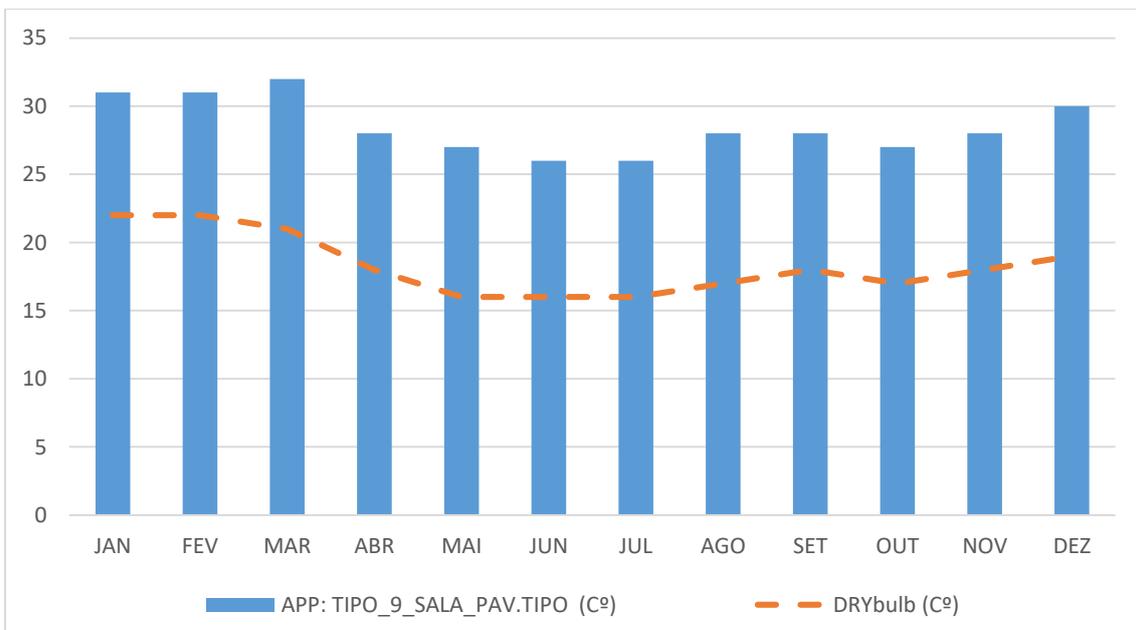
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 37 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: APP: TIPO_8_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-01



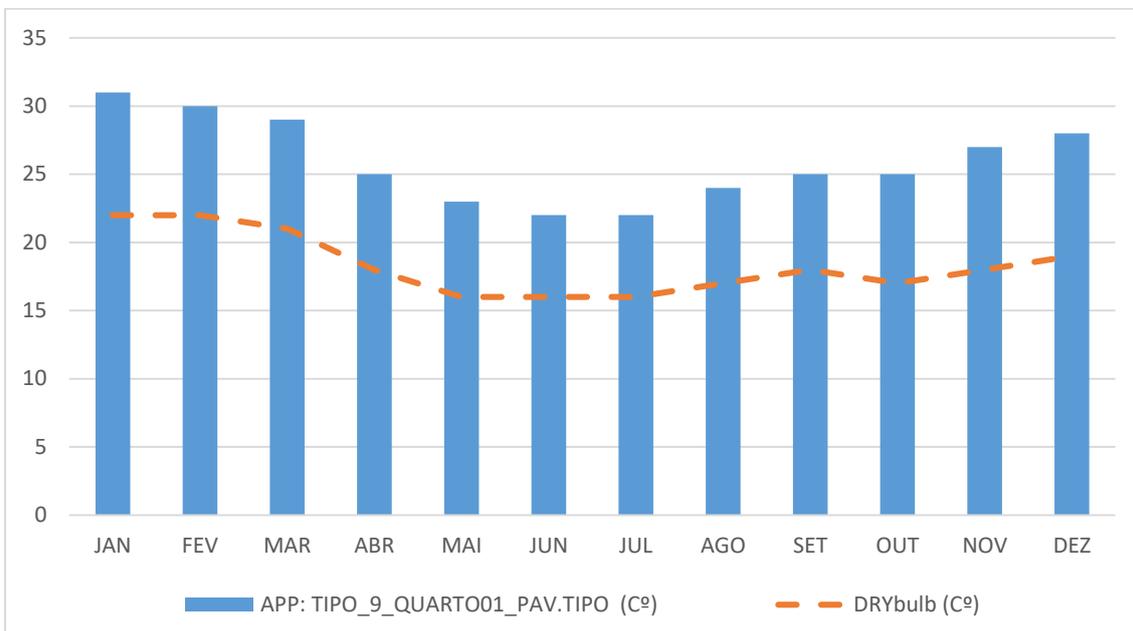
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 38 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_9_SALA_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-01



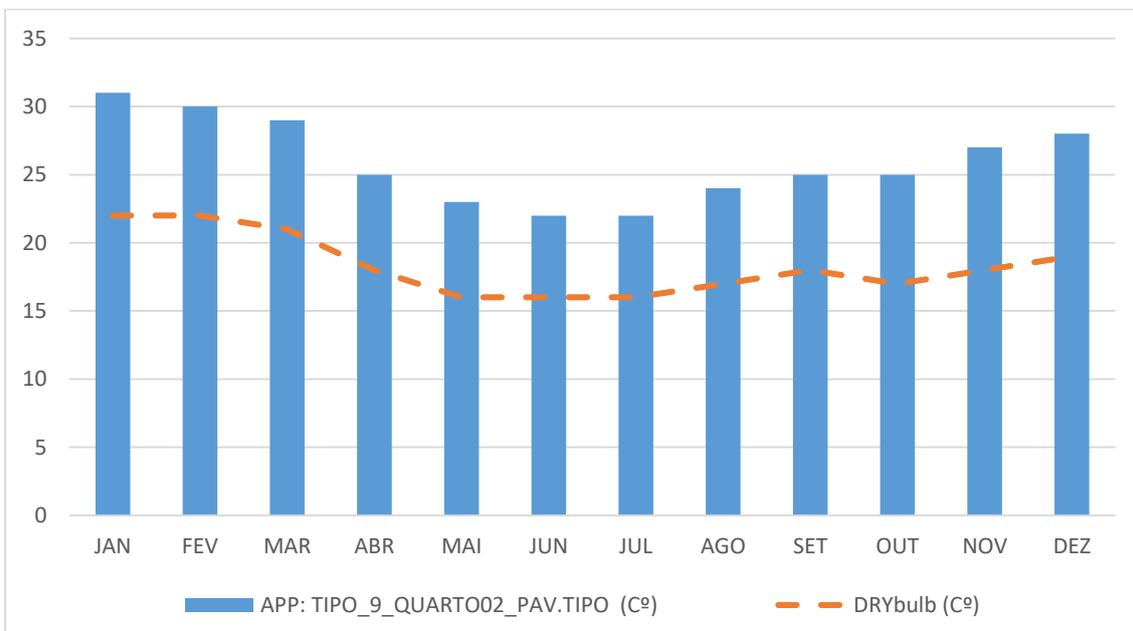
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 39 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP:
 TIPO_9_QUARTO01_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-01



Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 40 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP:
 TIPO_9_QUARTO02_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-01



Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Tabela 31 - Níveis de conforto térmico segundo o modelo adaptativo do modelo M.C.-01

TIPOLOGIA	CONFORTO	DESCONFORTOTO
TÉRREO 01	99,86%	0,14%
TÉRREO02	92,55%	7,45%
TIPO 03	78,99%	20,94%
TIPO 04	78,63%	21,30%
TIPO 05	80,01%	19,92%
TIPO 06	84,84%	15,16%
TIPO 07	76,95%	22,99%
TIPO 08	65,14%	21,30%
SALA TIPO 09	65,14%	34,86%
QUARTO 01/09	77,26%	22,74%
QUARTO 02/09	68,00%	32,00%

Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

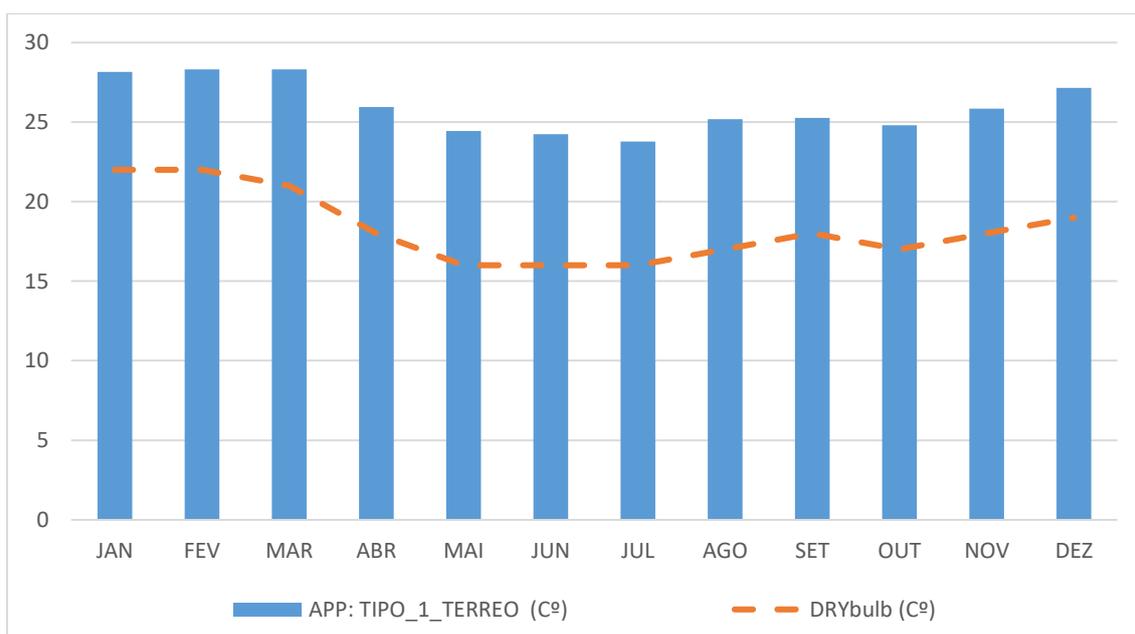
APENDICE 04 – DADOS DO MODELO CALIBRADO M.C.-02

Tabela 32 - Dados de saída do consumo de energia elétrica do modelo M.C.-02

TIPOLOGIA	ILUMINAÇÃO (kWh) 0,54W/m ²	EQUIPAMENTOS (kWh) 37,94W	TOTAL (ANO) kWh	TOTAL (MÊS) kWh
TÉRREO 01	105,56	458,34	563,89	46,99
TÉRREO 02	100,00	455,56	555,56	46,30
TIPOLOGIA 03	238,89	1.305,29	1.544,18	128,68
TIPOLOGIA 04	241,67	1.275,01	1.516,68	126,39
TIPOLOGIA 05	230,56	1.297,23	1.527,79	127,32
TIPOLOGIA 06	180,56	1.247,23	1.427,79	118,98
TIPOLOGIA 07	183,33	1.250,01	1.433,34	119,45
TIPOLOGIA 08	319,45	1.916,68	2.236,13	186,34
TIPOLOGIA 09	136,11	1.022,23	1.158,34	96,53

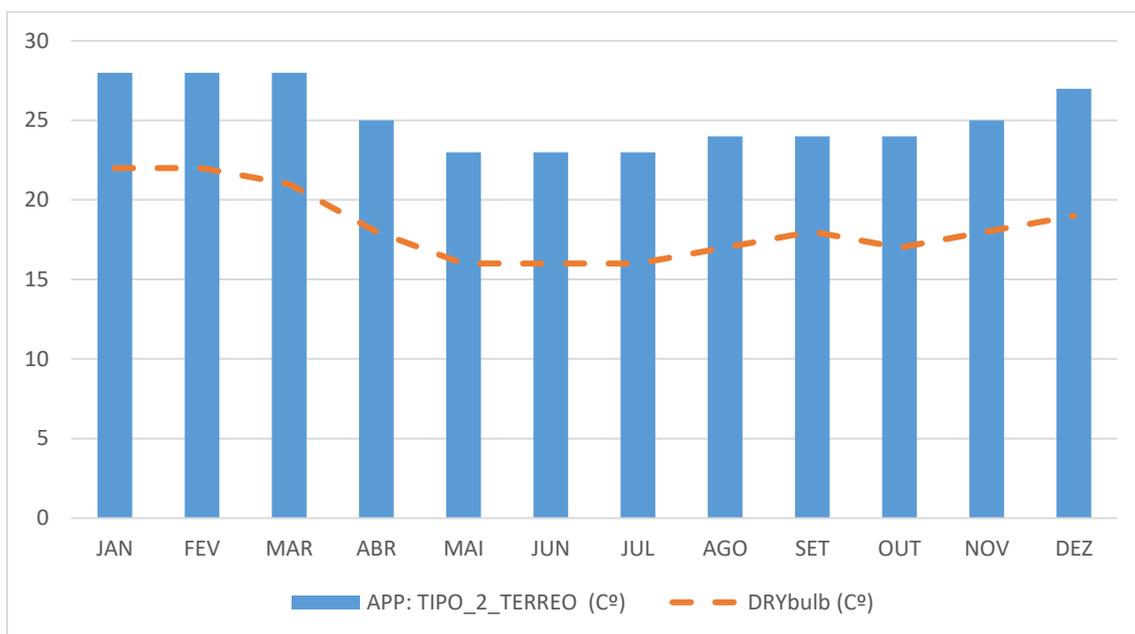
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 41 - relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_1_TERREO (C°) do modelo M.C.-02



