

**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

VINICIUS COSTALONGA CARNEIRO LEÃO

**DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL ASSISTIDO
POR PROGRAMA DE COMPUTADOR:
ESTUDO DE CASO PARA RIO DE JANEIRO/RJ, SÃO PAULO/SP E CUIABÁ/MT**

Niterói/RJ

2021

VINICIUS COSTALONGA CARNEIRO LEÃO

**DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL ASSISTIDO
POR PROGRAMA DE COMPUTADOR:
ESTUDO DE CASO PARA RIO DE JANEIRO/RJ, SÃO PAULO/SP E CUIABÁ/MT**

Projeto de conclusão de curso apresentado junto ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

Orientador:

Prof. Gilberto Figueiredo Pinto Filho, D.Sc.

Niterói/RJ

2021

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE
Gerada com informações fornecidas pelo autor

L433d Leão, Vinicius Costalonga Carneiro
Desempenho Térmico de Habitação de Interesse Social
Assistido por Programa de Computador : Estudo de Caso para o
Rio de Janeiro/RJ, São Paulo/SP e Cuiabá/MT / Vinicius
Costalonga Carneiro Leão ; Gilberto Figueiredo Pinto Filho,
orientador. Niterói, 2021.
110 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia
Civil)-Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia,
Niterói, 2021.

1. Desempenho Térmico. 2. Habitação de Interesse Social.
3. Conforto Térmico. 4. Eficiência Energética. 5.
Produção intelectual. I. Filho, Gilberto Figueiredo Pinto,
orientador. II. Universidade Federal Fluminense. Escola de
Engenharia. III. Título.

CDD -

VINICIUS COSTALONGA CARNEIRO LEÃO

**DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL ASSISTIDO
POR PROGRAMA DE COMPUTADOR:
ESTUDO DE CASO PARA RIO DE JANEIRO/RJ, SÃO PAULO/SP E CUIABÁ/MT**

Projeto de conclusão de curso apresentado junto ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

Aprovada em ____ de _____ de 2021

BANCA EXAMINADORA

Prof. Gilberto Figueiredo Pinto Filho, D.Sc.

Prof. Sérgio Luiz Braga França, D.Sc.

Prof. Wilson Teixeira, D.Sc.

Niterói/RJ

2021

DEDICATÓRIA

À minha família, pelo amor e apoio de sempre -em especial à minha mãe, Ana, o meu maior exemplo; aos meus afilhados, Pedro e Bárbara, que me inspiram a cada dia; e aos meus amigos, pelo incentivo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao meu orientador prof. Gilberto Figueiredo por acreditar no meu potencial, pela orientação acadêmica e por toda a atenção neste período.

À minha família: minha mãe, Ana, meu pai, Paulo, e minha irmã, Ana Paula, por todo o apoio, amor e compreensão durante a minha graduação.

Aos meus queridos afilhados Pedro e Bárbara, que me inspiram a ser cada dia melhor.

Aos meus amigos, pelo incentivo ao longo dos anos.

Aos meus colegas de universidade, pela parceria ao longo da graduação.

A todos os professores que tive ao longo da vida, que compartilharam seus conhecimentos e contribuíram para a pessoa que sou hoje.

À Universidade Federal Fluminense, minha segunda casa, pela excelência de ensino.

A todos os outros, que de alguma forma contribuíram para minha formação.

Obrigado, do fundo do meu coração.

ΕΠÍΓΡΑΦΕ

The universe is full of magical things patiently waiting for our wits to grow sharper. (Eden Phillpotts)

RESUMO

O governo federal criou diversos programas sociais com o objetivo de incentivar o acesso à casa própria pelas populações de classe E a C e combater o déficit habitacional. Os programas, em suma, representam parcerias entre o banco federal e as empresas de construção, que resultam em financiamentos acessíveis de habitações simples à população. Entretanto, com a finalidade de se tornar mais lucrativo para as empresas e mais acessível à população, alguns importantes componentes da construção são sacrificados, como por exemplo o revestimento e acabamento, além do emprego de materiais de baixa qualidade. Dessa forma, além do aparecimento de fissuras precoces na construção, gera um desempenho térmico ineficiente, que ocasiona em desconforto térmico para os habitantes e aumento de consumo de eletricidade. Neste cenário, este trabalho tem por finalidade criar um modelo computacional de habitação de interesse social verossímil ao real e simulá-lo energeticamente para três cidades: Rio de Janeiro/RJ, São Paulo/SP e Cuiabá/MT. Será utilizado um projeto real de casa popular e seu memorial descritivo será considerado como base para adereçar as propriedades dos elementos da edificação, e será considerado a ocupação de uma família de quatro indivíduos, assim como a utilização de equipamentos elétricos e iluminação pela mesma. Os principais resultados analisados serão: os papéis dos elementos construtivos para o balanço térmico da edificação, a quantificação do desconforto térmico dos habitantes e a conformidade ou não com o desempenho térmico estipulado pelas normas brasileiras.

Palavras-chave: Desempenho térmico, Habitação de interesse social, Conforto térmico, Eficiência energética.

ABSTRACT

The Brazilian Government has created several programs to further the access to home ownership by low-income population aiming to solve housing shortages. In short, the programs represent a partnership between the federal bank and constructions companies, that result in accessible loans of simple houses to the population. Nevertheless, in order to make it more profitable to the companies and affordable to the population, some significant features of the building are sacrificed, namely coating and finishing, and also the usage of poor-quality materials. It results not only in early-age cracks, but also in thermal inefficiency, that results in thermal discomfort to the inhabitants and the growth of electric consumption. In this scenario, this work aims to create a credible virtual model of a social housing project and run an energetic simulation for three cities: Rio de Janeiro/RJ, São Paulo/SP and Cuiabá/MT. A real social housing project will be used and its description will guide the materials and components inputs, and is set an occupation by a family of four members, as well as their usage of appliances and lighting. The key results to be analysed are: the role of the construction elements in the thermal balance of the building, the number of hours within the comfort zone by the inhabitants and the fulfillment of the thermal performance stipulated by the Brazilian standards.

Keywords: Thermal performance, Social housing, Thermal comfort, Energy efficiency.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	19
1.2	JUSTIFICATIVA.....	Erro! Indicador não definido.
1.3	HIPÓTESE	Erro! Indicador não definido.
1.4	OBJETIVOS	19
1.4.1	Objetivo geral	20
1.4.2	Objetivos específicos	20
1.5	METODOLOGIA	20
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1	CONSUMO E ENERGIA.....	22
2.1.1	Energia e desenvolvimento humano	22
2.1.2	Matriz energética e elétrica	24
2.1.3	Consumo de eletricidade.....	26
2.2	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	28
2.3	NORMATIZAÇÃO	31
2.4	CONFORTO TÉRMICO	34
2.4.1	Definições	34
2.4.2	Variáveis e índices do conforto térmico.....	36
2.5	PROPRIEDADES TÉRMICAS	41
2.5.1	Temperatura e calor.....	42
2.5.2	Componentes construtivos.....	42
2.5.3	Propriedades térmicas dos componentes construtivos	43
2.6	HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL	47
2.7	PLATAFORMAS DE SIMULAÇÃO	52
3	CRIAÇÃO DO MODELO	55
3.1	METODOLOGIA	56
3.1.1	Modelo padrão	56
3.1.2	Localização	57
3.1.3	Características físicas dos componentes construtivos	58
3.1.4	Cargas internas.....	67

3.1.5	Iluminação.....	68
3.1.6	Incidência solar.....	68
3.1.7	Ventilação natural.....	69
3.1.8	Data.....	69
4	RESULTADOS.....	70
4.1	RIO DE JANEIRO.....	70
4.2	SÃO PAULO.....	79
4.3	CUIABÁ.....	89
4.4	RESUMO.....	99
5	CONCLUSÕES.....	103
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	105
7	SUGESTÕES TRABALHOS FUTUROS.....	105
	REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Geração e consumo residencial de eletricidade	22
Figura 2 - Matriz energética no Brasil e no mundo.....	24
Figura 3 - Matriz elétrica no Brasil e no mundo	25
Figura 4 - Consumo de eletricidade por setor	27
Figura 5 - Papel dos eletrodomésticos no consumo.....	27
Figura 6 - Zoneamento bioclimático brasileiro.....	32
Figura 7 - Interação térmica Corpo-Ambiente	35
Figura 8 - Variáveis do conforto térmico.....	36
Figura 9 - Trajes e suas resistências térmicas	37
Figura 10 - Metabolismo das atividades físicas.....	37
Figura 11 - Carta Psicrométrica.....	38
Figura 12 - Carta bioclimática de Olgay	39
Figura 13 - Carta bioclimática de Givoni	40
Figura 14 - Gráfico PMV x PPD.....	41
Figura 15 - Condutividade térmica de alguns materiais	43
Figura 16 - Vila do IAPI em Porto Alegre	48
Figura 17 - Juros e subsídios PMCMV.....	50
Figura 18 - Déficit Habitacional	51
Figura 19 - Juros e subsídios PCVA	52
Figura 20 - Planta baixa da habitação modelo	57
Figura 21 - Cidades escolhidas	58
Figura 22 - Seção transversal da parede	59
Figura 23 - Fator U da parede padrão do projeto	59

Figura 24 - Fator U da parede 23 de Weber	60
Figura 25 - Camadas do telhado	61
Figura 26 - Fator U da cobertura padrão do projeto	61
Figura 27 - Fator U da NBR:ABNT 15220	62
Figura 28 - Planta de cobertura.....	62
Figura 29 - Seção transversal do piso.....	63
Figura 30 - Fator U do piso.....	64
Figura 31 – Características físicas e térmica da parede nº 27	64
Figura 32 - Fator U do vidro	65
Figura 33 - Diagrama de Glaser para a parede do modelo padrão	66
Figura 34 - Resumo dos valores de Fator U.....	67
Figura 35 - Cargas internas.....	68
Figura 36 - Características Meteorológicas da cidade do Rio de Janeiro	71
Figura 37 - Balanço térmico Rio de Janeiro	72
Figura 38 - Balanço térmico anual Rio de Janeiro.....	73
Figura 39 - Incidência solar Rio de Janeiro	74
Figura 40 - Conforto térmico Rio de Janeiro.....	76
Figura 41 - PMV de Fanger por hora Rio de Janeiro.....	77
Figura 42 - Balanço térmico dias críticos Rio de Janeiro	78
Figura 43 - Desconforto por cômodo Rio de Janeiro.....	79
Figura 44 - Características Meteorológicas da cidade de São Paulo	80
Figura 45 - Balanço térmico São Paulo.....	82
Figura 46 - Balanço térmico anual São Paulo	83
Figura 47 - Incidência solar São Paulo.....	84
Figura 48 - Conforto térmico São Paulo	86

Figura 49 - PMV de Fanger por hora São Paulo	87
Figura 50 - Balanços térmicos dias críticos São Paulo	88
Figura 51 - Desconforto por cômodo São Paulo	89
Figura 52 - Características meteorológicas da cidade de Cuiabá	91
Figura 53 – Balanço térmico Cuiabá	92
Figura 54 - Balanço térmico anual Cuiabá	93
Figura 55 - Incidência solar Cuiabá	94
Figura 56 - Conforto térmico Cuiabá	96
Figura 57 - PMV de Fanger Cuiabá.....	97
Figura 58 - Balanços térmicos dias críticos Cuiabá.....	98
Figura 59 - Desconforto por cômodo Cuiabá.....	99
Figura 60 - Resumo do desconforto para as três cidades.....	100
Figura 61 - Critério de desempenho térmico para o verão	100
Figura 62 - Critério de desempenho térmico para o inverno	100
Figura 63 - Resumo desempenho térmico	101
Figura 64 - Resultado desempenho térmico.....	101
Figura 65 – Etapas para avaliação de desempenho térmico	103

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Balanço térmico do corpo humano.....	34
Equação 2 - Resistência térmica.....	44
Equação 3 - Transmitância térmica.....	44
Equação 4 - Capacidade térmica	45
Equação 5 - Soma da absorvidade, refletividade e transmissividade.....	46
Equação 6 - Atraso térmico.....	47

LISTA DE SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	- Norma Brasileira
ASHRAE	- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
PMCMV	- Programa Minha Casa Minha Vida
PCVA	- Programa Casa Verde Amarela
PIB	- Produto Interno Bruto
PMV	- Predicted Mean Vote
PPD	- Predicted Percentage of Dissatisfaction
IAPI	- Instituto de Aposentadoria e Pensões dos Industriários
EPE	- Empresa de Pesquisa Energética
PROCEL	- Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PBE	- Programa Brasileiro de Etiquetagem
ENCE	- Escola Nacional de Ciências Estatísticas
INMETRO	- Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LabEEE	- Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
UFSC	- Universidade Federal de Santa Catarina
ISO	- International Organisation for Standardisation
SED	- Síndrome do Edifício Doente
COHAB	- Companhia Estadual e Habitação
BNH	- Banco Nacional de Habitação
HIS	- Habitação de Interesse Social
FGTS	- Fundo de Garantia por Tempo de Serviço
DOE	- Department of Energy
LEED	- Leadership in Energy and Environmental Design
GIDUR	- Gerência de Desenvolvimento Urbano
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia
SWERA	- Solar and Wind Energy Resource Assessment
CIBSE	- Chartered Institution of Building Services Engineers
NCM	- National Calculation Method
CIE	- Comissão Internacional de Iluminação

LISTA DE SÍMBOLOS

T	- Temperatura
ΔT	- Variação de temperatura
α	- Absortividade
ρ	- Reflexibilidade
τ	- Transmissividade
φ	- Atraso térmico
λ, k	- Condutividade térmica
R	- Resistência térmica
R_T	- Resistência térmica total
U	- Transmitância térmica
U_T	- Transmitância térmica total
C	- Capacidade térmica
C_T	- Capacidade térmica total
e, L	- Espessura
Q	- Quantidade de calor
c	- Calor específico
VP	- Pressão de vapor
TRM	- Temperatura radiante média
UR	- Umidade relativa
V	- Velocidade do ar
MET	- Taxa metabólica
I_{clo}	- Índice de vestimenta
M	- Metabolismo
C_v	- Convecção
R	- Radiação
C_d	- Condução
E	- Evaporação
ΔS	- Variação de calor
T_i	- Temperatura interna
T_e	- Temperatura externa

LISTA DE UNIDADES

%	- Porcentagem
W	- Watts
s	- Segundos
h	- Horas
°C	- Graus Celsius
K	- Kelvins
J	- Joules
m	- Metros
cm	- Centímetros
mm	- Milímetros
m ²	- Metros quadrados
kg	- Quilogramas
Pa	- Pascals
Lux	- Luxs
°	- Graus

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A fim de se mitigar o déficit habitacional do Brasil, o governo federal lançou programas que visam facilitar o financiamento de casas para a população de classe baixa e média, e ao longo da última década, empreiteiras construíram milhões de unidades de habitações para atender essa nova demanda. Entretanto, a ocorrência de vícios construtivos causados pela má execução dessas unidades se tornou habitual, principalmente no que concerne a materiais de baixa qualidade e acabamento precário. Assim, se cria uma discrepância entre a edificação no projeto e a edificação construída que afeta diretamente o desempenho da mesma e, conseqüentemente, o conforto de seus habitantes.

1.2 FORMULAÇÃO DA SITUAÇÃO PROBLEMA

O conforto térmico além de proporcionar bem estar físico e subjetivo, afeta diretamente a forma que o usuário da habitação consome energia elétrica. Dessa forma, quanto mais apropriada for a habitação e quanto mais horas de conforto ela garantir, menos custos com climatização serão alocados.

No cenário das habitações de interesse social destinadas às camadas menos favorecidas da sociedade, a situação pode ser ainda mais agravante devido à dificuldade de se alocar recursos para aclimatar a residência e garantir o conforto térmico em sua maior parte do tempo.

Com base na situação supracitada, a razão da pesquisa está relacionada com a seguinte questão: como investigar o desempenho energético das habitações de interesse social e analisar seus resultados durante um ano típico, a fim de qualificar e quantificar suas possíveis carências?

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral e os objetivos específicos são descritos abaixo.

1.3.1 Objetivo geral

Objetivo geral desse trabalho é simular energeticamente uma habitação unifamiliar popular por meio de programa computacional e avaliar o seu desempenho térmico.

Para tanto, foram definidos objetivos específicos mostrados a seguir.

1.3.2 Objetivos específicos

- Adotar um projeto usual de habitação que condiz com a realidade brasileira.
- Adotar uma localização para o projeto, assim como adereçar corretamente seus dados bioclimáticos.
- Levantar as propriedades físicas dos sistemas construtivos de vedação e revestimento da habitação.
- Transportar as informações para o programa de computacional e comparar os valores obtidos com referências normativas e de outras literaturas.
- Definir as cargas térmicas internas da habitação
- Simular energeticamente o modelo
- Analisar e criticar os resultados obtidos
- Propor método para a avaliação do desempenho térmico em habitações de interesse social

1.4 METODOLOGIA

Foi criado um modelo em ambiente de programa de computador com base em um projeto real de habitação de interesse social. Suas características físicas, condições meteorológicas das localizações e padrão de utilização foram reproduzidas a fim de se criar um modelo condizente com a realidade.

Os componentes construtivos foram definidos em termos de suas características físicas e propriedades térmicas. Depois, esses valores foram

comparados com outras bibliografias a fim de se reproduzir as características construtivas que constam no memorial descritivo da habitação.

As caracterizações dos climas das localidades foram reproduzidas com base em dados históricos de cada região. Também foi calculada a ventilação natural com base nas aberturas (portas e janelas) e na diferença de pressão entre o meio externo e o interior da casa.

O modelo de ocupação representa uma família de quatro membros, assim como sua rotina de utilização de equipamentos elétricos e iluminação. Neste trabalho não foram dimensionados sistemas de condicionamento e aquecimento de ar, nem de sistema de aquecimento de água.

Feito isso, a habitação foi simulada para diferentes regiões e seu desempenho térmico e capacidade de oferecer conforto térmico aos habitantes foram analisados.

Dessa forma, este trabalho se trata de uma pesquisa exploratória, a fim de se quantificar o desempenho térmico de uma habitação de interesse social por meio de simulação computacional. Para isso, foram consultadas documentações indiretas como base de dados para a criação do modelo computacional.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONSUMO E ENERGIA

2.1.1 Energia e desenvolvimento humano

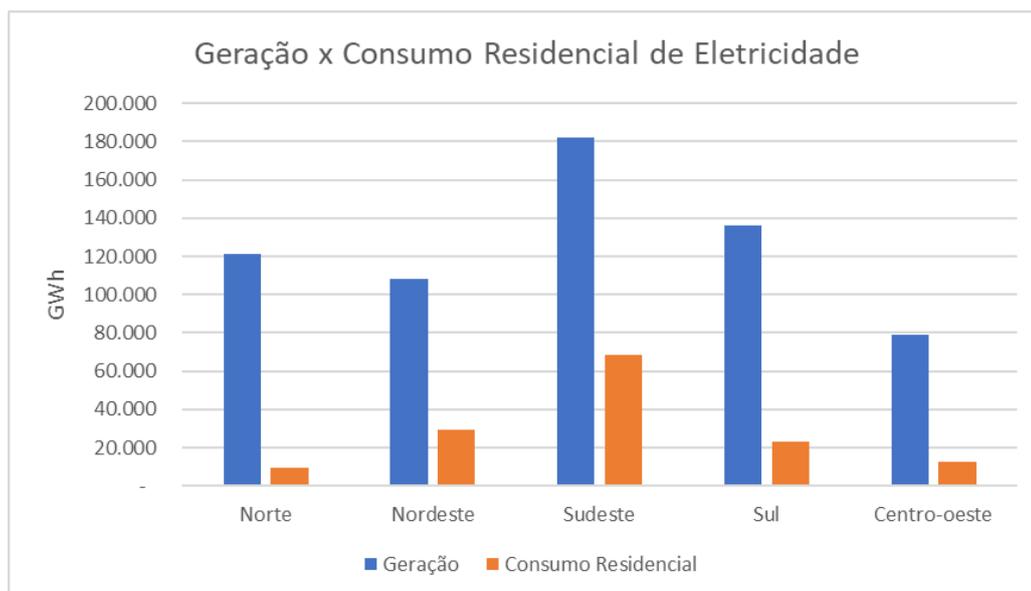
É impossível dissociar da energia o seu papel social, visto que sua disponibilidade e consumo estão diretamente relacionados aos índices de desenvolvimento humano, como o analfabetismo, a mortalidade infantil, a taxa de natalidade e a expectativa de vida (GOLDEMBERG, 1998).

Outro indicador da relação entre energia e desenvolvimento humano é o Produto Interno Bruto (PIB). Analisando o cenário econômico do Brasil de 1970 a 2009, Neto, Corrêa e Perobelli (2016) inferiram a causalidade entre consumo de energia e crescimento econômico. Há ainda no mesmo estudo o apelo à eficiência energética, visto que a diminuição da demanda de energia ocasionaria na queda do crescimento econômico.

Ao olhar para cenário do Brasil, a desigualdade social regional pode ser facilmente denunciada por seu perfil de consumo de energia elétrica. Se por um lado a região Sudeste -a mais desenvolvida do país- foi responsável por 48,0% do consumo residencial de eletricidade em 2020, por outro, as regiões Norte e Nordeste –as menos desenvolvidas- juntas foram responsáveis por 27,1% do mesmo consumo no mesmo período (EPE, 2020b).

Outro agravante dessa desigualdade é evidenciado quando se observa a produção de energia por região do país: a região Sudeste lidera com mais de 180.000 GWh, mas dessa vez a região Norte aparece em terceiro lugar com aproximadamente 121.000 GWh e a região Nordeste em quarto lugar com quase 110.000 GWh (EPE, 2020b). A discrepância entre geração e consumo é maior na região Norte, que consome menos de 10.000 GWh e menor na região Sudeste, que consome quase 70.000 GWh, como pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 - Geração e consumo residencial de eletricidade



Fonte: adaptado de (EPE, 2020b)

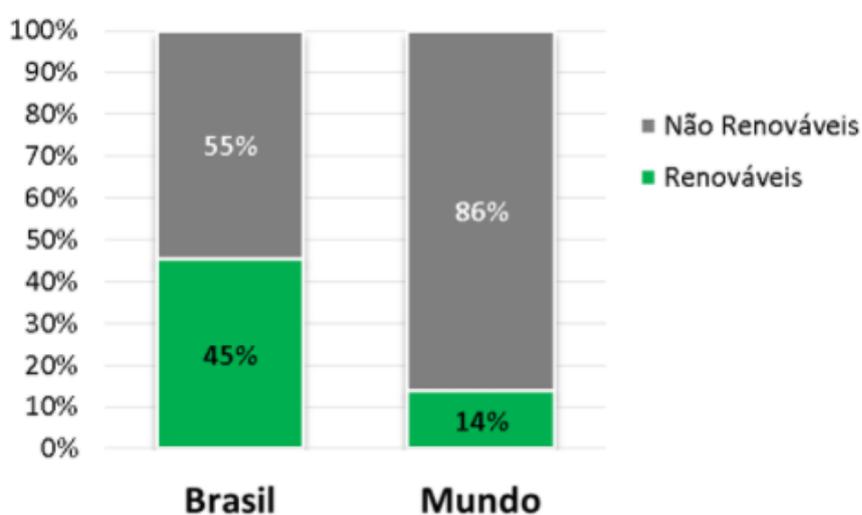
A caracterização da geração de energia regional se deu principalmente pela crise do petróleo na década de 70, onde o preço do barril chegou a subir mais de 300% (US DEPARTMENT OF STATE, 2017). Na época, sob o regime militar, o Brasil investiu no setor energético -principalmente em usinas hidrelétricas- a fim de diminuir a dependência de importação de petróleo. Foi nesse período, por exemplo, que as usinas de Itapu (PR) e de Tucuruí (PA) foram construídas, com potências instaladas de 14000 MW e 8535 MW, respectivamente (ANEEL, 2016).