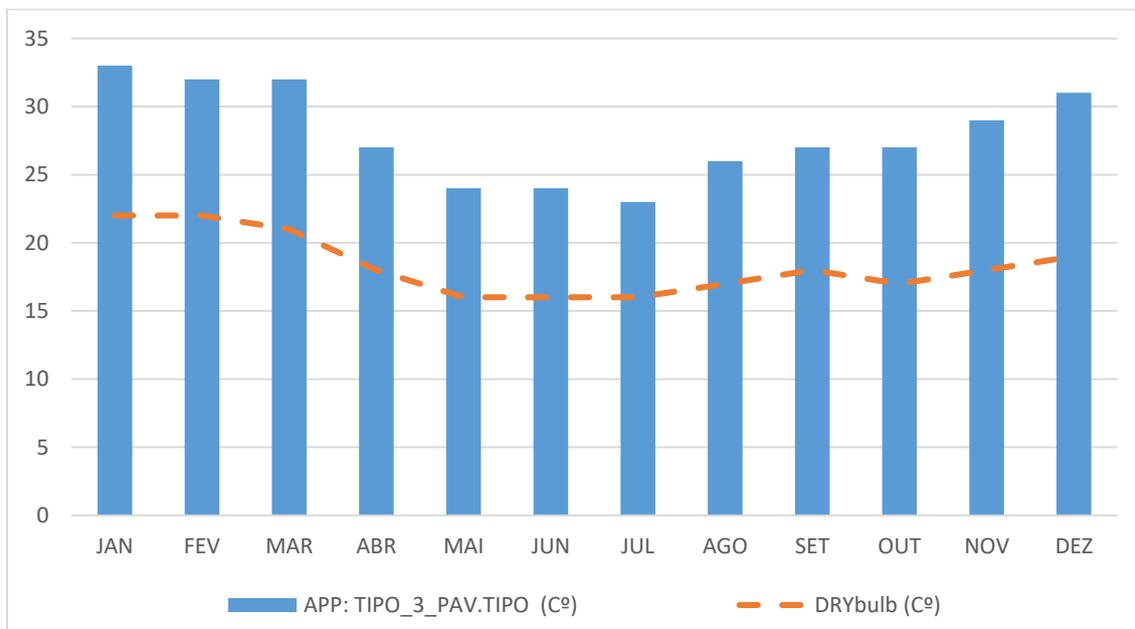
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 42 - relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_2_TERREO (C°) do modelo M.C.-02



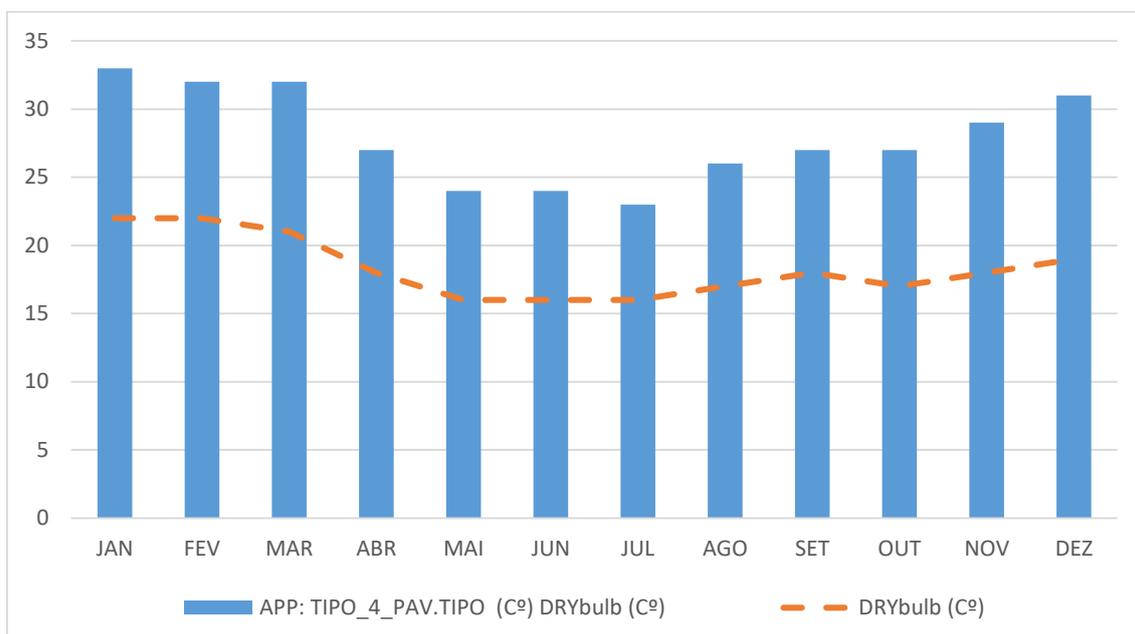
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 43 - relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_3_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-02



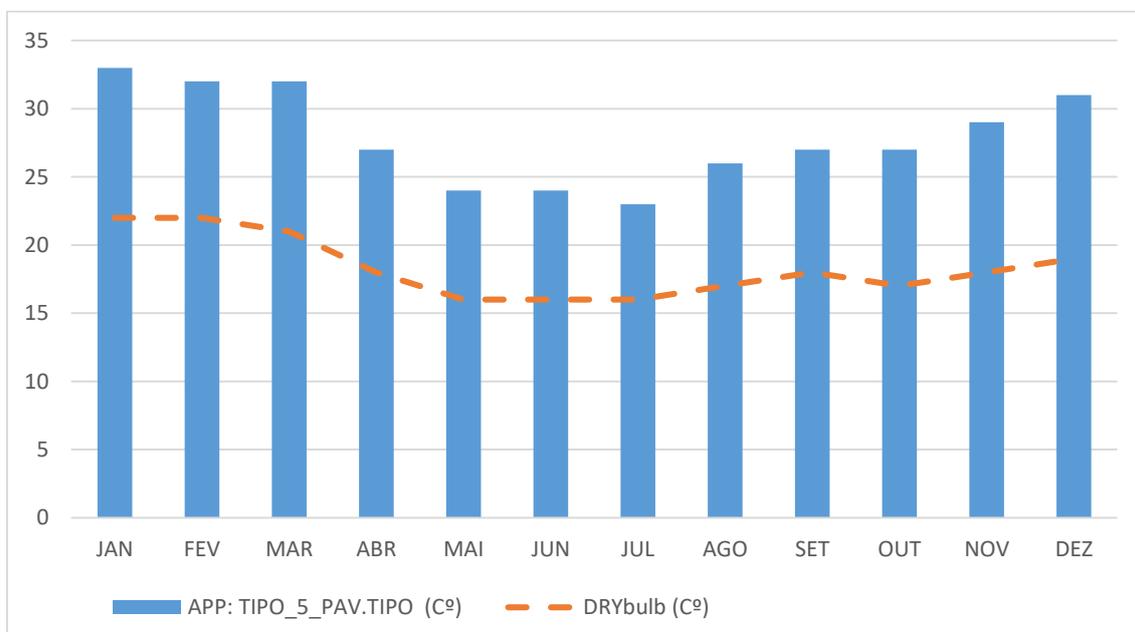
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 44 - relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_4_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-02