Nesse cenário de grande desigualdade regional no país, é preciso expandir o acesso à eletricidade nas regiões menos desenvolvidas e garantir que o uso da energia seja eficiente e consciente em todo território nacional, para que se obtenha um equilíbrio entre geração e consumo. Por ser uma questão social, cabe às entidades governamentais responsáveis mitigarem essa situação, visto que promover o consumo energético consciente é garantir o crescimento econômico do país e o aumento do IDH da população, pois as três dimensões de cálculo do índice (vida longa e saudável, acesso ao conhecimento e padrão de vida) estão relacionados à utilização de energia elétrica (IBGE, 2013).

2.1.2 Matriz energética e elétrica

De acordo com o último balanço da Agência Internacional de Energia (IEA), da qual o Brasil é associado, a matriz energética mundial é composta principalmente por fontes não renováveis, chegando a totalizar 86% de participação (EIA ENERGY ATLAS, 2020). Já a nível nacional, a matriz energética é composta por 55% de fontes não renováveis, em torno de 36% menos que a mundial (EPE, 2020b). A comparação pode ser vista na Figura 2.

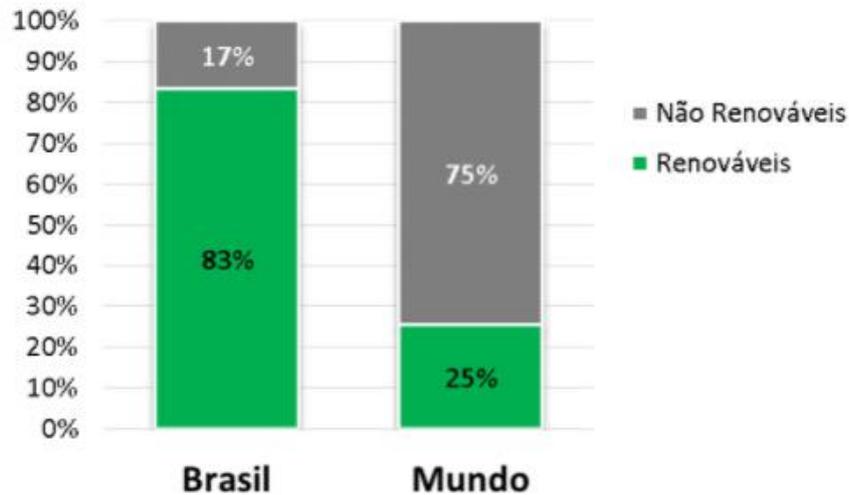
Figura 2 - Matriz energética no Brasil e no mundo



Fonte: (EPE, 2020a)

Quanto à matriz elétrica, o cenário é ainda mais favorável ao Brasil, visto que em torno de 83% da mesma provém de fontes renováveis (EPE, 2020b) contra 25% das mesmas fontes em relação ao mundo (EIA ENERGY ATLAS, 2020). Isso corresponde a uma utilização de fontes renováveis 230% maior que a mundial, como pode ser visto na Figura 3.

Figura 3 - Matriz elétrica no Brasil e no mundo



Fonte: (EPE, 2020a)

Apesar do Brasil estar na frente na geração elétrica por recursos renováveis, vale a problematização da implementação dessas fontes. No caso da geração por fonte hídrica de grande porte -principal fonte Brasileira- é necessário o alagamento de uma extensa área a fim de se criar o reservatório de água. Tal procedimento demanda a desapropriação dos moradores da região –em muitos casos povos nativos ameaçados- e na destruição da fauna e flora local. Além disso, por serem empreendimentos gigantescos, a fase de construção demanda uma grande quantidade de operários que se instalam na região de forma desordenada e que depois de concluída a obra ficam sem emprego. Um exemplo pertinente é o da cidade de Altamira (PA), que atraiu muitos trabalhadores durante a fase de construção da usina de Belo Monte e que hoje é tida como uma das cidades mais violentas do país, por conta do crescimento desordenado e da infraestrutura precária.

A geração eólica, segunda maior fonte renovável naturalmente utilizada no Brasil, também é responsável por impactos socioambientais nos locais onde os aerogeradores são instalados. Os empreendimentos são executados geralmente em regiões afastadas dos centros urbanos e exigem uma extensa área para sua instalação, o que acarreta na perda de território da população local. Além disso, a impermeabilização do solo provocada pelas fundações pode acarretar em déficit alimentar das populações locais caso haja conflito com o plantio de subsistência. Por fim, o movimento das pás dos aerogeradores além de gerarem ruído e projetarem

sombras podem causar desconforto dos moradores e de animais da região, e ainda modificam as rotas migratórias de aves.

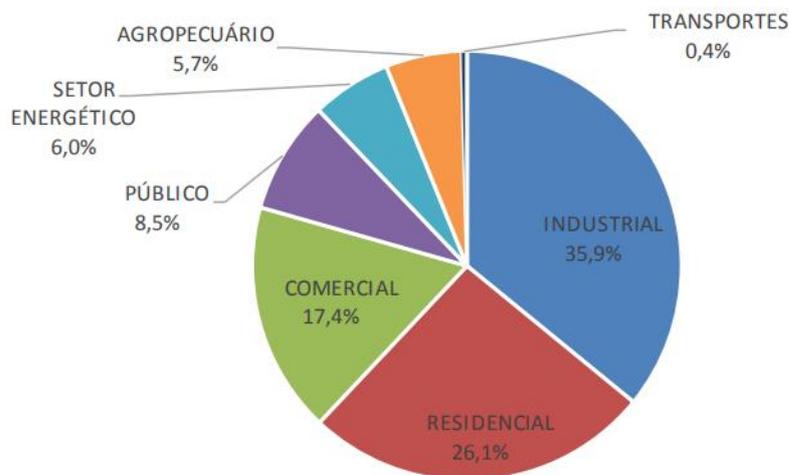
Há ainda os sistemas fotovoltaicos, que convertem a energia solar em energia elétrica e são responsáveis por cerca de 1% da geração de eletricidade no país, concentrados principalmente nas regiões Nordeste e Sudeste (EPE, 2020b). Apesar de haver parques fotovoltaicos, o destaque desse sistema é a possibilidade de ser utilizado na geração distribuída, ou seja, no próprio local de consumo, em praticamente qualquer edificação. O preço da instalação e manutenção dos sistemas fotovoltaicos ainda representa um gargalo, principalmente para as populações de menor renda, mas esses preços têm caído com o passar do tempo devido à popularização do sistema. Dessa forma, a flexibilidade inerente dos painéis fotovoltaicos contribui para a eficiência energética à nível local, com destaque em países com alta e constante incidência solar como o Brasil.

Não existe impacto nulo dos empreendimentos de geração de energia e por isso é importante entender e quantificar esse impacto em cada esfera. É necessário um maior planejamento na instalação das infraestruturas energéticas a fim de se mitigar seus efeitos negativos e garantir que parte de sua riqueza seja distribuída para a população local, que é a mais impactada com o seu funcionamento. Apenas assim existirá a sustentabilidade plena, em todas as suas esferas (ambiental, social e econômica).

2.1.3 Consumo de eletricidade

A geração total de energia elétrica no Brasil em 2019 chegou a 626,3 TWh, resultando em 4,1% de crescimento em relação à 2018. No consumo, também houve um aumento de 1,3% em relação à 2018, chegando a 545,6 TWh. Os principais consumidores foram os setores industrial (35,9%), residencial (26,1%), comercial (17,4%) e público (8,5%), como pode ser visto na Figura 4.

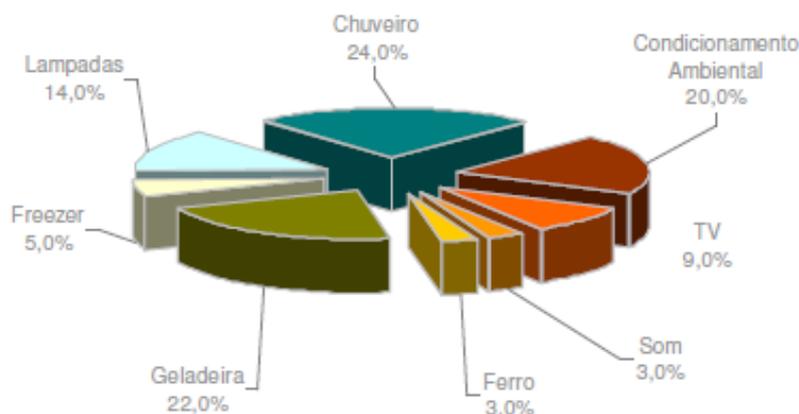
Figura 4 - Consumo de eletricidade por setor



Fonte: (EPE, 2020b)

A análise da participação dos eletrodomésticos no consumo residencial mostra que a nível nacional os protagonistas de consumo são o chuveiro, os condicionadores de ambiente e as lâmpadas, contribuindo com 24, 20 e 14% respectivamente do total. Essas parcelas variam de acordo com a região, tendo o chuveiro seu valor mínimo de 2% na Região Norte e máximo de 28% na Região Centro-Oeste; o condicionador de ambiente seu mínimo de 11% na região Sudeste e máximo de 40% na região Norte; e por fim, as lâmpadas variando de 8% na Região Sul a 19% na Região Sudeste. Vide a Figura 5.

Figura 5 - Papel dos eletrodomésticos no consumo



Fonte: (ELETROBRÁS, PROCEL, 2007)

A caracterização do consumo de energia elétrica evidencia que os protagonistas do consumo estão relacionados à térmica das construções. Seja pelo uso excessivo de energia elétrica para se atingir uma temperatura ambiente agradável, seja a necessidade de aquecimento de água ou ainda o trabalho adicional da geladeira em manter a temperatura interna em decorrência de uma alta temperatura externa. A iluminação se relaciona de forma indireta, já que resulta da abertura de janelas e portas e da posição e orientação da edificação, e essas sim influenciam diretamente na temperatura dos ambientes.

Assim, pode-se afirmar que a maior parte da energia elétrica consumida é para mitigar os efeitos térmicos das edificações residenciais, e o mesmo ocorre nas edificações comerciais e públicas, que apresentam gasto médio com condicionamento de 47,5% e com iluminação de 22,5% (ELETROBRÁS, PROCEL, 2007). Em síntese, ao focar no comportamento térmico das edificações e chegar em soluções que diminuam esses efeitos, poderá se consumir menos eletricidade, aumentar a eficiência das aplicações e garantir a disponibilidade energética.

2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), eficiência energética significa obter o mesmo serviço com uma quantidade menor de energia, ou ainda, gerar a mesma quantidade de energia com menos recursos naturais. Um exemplo é a substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas de LED, que estas por consumiram 90% menos energia, garantem uma maior eficiência em relação às suas predecessoras.

Já a eficiência energética de uma edificação pode ser entendida como a capacidade de promover conforto térmico, visual e acústico com baixo consumo de energia. Assim, ao proporcionar características semelhantes com menos consumo, um edifício é tido como mais eficiente que outro (LAMBERTS, DUTRA, *et al.*, 2014).

Nesse sentido, há duas formas de se alcançar a eficiência energética na edificação: de maneira ativa e de maneira passiva. A primeira se dá pela medição do consumo energético e posterior instalação de equipamentos que monitoram e controlam tal consumo, no geral, com o auxílio da automatização (MARCHAIS, 2011). Já a segunda ocorre por meio de intervenções arquitetônicas e construtivas a fim de adaptar a edificação ao microclima na qual está inserida (GIVONI, B., 1991).

No país, a eficiência energética de edificações é quantificada e qualificada por meio da etiquetagem de edificações pelo PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) em parceria com o INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), onde a primeira entidade avalia a eficiência e a segunda confere a Etiqueta PBE (Programa Brasileiro de Etiquetagem) Edifica. A etiquetagem se dá de forma distinta para edifícios comerciais, de serviços e públicos e residenciais, em dois momentos distintos: na fase de projeto e após sua construção. Vale ressaltar ainda que a Etiqueta PBE Edifica avalia diversos critérios e recebe um nome para cada um deles, sendo a de avaliação da eficiência energética é chamada de ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia).

Para os edifícios não residenciais são avaliados três sistemas: a envoltória, iluminação e condicionamento de ar. Há dois métodos de classificação do nível de eficiência energética: o método prescritivo e o método de simulação. O primeiro se utiliza de aplicações de equações fornecidas e de tabelas, sendo atribuídas etiquetas parciais para cada sistema analisado; enquanto que o segundo método permite avaliar a edificação como um todo por meio de programas computacionais, o que possibilita alcançar a etiqueta completa da edificação (PROCEL, 2016).

A envoltória da edificação deve ter desempenho suficiente em três pré-requisitos específicos: transmitância térmica da cobertura e de paredes exteriores, cores e absorvância de superfícies e iluminação zenital. Para o cálculo da eficiência são disponibilizadas duas fórmulas por zona bioclimática, uma para edifícios com área de projeção menor que 500 m² e outra para edifícios com área de projeção maior que 500 m². As zonas bioclimáticas são as estabelecidas na parte 3 da ABNT NBR 15220:2005 – Desempenho térmico de edificações.

A iluminação também necessita de desempenho em três pré-requisitos: divisão dos circuitos, contribuição da luz natural e desligamento automático do sistema de iluminação. Para a determinação da eficiência pode-se utilizar o método da área do edifício, aplicável para edifícios com até três atividades principais e que avalia de forma conjunta todos os seus ambientes. Já para os outros casos, o método das atividades do edifício que avalia separadamente cada ambiente é aplicado.

O sistema de condicionamento deve apresentar resultados mínimos referentes ao controle de temperatura por zona térmica, automatização de equipamentos, isolamento adequado de zonas térmicas, ventilação, sistemas elétricos anexados aos sistemas hidráulicos, ventiladores do sistema de rejeição de

calor e outros. Além disso, o manual apresenta tabelas informando a eficiência mínima de equipamentos condicionadores que não são etiquetados pelo INMETRO.

Vale salientar que a etiquetagem se tornou obrigatória para novas edificações e retrofits públicos, devendo obter nas fases de projeto e de construção a classe “A”, de acordo com o Cap iii do Diário Oficial da União, de 5 de junho de 2014 (DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, 2014).

Já para os edifícios residenciais são avaliados a envoltória e o sistema de aquecimento de água, assim como iluminação, elevadores e bombas para áreas comuns de edificações multifamiliares. A eficiência da envoltória das residências pode ser determinada pelo método prescritivo, que se utiliza de fórmulas e tabelas para cálculo de cada componente, ou pelo método de simulação, que avalia a residência como um todo. Já a parte do aquecimento de água é avaliada a partir de um equivalente numérico que leva em consideração a natureza do sistema aquecedor de água, como por exemplo a potência de equipamentos elétricos e avaliação de aquecedores de equipamentos à gás (PROCEL, 2012).

Os pré-requisitos da avaliação da envoltória é relativa à zona bioclimática na qual a unidade está inserida e levam em consideração variáveis térmicas das superfícies (transmitância, capacitância e a absorvância solar); a ventilação e a iluminação natural. Na avaliação do sistema de aquecimento de água os pré-requisitos são a resistência térmica mínima do reservatório e a espessura mínima de isolamento das tubulações.

No caso da edificação unifamiliar, o desempenho da edificação é o mesmo da unidade habitacional autônoma, enquanto que na edificação multifamiliar é a média aritmética das unidades que a compõem. Nesse último caso deve-se ainda verificar o desempenho individual de cada sistema existente das áreas comuns da edificação, como por exemplo a iluminação artificial, aquecedores de água e equipamentos elétricos.

Na prática, a obtenção da Etiqueta PBE Edifica é realizada por um Organismo de Inspeção Acreditado (OIA), que em suma, é uma empresa privada que está habilitada a emitir a etiqueta. Isso se traduz em custo tanto para a empresa como para o cliente final, que no caso de edificações públicas e residenciais é o contribuinte. No caso das populações menos favorecidas, o acesso à etiquetagem residencial é praticamente nulo, impedindo a avaliação de eficiência energética das construções voltadas para essa população.

2.3 NORMATIZAÇÃO

A preocupação com o consumo de energia teve seu ápice na década de 70 devido à crise do petróleo, que causou o aumento exponencial do preço do barril e da energia elétrica (VENN, 2016). Nesse cenário, os países desenvolveram programas de incentivo e normas de eficiência energética, destacando-se a Standard 90 nos Estados Unidos.

A Standard 90 é a norma do Instituto Nacional Americano de Normas (ANSI) publicada pela Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Condicionamento de ar (ASHRAE). A norma é submetida à manutenção contínua a fim de se modernizar com o surgimento de novas tecnologias e a versão mais atual é a publicada em 2019 (ASHRAE, 2019).

Para atender os requisitos da norma é possível seguir por dois caminhos, o prescritivo ou o performativo. No primeiro deve-se atender os requisitos mínimos de envoltória; de equipamentos de ventilação, condicionamento de ar e aquecimento; aquecimento de água, eletricidade, iluminação e motores elétricos. No segundo é necessário utilizar algum programa de computador para simular a edificação e é estipulado um orçamento de custo energético, a fim de se comparar com o modelo de referência apresentado na norma.

No Brasil, o Art. 4o da Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001 foi o primeiro a elevar a eficiência energética a nível de lei (BRASIL, 2001); motivação esta gerada pela Crise do Apagão que resultou no racionamento de energia e sobretaxas às contas de energia elétrica (PINTO, 2001). Já a primeira norma de desempenho térmico foi a ABNT NBR 15220 – Desempenho térmico de habitações, publicada em 2005 e a norma de desempenho de edificações habitacionais foi a ABNT NBR 15575 – Edificações habitacionais – Desempenho, publicada em 2013.

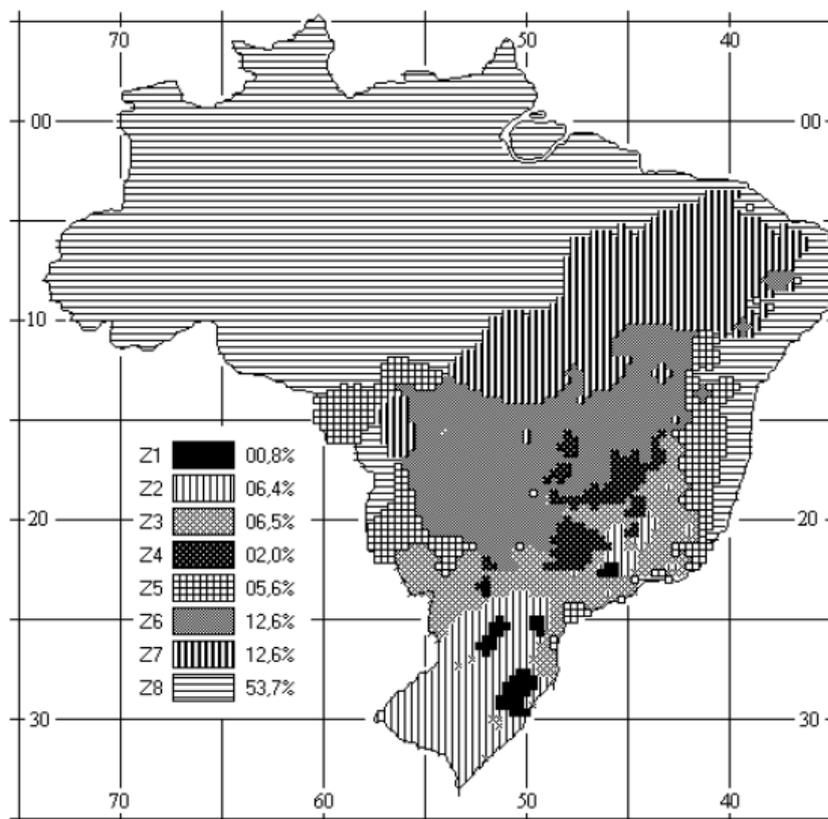
Em suma, a ABNT NBR 15575:2013 dita os requisitos mínimos que devem ser atingidos nas edificações habitacionais para o conforto e segurança do usuário, independentemente de seus materiais e sistema construtivo utilizado. Já a ABNT NBR 15220:2005 define as variáveis e diretrizes a serem adotadas pelas edificações, assim como os procedimentos de cálculo. A última complementa a primeira.

A norma de desempenho térmico aborda os métodos de cálculo das variáveis transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar. Destacam-se nessa parte as tabelas apresentando valores de referência para diversas

configurações de materiais. A parte 3 apresenta a divisão do território nacional em zonas bioclimáticas -demonstrado na

Figura 6- e diretrizes construtivas para cada localidade, como por exemplo o tamanho das aberturas para ventilação, proteção das aberturas, vedações externas e estratégias de condicionamento térmico passivo. As últimas partes apresentam medições das variáveis por outros métodos: o princípio da placa quente protegida e o método fluximétrico (ABNT, 2013).

Figura 6 - Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: (ABNT, 2005)

A norma de desempenho de edificações habitacionais ABNT NBR 15575 2013 apresenta seis partes que abordam cada um dos seguintes requisitos: gerais, sistemas estruturais, sistema de pisos, sistema de vedações verticais, sistema de cobertura e sistema hidrossanitário. A análise global do desempenho térmico de edificações é tratada na primeira parte da norma, e pode ser mensurado por dois procedimentos: o simplificado e o de medição, sendo o primeiro normativo e o

segundo apenas informativo. O procedimento normativo consiste no atendimento dos requisitos mínimos de vedação e cobertura, presentes nas partes 4 e 5 da norma, respectivamente, enquanto que o informativo se dá pela realização de medições em edificações construídas e/ou protótipos.