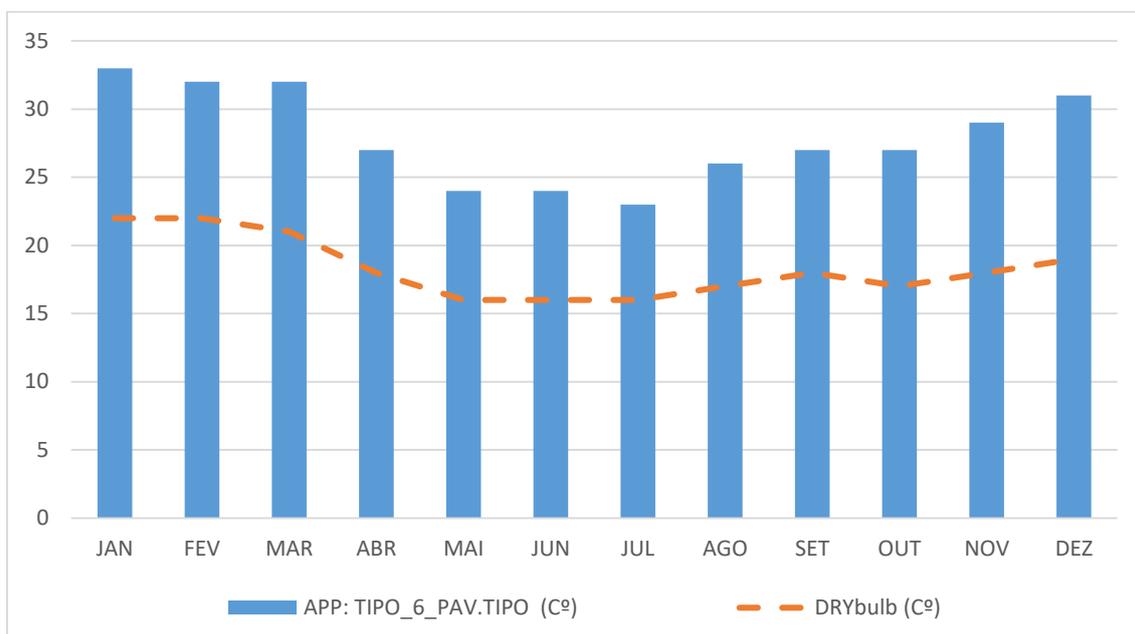
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 45 - relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_5_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-02



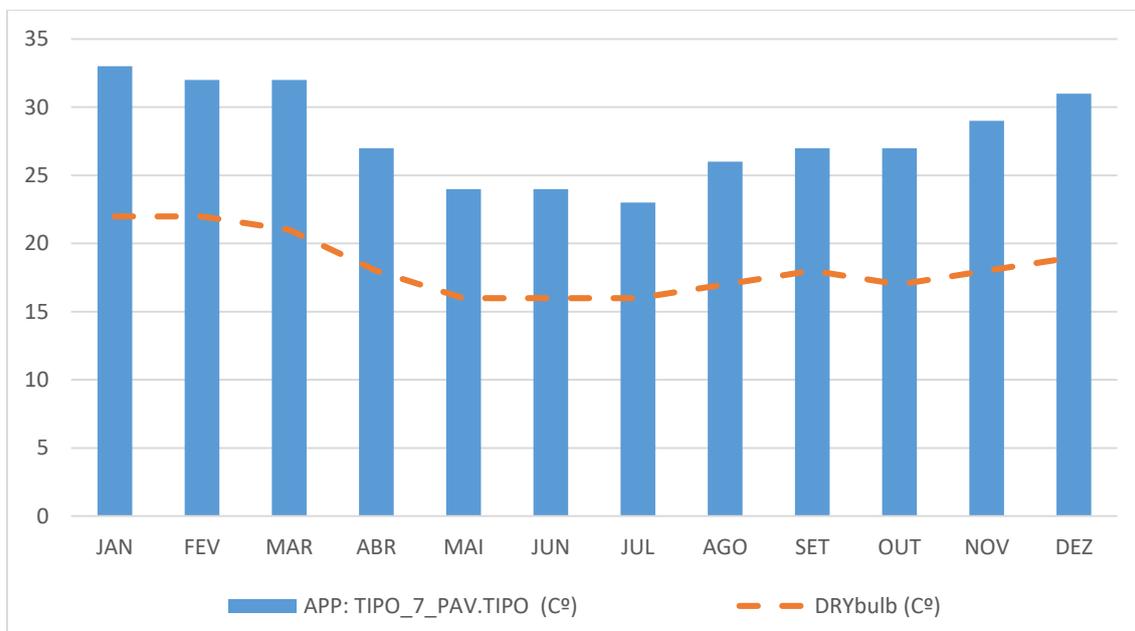
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 46 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_6_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-02



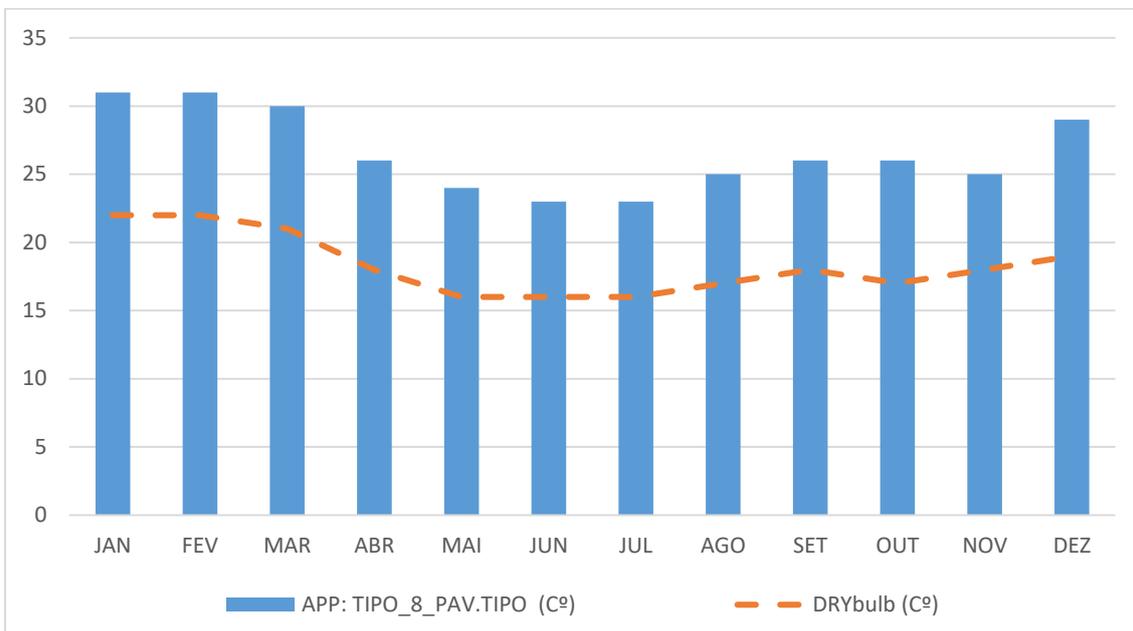
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 47 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_7_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-02



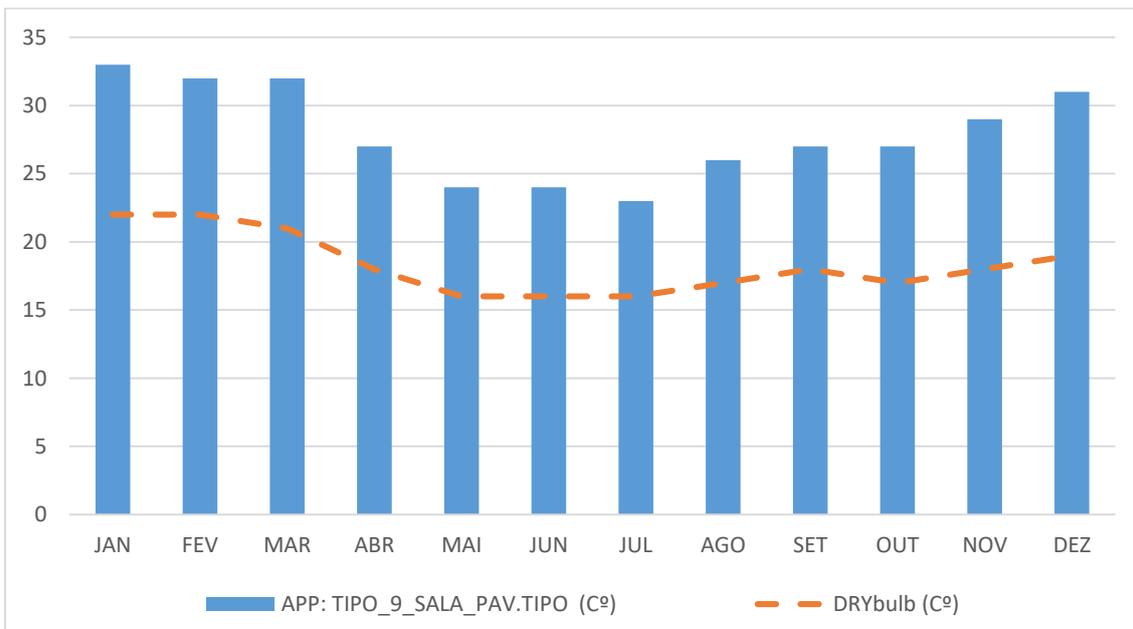
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 48 - relação entre temperaturas internas e externas do APP: APP: TIPO_8_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-02



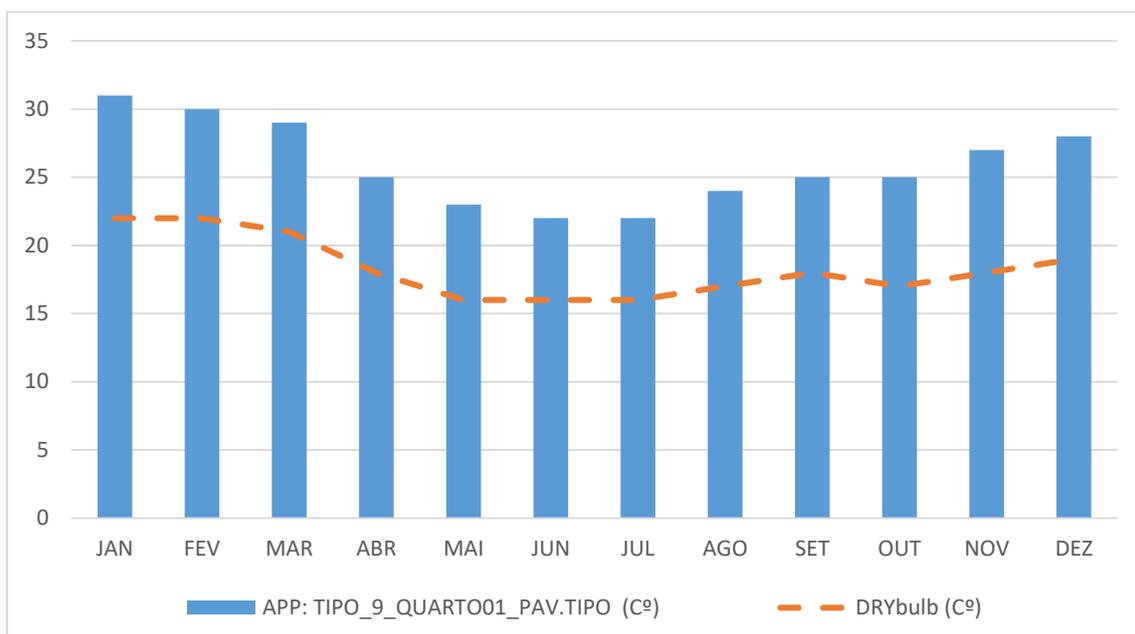
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 49 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_9_SALA_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-02