No caso do não atendimento dos requisitos no procedimento normativo, será necessário a avaliação global da edificação por meio de simulação assistida por programa computacional. Na avaliação computacional deve-se levar em conta a localização da edificação e relacioná-la com as zonas bioclimáticas presentes na parte 3 da ABNT NBR 15220 2005. A norma recomenda explicitamente o uso do programa EnergyPlus, flexibilizando essa escolha a outro capaz de reproduzir as condições dinâmicas de exposição ao clima e os efeitos de inércia térmica, necessariamente validados pela ASHRAE Standard 140 (ABNT, 2013).

Em 2012 durante a consulta pública de avaliação da ABNT NBR 15575:2013, Sorgato, Marinoski, Melo e Lamberts publicaram uma nota técnica apontando todos os pontos de melhoria, com destaque para as áreas de aberturas para ventilação, sombreamento e o método de simulação (SORGATO, MARINOSKI, *et al.*, 2012). Assim, em 2018 o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) iniciou a elaboração de uma proposta de revisão da análise de desempenho térmico da ABNT NBR 15575:2010. A proposta foi consolidada e enviada para a Comissão de Estudos da ABNT, e sua publicação está prevista para o início de 2021 (LABEEE, 2020).

Segundo Sorgato, Marinoski, Melo e Lamberts (2012), a área de ventilação é pertinente no resultado do desempenho térmico da edificação, com os melhores resultados expressos quando a área de abertura vale de 8 a 15% da área útil, tendo o desempenho uma relação direta com a área de ventilação nessa faixa. Dessa forma, a revisão da norma propõe que a área de ventilação mínima também deva ser definida pela própria norma e de acordo com a zona bioclimática da edificação, e não somente pela legislação municipal como é atualmente; devendo-se utilizar o maior valor entre os dois.

Outro estudo relacionado ao sombreamento concluiu que todas as janelas de dormitórios devem ser sombreadas. A justificativa se dá na diminuição expressiva de graus-hora de resfriamento nos dormitórios, no controle da temperatura operativa do ambiente, bloqueio da radiação solar e redução dos gastos com energia elétrica no

condicionamento de ar (SORGATO, MARINOSKI, *et al.*, 2012). Por conseguinte, as intervenções supracitadas foram incluídas na proposta de revisão.

Por fim, no que tange à simulação computacional, os autores verificaram as seguintes falhas do método atual: não avaliar a condição concreta do uso da edificação por não considerar ventilação, aquecimento solar passivo, cargas internas e situação de verão; e desconsiderar o comportamento anual da edificação por levar em conta apenas uma temperatura extrema de recorrência de 30 anos. Sendo assim, dentre as propostas para a simulação assistida por ferramentas computacionais foram feitas as seguintes proposições na revisão: simulação anual, avaliação da construção com e sem ventilação natural, consideração de cargas térmicas, comparação com modelo de referência assim como a ASHRAE Standard 90, contabilidade das trocas de ar através das janelas e criação de novos indicadores para avaliar o desempenho global da edificação (SORGATO, MARINOSKI, *et al.*, 2012).

2.4 CONFORTO TÉRMICO

2.4.1 Definições

De acordo com a Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado (ASHRAE), conforto é a condição de satisfação mental com a temperatura do ambiente e além dos fatores físicos e fisiológicos envolve também fatores subjetivos (ASHRAE, 2004).

O ser humano como espécie detém mecanismos biológicos que mantém a temperatura interna do organismo praticamente constante, característica tal chamada de homeotermia. Esses mecanismos são chamados de termorreguladores, que dependendo das condições do ambiente agem de forma a facilitar ou a dificultar as trocas de calor entre o organismo e o meio externo.

Em suma, o balanço térmico do corpo humano interagindo com o ambiente mostrado na Figura 7 se dá pela Equação 1:

Equação 1 - Balanço térmico do corpo humano

$$M \pm R \pm C_v \pm C_d - E = \Delta S (W)$$

Fonte: (AULICIEMS, SZOKOLAY, 2007)

Onde,

M = metabolismo

Cv = convecção

R = radiação

Cd = condução

E = evaporação

ΔS = variação do calor corporal, onde $\Delta S > 0$ corresponde ao aumento da temperatura e $\Delta S < 0$ ao decréscimo

Figura 7 - Interação térmica Corpo-Ambiente



Fonte: (AULICIEMS, SZOKOLAY, 2007)

Na sensação de calor, o organismo facilita a perda de calor do organismo para o ambiente, a fim de se reduzir a temperatura interna. Têm-se como exemplos dessa situação a vasodilatação periférica que, ao aumentar a superfície de contato dos vasos sanguíneos das regiões próximas à pele, aumenta a perda de temperatura por convecção e radiação; e o suor que, ao evaporar, diminui a temperatura pela perda de calor latente da mudança de estado líquido para gasoso.

Já no frio, o organismo dificulta a perda de calor do corpo para o meio externo, a fim de se manter a temperatura interna. A vasoconstrição é uma reação do organismo ao frio em que, ao diminuir a superfície de contato dos vasos das regiões próximas à pele, possibilita a menor perda de calor possível para o ambiente por radiação e convecção. O arrepio, além de também evitar a diminuição da temperatura

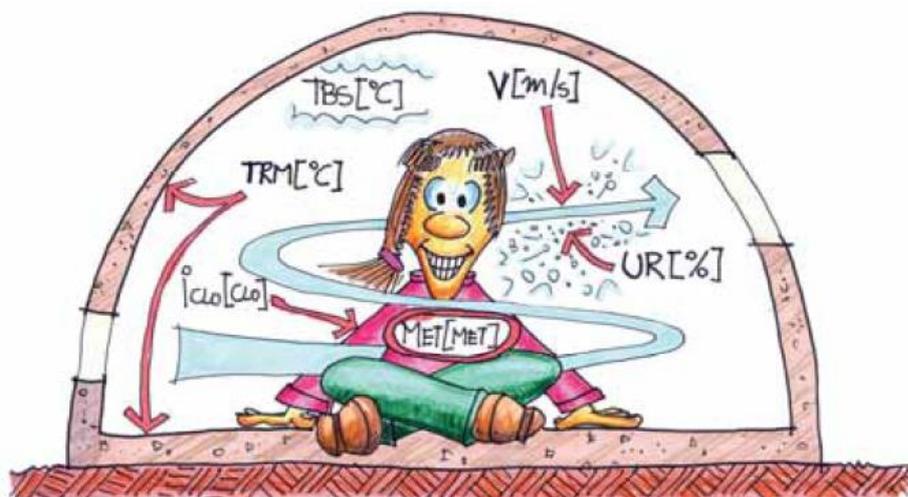
interna por convecção devido ao aumento da rugosidade da pele, ainda gera calor por atrito por conta dos espasmos musculares.

Entretanto, não existe apenas o mecanismo biológico regulando as interações térmicas. Há também mecanismos instintivo-comportamentais, como se banhar ou procurar sombra no calor e se encolher ou esfregar as mãos no frio; além de mecanismos tecno-culturais, como a utilização de vestimentas e utilização de sistemas elétricos de climatização (LAMBERTS, DUTRA, *et al.*, 2014).

2.4.2 Variáveis e índices do conforto térmico

Há dois tipos de variáveis que influenciam na sensação de conforto térmico: as relativas ao ambiente e as relativas ao homem. Na primeira categoria temos a temperatura do ar (T_{AR}), a temperatura radiante (TRM), a umidade relativa (UR) e velocidade do ar (V); enquanto que na segunda temos a atividade física desempenhada (MET) e a vestimenta utilizada (I_{clo}), como pode ser visto na Figura 8.

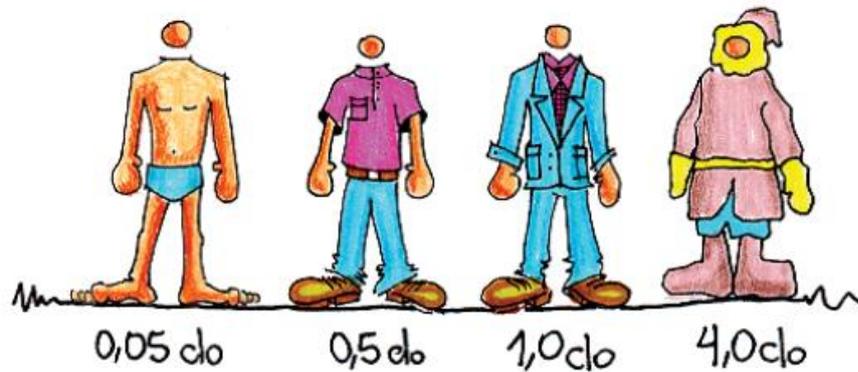
Figura 8 - Variáveis do conforto térmico



Fonte: (LAMBERTS, DUTRA, *et al.*, 2014)

A unidade de vestimenta (clo) vem do inglês *clothing* que significa vestimenta. 1 clo representa a resistência térmica de um terno completo e vale $0,155 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$. Quanto maior for a resistência térmica da vestimenta, maior vai ser a unidade clo e menor a troca de calor com o ambiente (ISO, 2005). A Figura 9 ilustra a resistência térmica de alguns trajes.

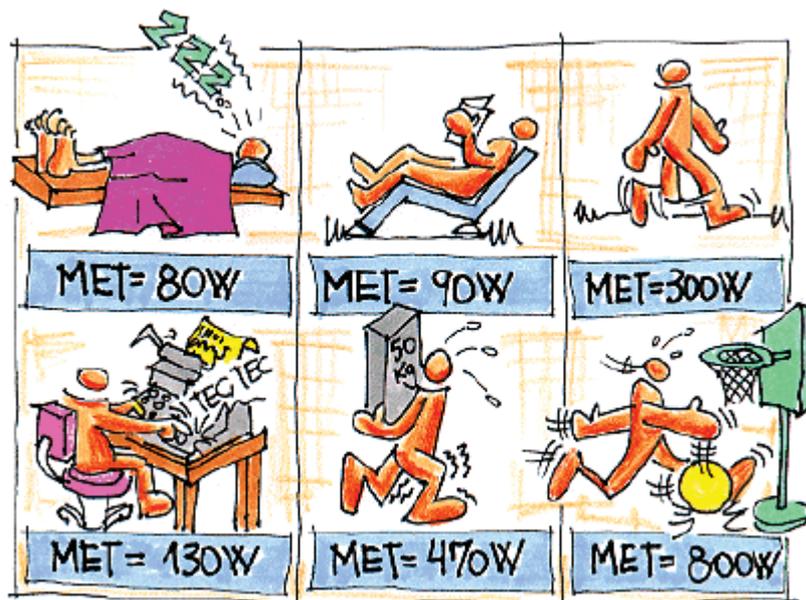
Figura 9 - Trajes e suas resistências térmicas



Fonte: (LAMBERTS, DUTRA, *et al.*, 2014)

A unidade de atividade física (met ou W/m^2) significa metabolismo, do inglês *metabolismo* e representa o fluxo térmico total pela área de um corpo. 1 met representa o metabolismo de uma pessoa relaxada e vale $52,15 W/m^2$. A área da razão representa a área superficial de uma pessoa, e vale em média $1,8 m^2$ para o homem e $1,6 m^2$ para a mulher. Quanto maior for a intensidade da atividade exercida, maior será o fluxo de calor e, portanto, maior será seu valor (ISO, 2005). A Figura 10 representa o metabolismo de um homem ($1,8 m^2$ de área superficial) executando diferentes atividades.