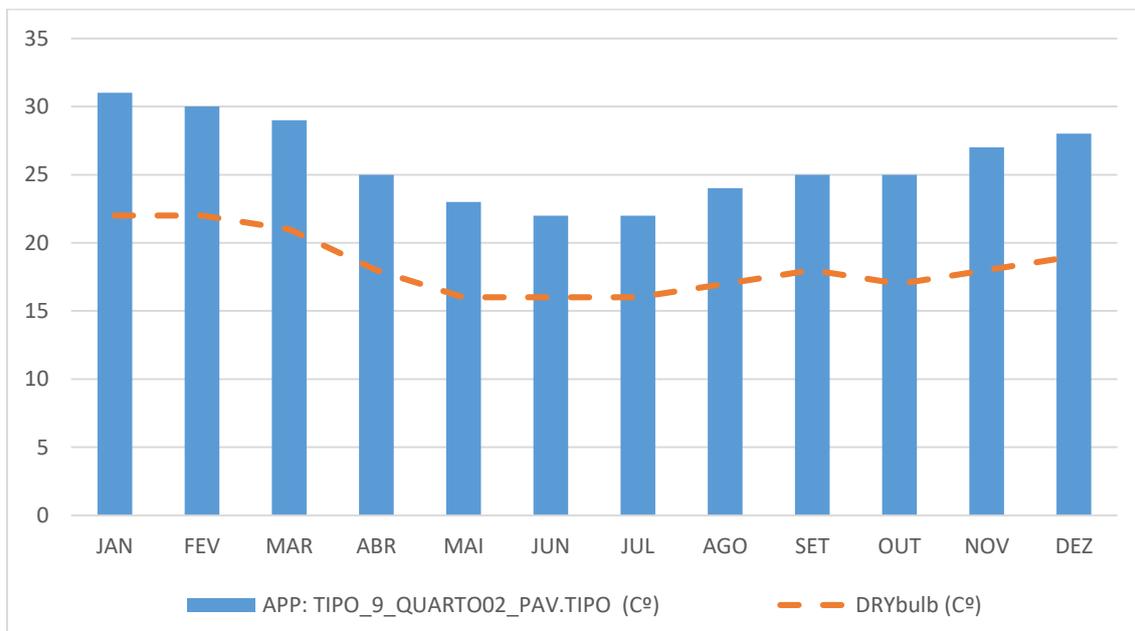
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 50 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP:
TIPO_9_QUARTO01_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-02



Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 51 - relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_9_QUARTO02_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-02



Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Tabela 33 - Níveis de conforto térmico segundo o modelo adaptativo do modelo M.C.-02

TIPOLOGIA	CONFORTO	DESCONFORTOTO
TÉRREO 01	99,86%	0,14%
TÉRREO02	92,55%	7,45%
TIPO 03	78,99%	20,94%
TIPO 04	78,63%	21,30%
TIPO 05	80,01%	19,92%
TIPO 06	84,84%	15,16%
TIPO 07	76,95%	22,99%
TIPO 08	65,14%	21,30%
SALA TIPO 09	65,14%	34,86%
QUARTO 01/09	77,26%	22,74%
QUARTO 02/09	68,00%	32,00%

Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

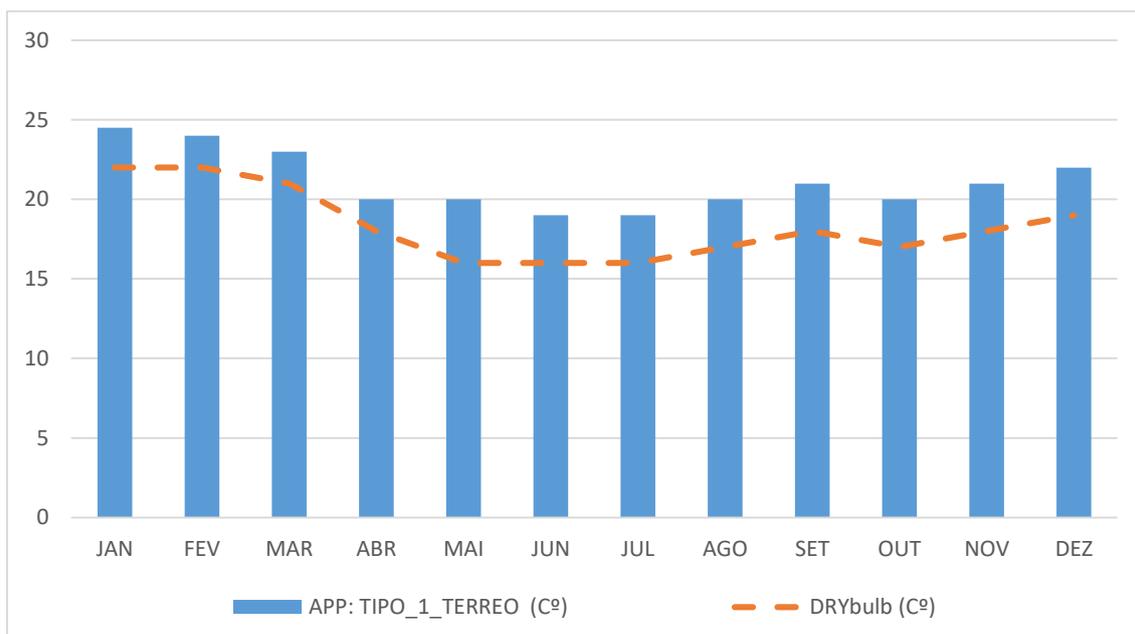
APENDICE 05 – DADOS DO MODELO CALIBRADO M.C.-03

Tabela 34 - Dados de saída do consumo de energia elétrica do modelo M.C.-03

TIPOLOGIA	ILUMINAÇÃO (kWh) 1,34W/m ²	EQUIPAMENTOS (kWh) 117,40w	TOTAL (ANO) kWh	TOTAL (MÊS) kWh
TÉRREO 01	216,67	1.333,34	1.550,01	129,17
TÉRREO 02	208,34	1.322,23	1.530,57	127,55

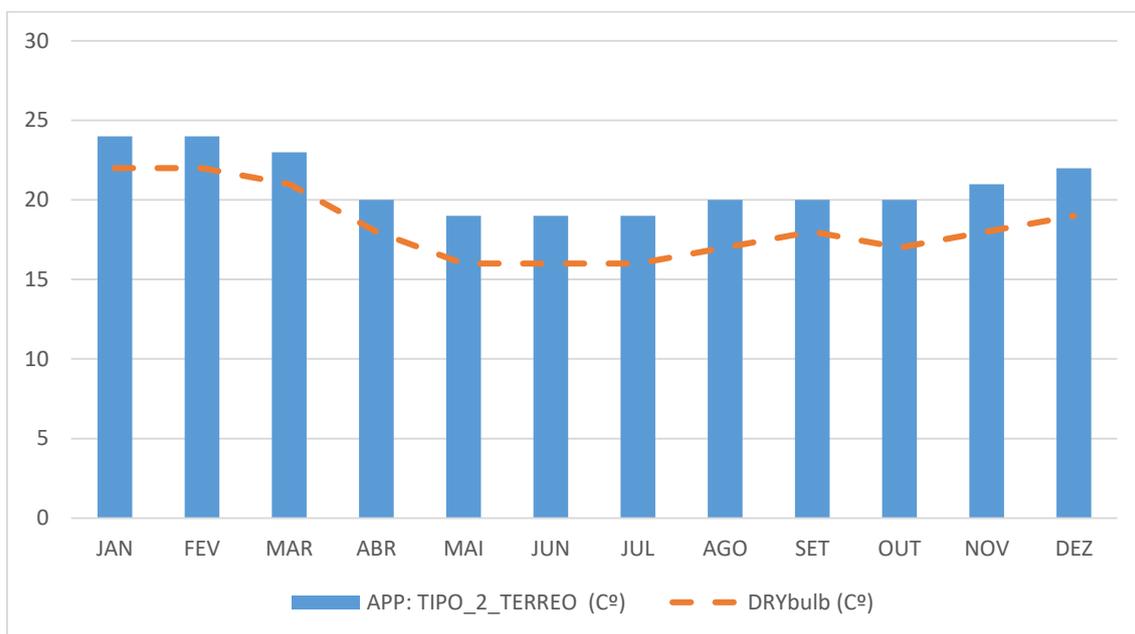
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 52 -relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_1_TERREO (Cº) do modelo M.C.-03



Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 53 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_2_TERREO (Cº) do modelo M.C.-03.



Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Tabela 35 - Níveis de conforto térmico segundo o modelo adaptativo do modelo M.C.-03

TIPOLOGIA	CONFORTO	DESCONFORTOTO
TÉRREO 01	99,86%	0,14%
TÉRREO02	92,55%	7,45%

Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

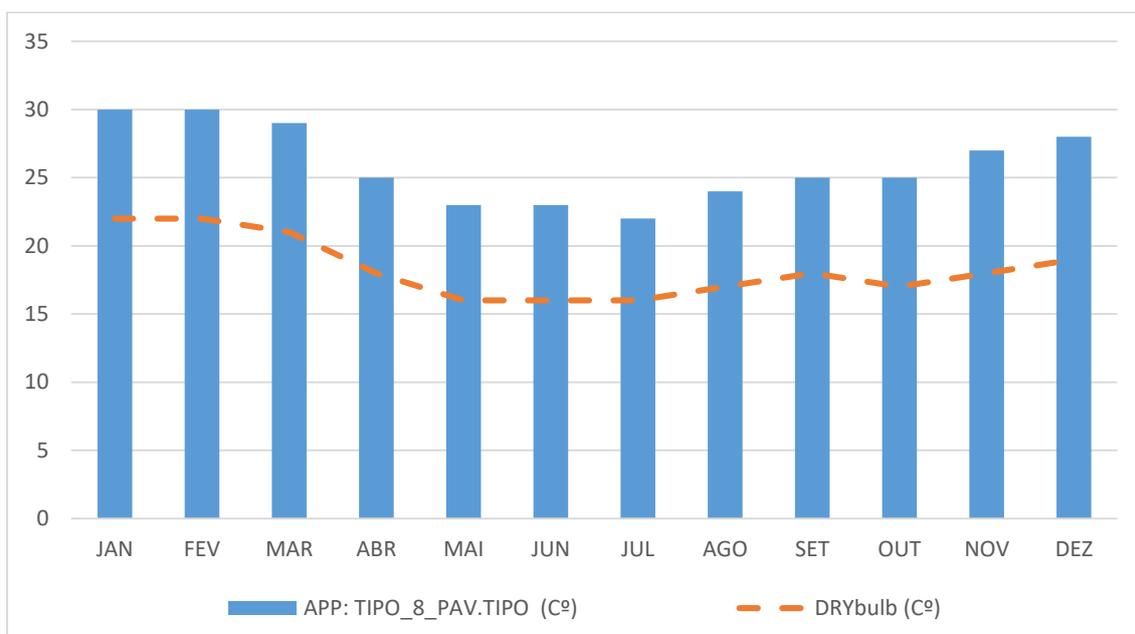
APENDICE 06 – DADOS DO MODELO CALIBRADO M.C.-04

Tabela 36 - Dados de saída do consumo de energia elétrica do modelo M.C. - 04

TIPOLOGIA	ILUMINAÇÃO (kWh) 0,48W/m ²	EQUIPAMENTOS (kWh) 42,63w	TOTAL (ANO) kWh	TOTAL (MÊS) kWh
TIPOLOGIA 08	222,22	1.433,34	1.655,57	137,96

Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 54 - relação entre temperaturas internas e externas do APP: APP: TIPO_8_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-04



Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Tabela 37 - Níveis de conforto térmico segundo o modelo adaptativo do modelo M.C.-04

TIPOLOGIA	CONFORTO	DESCONFORTOTO
TIPO 08	65,14%	21,30%

Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

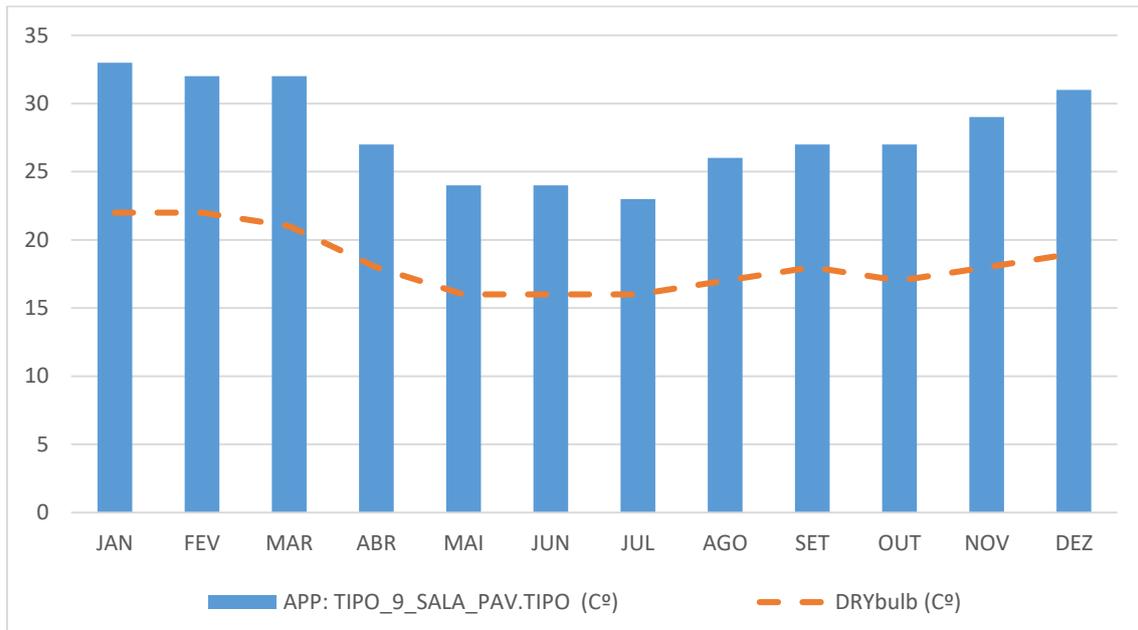
APENDICE 07 – DADOS DO MODELO CALIBRADO M.C.-05