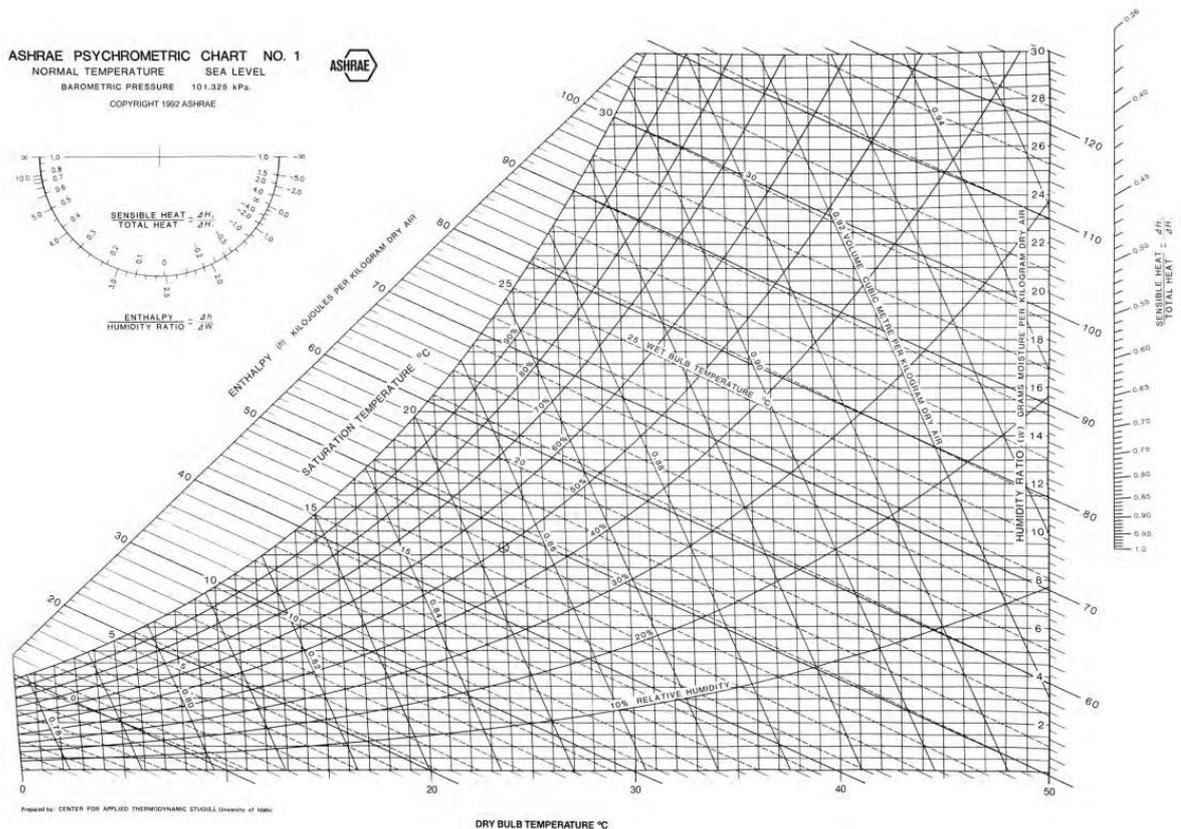
Figura 10 - Metabolismo das atividades físicas



Fonte: (LAMBERTS, DUTRA, *et al.*, 2014)

Na categoria das variáveis ambientais, os valores são obtidos com o auxílio de instrumentos de medição. A temperatura do ar é obtida pela simples leitura de um termômetro de bulbo seco. Já a temperatura radiante média necessita da temperatura de globo, obtida por meio de um termômetro de globo, e da velocidade do ar, medida por um anemômetro. Cabe ao psicrômetro a leitura da umidade relativa do ar e por fim a confecção da carta psicrométrica, que relaciona as temperaturas de bulbo seco, de bulbo úmido e umidade relativa do ar. A Figura 11 mostra uma carta psicrométrica a nível do mar.

Figura 11 - Carta Psicrométrica

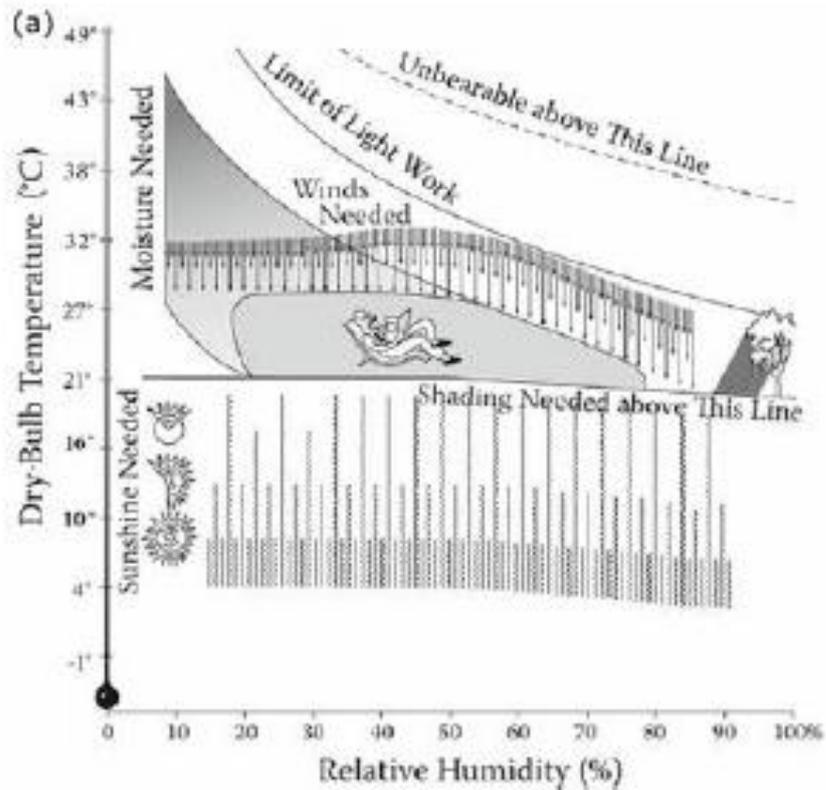


Fonte: (ASHRAE, 1992)

Olgay (1963) destacou a importância de se adotar estratégias passivas às construções a fim de garantir conforto aos usuários. Assim, ele propôs sua carta bioclimática que destacava a zona de conforto térmico devido à temperatura e umidade relativa. No restante do gráfico foram nomeadas zonas de acordo com as

estratégias que devem ser tomadas a fim de se atingir o conforto térmico, como mostra a Figura 12.

Figura 12 - Carta bioclimática de Olgyay



Fonte: (OLGYAY, 1963)

Ao longo dos anos as cartas bioclimáticas foram sendo modificadas e desenvolvidas para cada localização. No trabalho de Bogo et al (1994) chegou-se a conclusão de que a carta bioclimática mais adequada à realidade brasileira seria a proposta por Givoni (1992) para países em desenvolvimento, como visto na Figura 13. A mecânica da carta de Givoni é a mesma da de Olgyay: existe uma área chamada de zona de conforto e outras áreas com o nome da estratégia que deve ser utilizada para se atingir o conforto.

Figura 13 - Carta bioclimática de Givoni

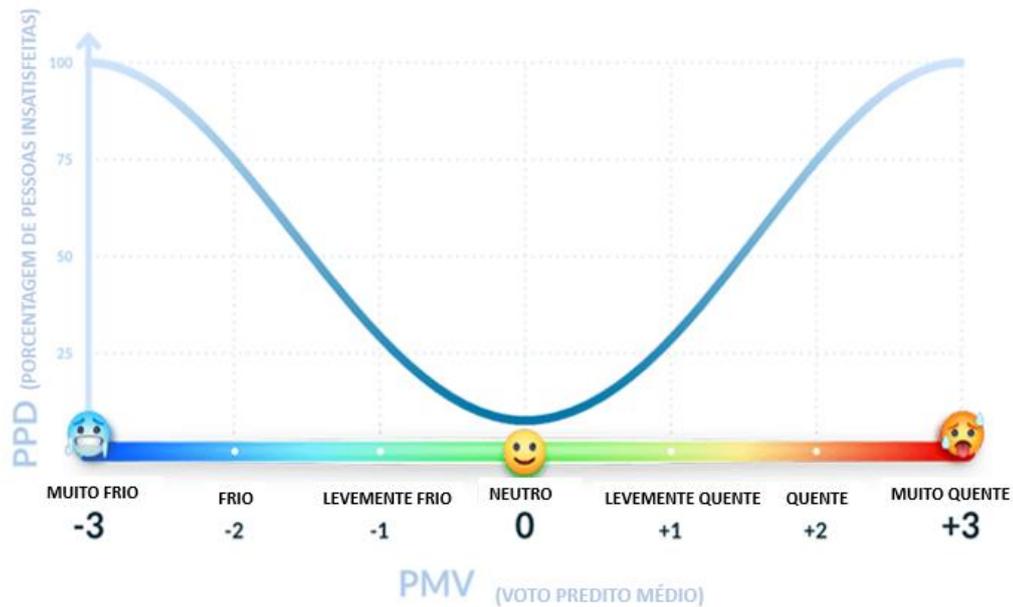


Fonte: (LAMBERTS, DUTRA, *et al.*, 2014)

A fim de se mensurar o nível de conforto ou desconforto térmico, Fanger (1970) realizou um trabalho experimental onde avaliou pessoas de diversas idades, gênero e nacionalidades. Com os resultados, o pesquisador criou o Voto Médio Predito (PMV em inglês), que representa um valor médio da percepção humana de conforto ou desconforto térmico. Essa unidade leva em consideração as variáveis supracitadas que influenciam no conforto térmico (temperaturas, umidade, velocidade do ar, vestimentas e atividades).

Por conseguinte, foi criado um gráfico que relaciona os valores do PMV e a porcentagem de pessoas insatisfeitas (PPD em inglês), e a ISO 7730:2005 estipulou como 10% o valor máximo do PPD em ambientes moderados, o que se traduz no intervalo de -0,5 a +0,5 PMV. O valor 0 de PMV significa uma percepção neutra em relação ao ambiente, ou seja, o valor ideal de conforto térmico. Os valores positivos, representam a percepção de calor e os negativos, de frio. Assim, quanto maior o seu módulo, maior a PPD de pessoas insatisfeitas, ou seja, mais desconfortável é o ambiente. O gráfico pode ser visto na Figura 14.

Figura 14 - Gráfico PMV x PPD



Fonte: Adaptado de (GUENTHER, 2020)

O conforto térmico afeta diretamente o comportamento e a saúde do ser humano. A sensação de desconforto causa a diminuição do nível de atenção e consequente caimento de produtividade do indivíduo, além de poder causar dores de cabeça e fadiga (MUMOVIC, SANTAMOURIS, 2018). Em casos mais extremos, principalmente devido à ineficiência dos sistemas de ventilação, ocorre a proliferação demasiada de microrganismos que causam alergias e doenças respiratórias; fenômeno chamado de Síndrome do Edifício Doente (SED) (EPA, 1991).

Em suma, a sensação do ser humano perante ao ambiente o afeta psicologicamente e fisiologicamente. Visto que em média o homem moderno fica de 85 a 95% do seu tempo dentro de uma edificação (MUMOVIC, SANTAMOURIS, 2018), buscar o conforto térmico da construção, seja de uso comercial ou residencial, é buscar a saúde do indivíduo.

2.5 PROPRIEDADES TÉRMICAS

2.5.1 Temperatura e calor

Temperatura é a energia cinética das partículas de um corpo, e quanto maior essa energia, maior é a temperatura do corpo, e vice-versa. O calor, por sua vez, é a transferência de energia térmica entre corpos com diferentes temperaturas. Essa transferência ocorre de três maneiras: por condução, convecção ou radiação.

A condução ocorre em corpos em contato, onde os átomos do corpo mais quente, ou seja, os mais agitados, se chocam com os átomos dos outros, e assim, transferem essa energia. Tem-se como exemplo o aquecimento do cabo de uma panela durante a cocção.

Já a convecção se dá pelo movimento de um fluido, onde sua parcela mais aquecida se expande, e tornando-se menos densa, sobe para as camadas mais frias, e essa por sua vez desce, ocorrendo a transferência de energia térmica. Tal exemplo pode ser visto quando se aquece água, onde a parcela mais quente sobe e a mais fria desce.

Por último, a radiação ocorre pela transferência de energia através de ondas eletromagnéticas/fótons, sem que haja contato entre os corpos. O aquecimento solar exemplifica essa transferência de calor, onde o Sol aquece o planeta Terra mesmo estando a milhões de quilômetros de distância.

2.5.2 Componentes construtivos

Quanto ao comportamento térmico, os componentes construtivos se dividem em: opacos, que são incapazes de transmitir a radiação solar para o ambiente interno, e transparentes, que possuem tal capacidade. Têm-se como exemplo de elementos opacos as paredes e telhados de uma edificação, e as janelas e claraboias como exemplo de elementos transparentes.

Os fechamentos opacos transferem calor principalmente por condução, onde a superfície externa é aquecida com a radiação solar, gerando uma diferença de temperatura com a superfície interna e propiciando a transferência de energia térmica. Essa transferência se inverte quando a temperatura interna é maior que a externa, geralmente durante dias frios ou períodos noturnos, e assim a edificação perde calor para o ambiente externo.

Já os fechamentos transparentes, pelo fato de proporcionarem a entrada da radiação solar para o ambiente interno, transferem calor principalmente por radiação, que por sua vez aquecem o interior da edificação. Da mesma forma, geralmente durante a noite ou dias frios, o ambiente interno perde calor para o externo também por radiação, mas dessa vez emitida pelos corpos do interior da edificação.

2.5.3 Propriedades térmicas dos componentes construtivos

2.5.3.1 Condutividade térmica

Representa a capacidade de um material em transmitir calor. A grandeza varia de acordo com as propriedades do material: a temperatura, sua fase, composição e densidade. Quanto maior a quantidade de calor transmitida, maior será a condutividade térmica do material, e sua unidade é W/mK. A Figura 15 apresenta o valor da condutividade térmica para alguns materiais.

Figura 15 - Condutividade térmica de alguns materiais

Material	<i>k</i> (W/m K)
Diamante	2.000
Prata	430
Cobre	400
Alumínio	240
Ferro	80
Aço inoxidável	14
Gelo	1,7
Concreto	0,8
Vidro	0,8
Isopor	0,035
Ar (a 20°C e 1 atm)	0,023

Fonte: (KNIGHT, 2009)

2.5.3.2 Resistência térmica

É a característica do material em impedir a passagem de calor dada uma determinada espessura. Quanto maior for o seu valor, mais capaz é o material em impedir a passagem de calor. Sua unidade é o m^2K/W e é dada pela Equação 2. A resistência térmica de um material composto é a soma das resistências térmicas de seus componentes.

Equação 2 - Resistência térmica

$$R = \frac{L}{k}$$

Fonte:(KNIGHT, 2009)

Sendo,

R = resistência térmica do material [m^2K/W]

L = espessura do material [m]

k = condutividade térmica do material [W/mK]

2.5.3.3 Transmitância térmica

É a quantidade de calor que passa por uma face de um componente para outra, por metro quadrado. Tendo-se como exemplo uma parede, a transmitância diz quanto de calor será passado da face externa para a face interna e vice-versa. Sua unidade é o W/m^2K , e é dada pela Equação 3. A transmitância térmica de um componente composto é dada pelo inverso da soma da resistência térmica de suas camadas componentes.

Equação 3 - Transmitância térmica

$$U = \frac{1}{R_T}$$

Fonte: (LAMBERTS, DUTRA, *et al.*, 2014)

Sendo,

U = transmitância térmica [W/m^2K]

R_T = resistência térmica total do componente [m^2K/W]

2.5.3.4 Capacidade térmica

A capacidade térmica representa a quantidade de calor que deve ser fornecida a um corpo para que o mesmo varie $1^\circ C$. Quanto maior é esse valor, mais difícil é que esse corpo sofra mudanças de temperatura e vice-versa. Essa grandeza é regida pela Equação 4 e possui unidade de $J/^\circ C$.

Equação 4 - Capacidade térmica

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

Fonte: (LAMBERTS, DUTRA, *et al.*, 2014)

Onde,

C = capacidade térmica [$J/^\circ C$]

Q = quantidade de calor [J]

ΔT = variação de temperatura [$^\circ C$]

2.5.3.5 Absortividade, refletividade e transmissividade

A absortividade representa a parcela de radiação que será absorvida pelo material, e conseqüentemente capaz de se gerar calor; a refletividade representa a parcela que não é absorvida pelo material e a transmissividade é a parcela de radiação transmitida diretamente para o interior, sendo que a última parcela só está presente em materiais translúcidos. Dessa forma, a soma das parcelas representa a radiação total emitida, ou seja, 100%, como pode ser visto na Equação 5. Essas parcelas variam de acordo com a cor da superfície, seu material e o ângulo de incidência da radiação.

Equação 5 - Soma da absorvidade, refletividade e transmissividade

$$\alpha + \rho + \tau = 100\%$$

Fonte: (LAMBERTS, DUTRA, *et al.*, 2014)

Sendo,

α = absorvidade

ρ = refletividade

τ = transmissividade

Tomando-se como exemplo o vidro, ao receber a radiação solar uma parcela será absorvida pelo próprio vidro, uma parcela será refletida de volta para o ambiente externo e outra parcela será transmitida diretamente ao ambiente interno.

2.5.3.6 Emissividade

A emissividade é a quantidade de radiação que um corpo aquecido emite para o ambiente. Seu valor é a razão entre a radiação térmica de um objeto com a radiação de corpo negro à mesma temperatura. Seu valor depende do material do objeto, sua temperatura e sua cor.

2.5.3.7 Inércia térmica e atraso térmico

A inércia térmica é a capacidade de um elemento em manter sua temperatura e o atraso térmico é a quantidade de tempo que o material consegue manter sua temperatura. No âmbito da construção civil, a inércia térmica é necessária para se amortizar as diferenças entre as temperaturas externa e interna da edificação, pois uma edificação necessita armazenar o calor recebido ao longo do dia por horas para que a noite não seja excessivamente fria.

Quanto maior o atraso térmico de um material, menos brusca será sua mudança de temperatura. Essa grandeza está relacionada com a capacidade térmica e com a resistência térmica dos materiais constituintes do elemento e é dada pela Equação 6. Sua grandeza é medida em horas.

Equação 6 - Atraso térmico

$$\varphi = 0,7284 \cdot \sqrt{R_T + C_T}$$

Fonte: ABNT NBR 15220:2005

Onde,

φ = atraso térmico [h]

R_T = resistência térmica total do elemento [m^2K/W]

C_T = capacidade térmica do elemento [$J/^\circ C$]

2.6 HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

Segundo Bollnow (1966), a casa é um instrumento para se morar e abrigar, e representa um espaço de proteção, de separação e de recolhimento do homem. No Brasil, desde 2000, com a Emenda Constitucional nº 26, o direito à moradia consta no Art. 6º da Constituição Federal como direito social do cidadão brasileiro (BRASIL, 2012).

A atual conformação geográfica da população brasileira se deve em grande parte ao êxodo rural do século XX, causado pela industrialização tardia do país. Dessa forma, as pessoas começam a se aglomerar nos centros urbanos até então desprovidos de condições de acomodá-las. Concomitantemente, as regiões centrais das cidades foram sendo valorizadas com a instalação dos comércios e as camadas mais pobres da sociedade expulsas para zonas periféricas, e esse processo se intensificou com a política de embelezamento urbano adotado durante a República Velha (1889-1930) (MARICATO, 2000).

Nas décadas seguintes, o Estado tomou para si a responsabilidade de produzir moradias, e então o termo habitação social foi cunhado. Essa política se iniciou em 1923 com a criação dos Institutos de Aposentadoria e Pensões (IAP), que eram responsáveis pela produção de moradias e estavam diretamente atreladas ao ofício da população e às categorias do trabalho (BONDUKI, 1994). Um exemplo é a Vila do Instituto de Aposentadorias e Pensões dos Industriários em Porto Alegre, mais conhecido como Vila do IAPI, mostrada na Figura 16.

Figura 16 - Vila do IAPI em Porto Alegre



Fonte: (WEBER, 2020)

Tal modelo se alinhava com a ideologia de valorização do trabalhador do então presidente Getúlio Vargas, porém, deve-se levar em conta que a solução adotada de produção barata de moradia levou à segregação do trabalhador na zona periférica e visava atender a demanda de mão de obra do setor privado, e não a de corrigir as falhas e inexistentes políticas públicas anteriores.

A criação do Banco Nacional de Habitação (BNH) em 1964 mudou drasticamente a política de habitação no país, já que agora o setor privado passa a construir com recursos estatais, cabendo ao estado apenas o papel de financiador da empreitada. Nesse momento, o trabalhador passa a recorrer diretamente ao financiamento do imóvel no mercado imobiliário -com a ajuda do recém criado FGTS- e não mais às categorias de trabalho (MOYSÉS RODRIGUES, 2013). Assim, as unidades que antes eram construídas e administradas pelas categorias, passam a ser financiadas diretamente à população e as IAPs são descaracterizadas.

Nesse momento, o BNH contava com as Companhias Estaduais de Habitação (COHABs) para promover as moradias localmente à população, e durante toda a duração do BNH elas foram as principais responsáveis pela concretização das demandas do banco. Com o fim do BNH, as COHABs perderam suas funções e passaram a atuar apenas como assessores do governo federal.

Durante toda a sua existência, de 1964 a 1986, o BNH financiou mais de 4,8 milhões de habitações, sendo apenas 20% destinadas à população de baixa renda (RUBIN, BOLFE, 2014). Fica explícito que o banco não atendeu de forma satisfatória a população de baixa renda que é a mais necessitada, mas ainda assim o programa teve sua importância por tentar combater o déficit habitacional a nível nacional.

Depois da extinção do BNH, a Caixa Econômica Federal ficou responsável por suas funções. O déficit habitacional na época ainda não havia sido resolvido e o cenário de endividamento da população agrava a política de habitação nacional, e essa situação se intensificou durante todo o final do milênio. Uma nova política nacional de habitação só entrou em vigor a partir de 1996, durante o Governo FHC, onde novos programas e órgãos foram criados a fim de facilitar o acesso ao financiamento. Os principais exemplos foram o Pró-moradia e o Habitar-Brasil, em que o primeiro visava o financiamento de habitação com recursos do FGTS e o último a melhoria da habitabilidade de residências em zonas insalubres e de risco (SOUZA, 2005).

No início do governo Lula, em 2004, um novo plano habitacional que visava atender setores mais pobres da sociedade foi criado. Concomitante ao plano, o crescimento econômico do país proporcionou o grande investimento na criação de habitações e expansão do saneamento básico para regiões precárias. Já em 2009 surge um dos principais programas de habitação do país, o Minha Casa Minha Vida (PMCMV), num cenário de crise mundial causada pela bolha imobiliária estadunidense em 2008.

O PMCMV consiste no subsídio de parte do valor do imóvel pelo governo a fim de atender as demandas habitacionais dos setores de menor renda. Assim, parcerias entre empresas de construção e o banco federal são firmadas e as unidades são construídas. A população atendida é dividida em faixas de renda, onde cada uma possui valor diferenciado de subsídio e juros, como visto na Figura 17. Os recursos do programa vêm totalmente da União para a faixa 1 e da União e do FGTS para as outras faixas.