Tabela 38 - Dados de saída do consumo de energia elétrica do modelo M.C. - 05

TIPOLOGIA	ILUMINAÇÃO (kWh) - 0,48W/m ²	EQUIPAMENTOS (kWh) – 42,63w	TOTAL (ANO) kWh	TOTAL (MÊS) kWh
TIPOLOGIA 09	222,22	1.433,34	1.655,57	137,96

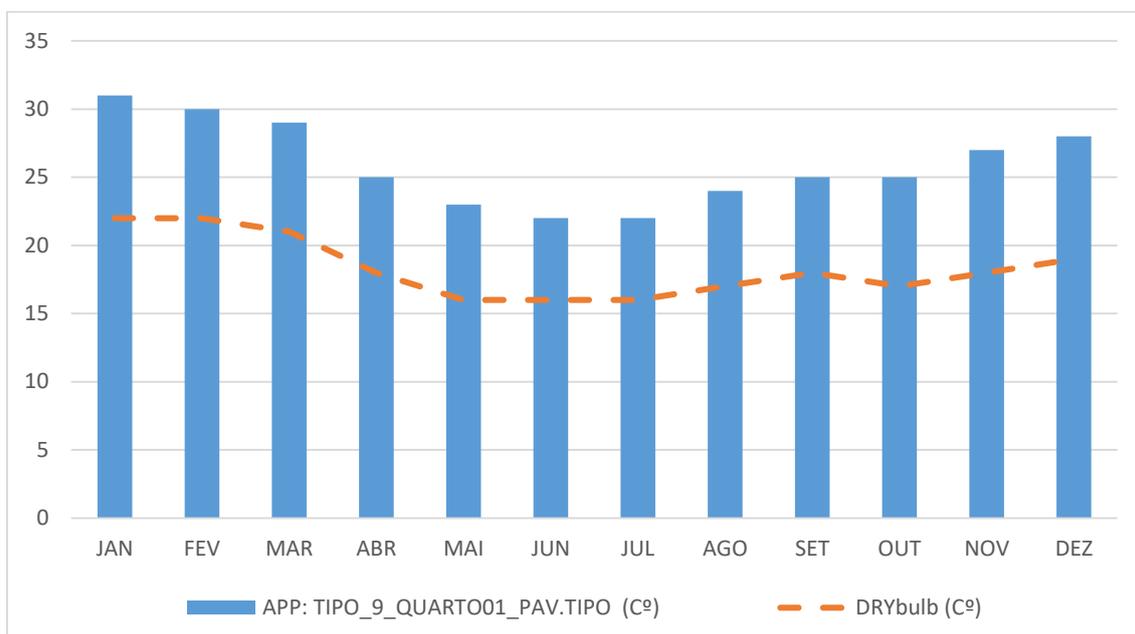
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 55 - relação entre temperaturas internas e externas do APP: TIPO_9_SALA_PAV.TIPO (C°)
do modelo M.C.-05



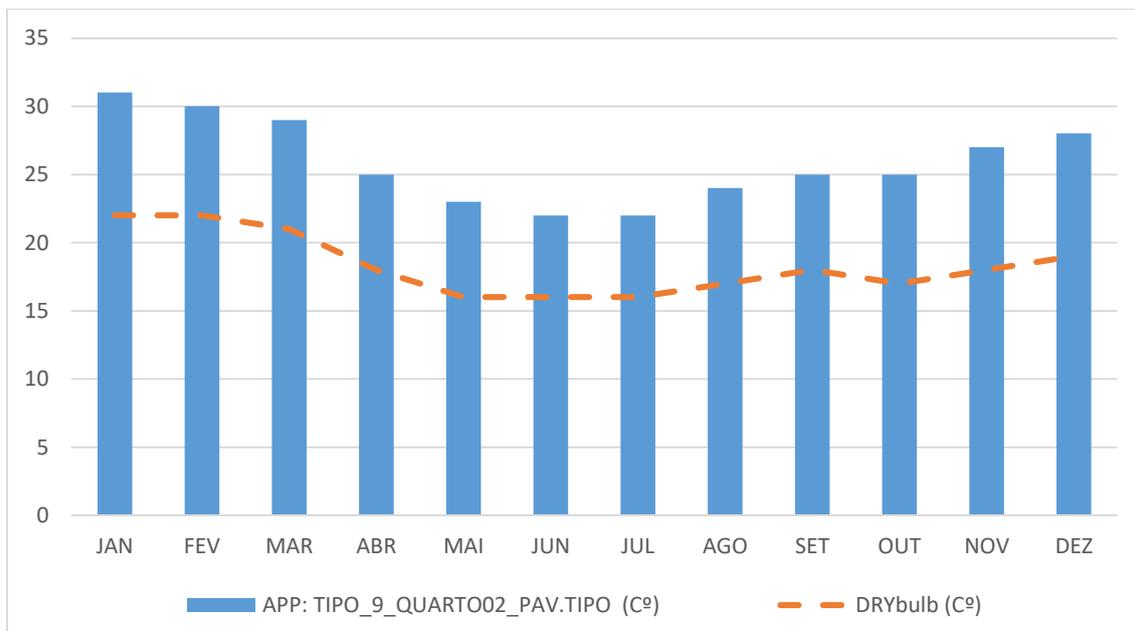
Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 56 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP:
 TIPO_9_QUARTO01_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-05



Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Gráfico 57 - Relação entre temperaturas internas e externas do APP:
 TIPO_9_QUARTO02_PAV.TIPO (C°) do modelo M.C.-05



Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)

Tabela 39 - Níveis de conforto térmico segundo o modelo adaptativo do modelo M.C.-05

TIPOLOGIA	CONFORTO	DESCONFORTOTO
SALA TIPO 09	65,14%	34,86%
QUARTO 01/09	77,26%	22,74%
QUARTO 02/09	68,00%	32,00%

Fonte: (elaborado pelo autor, 2023)