Figura 17 - Juros e subsídios PMCMV

PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA			
Faixa	Renda	Juros	Subsídio
1	Até R\$1.800	isento	até 90% do valor total
1,5	Até R\$2.600	de 4,5 a 5%	até R\$47.500
2	Até R\$4.000	de 5 a 6,5%	até R\$29.000
3	Até R\$7.000	de 7,66 a 8,16%	sem subsídio

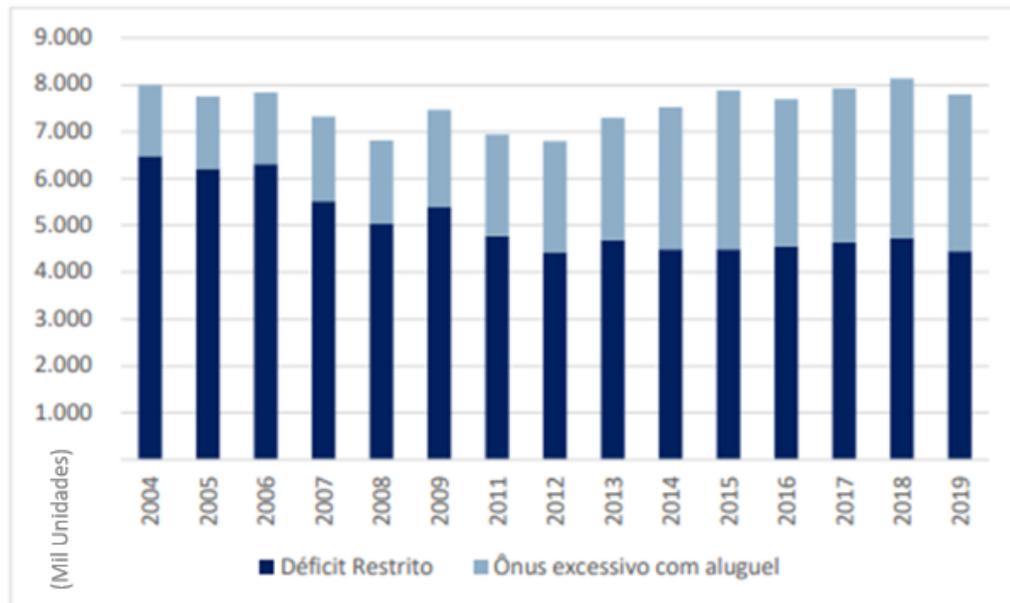
Fonte: do autor, adaptada de (BRASIL, 2020)

Durante os cinco primeiros anos do programa (2009 a 2013) o foco foi a faixa 1, responsável por mais de 80% dos contratos, totalizando 1,5 milhões de habitações. Já os próximos cinco anos (2013 a 2018) a faixa 2 foi a mais contemplada, devido à diminuição do orçamento federal, alcançando 1,6 milhões de unidades (ANTUNES, 2019).

Ao final de dez anos de vigência do programa mais de 5,7 milhões de contratos para construção foram concedidos e 4,3 milhões de unidades foram entregues; cerca de 400 mil empregos por ano e R\$163,4 bilhões arrecadados, superando os subsídios. Além disso, o programa é pertinente ao setor imobiliário visto que representa mais de 75% das unidades habitacionais lançadas no mercado em 2018 (ANTUNES, 2019).

Apesar do seu sucesso em diminuir a parcela de habitação precária do déficit habitacional, a parcela de população que gasta excessivamente com aluguel aumentou, fazendo com que o déficit habitacional em si não fosse resolvido, como visto na Figura 18. Dessa forma, fica evidente que o programa fracassou em contemplar essa parcela da população, que é a que ganha até três salários mínimos.

Figura 18 - Déficit Habitacional



Fonte: (ECCONIT CONSULTORIA ECONÔMICA, 2020)

A modalidade de construção também apresenta problemas sociais, como a incursão da violência e até do tráfico em algumas unidades, principalmente devido à ausência do poder público. Quanto à localização, as unidades no geral são afastadas dos centros urbanos, o que gera a periferização e dificuldade de acesso ao trabalho dos setores contemplados pelo programa.

Quanto às características físicas, a fim de tornar as unidades acessíveis à população e mais lucrativas às empresas, muitas vezes elementos construtivos são negligenciados ou apresentam má execução e/ou materiais de baixa qualidade, o que resulta na queda de desempenho da habitação. Um exemplo é a do desempenho térmico, que é o tema principal desse trabalho.

Desde 2020, o PMCMV foi incorporado ao novo programa Casa Verde e Amarela. A ideia da gestão atual é corrigir os problemas do antigo programa e ampliar o acesso à habitação para a população, por meio de três frentes de ação: o financiamento de imóveis, a regularização fundiária e a reforma de obras já existentes.

A primeira frente representa uma mudança direta no antigo Minha Casa Minha Vida. Agora, os juros são diferentes dependendo da região do país e as faixas foram reorganizadas como pode ser visto na Figura 19, e destaca-se a exclusão da Faixa 1. A segunda frente se justifica pelo grande número de imóveis em situação irregular e a terceira pela quantidade de imóveis em estado de degradação (ANVERSA, 2020).

Figura 19 - Juros e subsídios PCVA

PROGRAMA CASA VERDE E AMARELA				
Grupo	Renda	Juros		Subsídio
		S-SE-CO	N-NE	
1	Até R\$2.000	de 4,5 a 5,25%	de 4,25 a 5%	até R\$47.500
2	Até R\$4.000	de 5 a 7%	de 4,75 a 7%	até R\$29.000
3	Até R\$7.000	de 7,66 a 8,16%	de 7,66 a 8,16%	sem subsídio

Fonte: do autor, adaptada de (BRASIL, 2020)

Se por um lado o novo programa visa corrigir a desigualdade regional com a aplicação de diferentes taxas de juros e com a periferização da população se preocupando com a localização das habitações, por outro está indo ao encontro da principal falha do Minha Casa Minha Vida. Como supracitado, a principal falha do PMCMV foi com a população da Faixa 1, que mesmo com a isenção de juros e subsídio não conseguiu diminuir sua participação da parcela do déficit habitacional, e a extinção da mesma provavelmente não solucionará a questão.

Por se tratar de um programa recente, o mesmo ainda não atua de forma plena. Será necessário um intervalo de tempo maior para que se possa avaliar suas ações, consequências e ajustes. A partir daí se pode realizar uma comparação justa com o programa predecessor.

2.7 PLATAFORMAS DE SIMULAÇÃO

Os cálculos energéticos de uma edificação envolvem um extenso número de variáveis que aumentam exponencialmente a cada informação que é inserida. Por outro lado, a necessidade dos resultados desses cálculos é praticamente mandatória a fim de se dimensionar corretamente os sistemas do edifício e garantir a sua eficiência energética. Nesse cenário, os programas de computador surgem com o intuito de facilitar os cálculos e tornar o dimensionamento mais acessível, garantindo a expansão da eficiência energética.

Em 1997 o Departamento de Energia Estadunidense (DOE) criou o programa *EnergyPlus* com o intuito de difundir a eficiência energética de edificações no país. O programa de computador é capaz de modelar e reproduzir a interação física dos

componentes da edificação, como por exemplo: ar, umidade, transferência de calor dos elementos construtivos, iluminação, ocupação, condicionamento de ar, conforto térmico entre outros. Dessa forma, obtêm-se dados de consumo de energia elétrica, balanço térmico, dimensionamento de sistemas condicionares de ar, iluminação e outros. O projeto de desenvolvimento do *EnergyPlus* se encontra em vigor até os dias de hoje (2021) e o departamento de energia contou com mais de 80 milhões de dólares em financiamento durante esses anos (DOE, 2021). O programa é utilizado e recomendado para cálculos energéticos no mundo inteiro, e no caso do Brasil a ABNT NBR 15575:2013 recomenda explicitamente a utilização do *EnergyPlus* para simulações energéticas.

Devido à dificuldade de criar a geometria da edificação e adereçar propriedades de materiais com a interface do *EnergyPlus*, é de praxe que se utilize outros programas de computador para criar o modelo da construção. Assim, esses outros programas convertem as informações inseridas e os cálculos são realizados pelo *EnergyPlus*, geralmente incluído nos próprios programas. Além disso, esses programas oferecem melhores visualizações de resultados com gráficos e tabelas, o que facilita o tratamento de dados dos resultados.

Além de servirem como facilitadores do *EnergyPlus*, esses programas oferecem plataformas mais intuitivas e amigáveis com o usuário, além de contarem com uma biblioteca de materiais que facilitam as criações dos modelos. Alguns também oferecem cálculos de dispêndios dos sistemas energéticos, dimensionamento de sistemas de água quente, iluminância, geração de energia distribuída e emissão de carbono. Têm-se como exemplo os programas *DesignBuilder*, *OpenStudio* e *TRNSYS*.

O *DesignBuilder* é desenvolvido por uma empresa de mesmo nome situada no Reino Unido. O programa oferece uma interface amigável, uma vasta biblioteca de materiais e componentes, um canal próprio no *YouTube* dedicado à tutoriais de todas as ramificações atendidas pelo programa computacional. A plataforma também conta com os parâmetros de cálculo LEED e AHSRAE 90.1, além de promover as certificações de Contratos de Desempenho Energético (EPC's) no Reino Unido e República da Irlanda (DESIGNBUILDER, 2020).

O *OpenStudio*, talvez o mais difundido no Brasil, é um programa de acesso livre desenvolvido pela empresa *Alliance for Sustainable Energy* em parceria com o Laboratório Estadunidense de Energias Renováveis (NREL) e outros laboratórios dos

Estados Unidos. A plataforma conta com as opções de programa próprio e de programa incorporado ao *SketchUp* -difundido programa de concepção arquitetural da *Google*- em forma de aplicativo interno (ALLIANCE FOR SUSTAINABLE ENERGY, 2020). O programa também oferece uma vasta biblioteca de componentes e graças à sua popularidade conta com inúmeros tutoriais digitais não oficiais, o que facilita seu aprendizado e difusão.

O *TRNSYS* é o programa computacional comercial desenvolvido na Universidade de Wisconsin, que também é utilizado na modelagem energética de edifícios. O diferencial desse programa é que também pode ser utilizado para modelagem de outros sistemas dinâmicos, como o tráfego de pessoas e até processos biológicos (TRNSYS, 2019).

A análise energética também está presente nas plataformas de Modelagem da Informação da Construção (BIM). Além de englobar praticamente todas as etapas de projeto em um só programa, a principal vantagem da análise energética nessa plataforma é a quantidade de informação que os elementos construtivos possuem, o que torna o modelo ainda mais verossímil.

O *Revit* -programa BIM da empresa *Autodesk*- apresenta a opção de análise energética da edificação. Assim como os programas supracitados, o *Revit* retorna informações de custo, iluminação, balanço térmico e outros; e, além disso, cria um painel onde modificações específicas são sugeridas a fim de se diminuir o dispêndio com energia elétrica, como por exemplo a troca do vidro da janela, mudança de orientação da edificação e inserção de elementos de sombreamento. Porém, o programa não apresenta o relatório das temperaturas médias internas, item obrigatório na simulação energética de acordo com a ABNT NBR 15575:2013.

Outra questão é a interoperabilidade entre os programas *Revit* e *EnergyPlus*, que apresenta problemas de compatibilidade. Ao exportar um modelo feito no *Revit* com o intuito de se fazer a simulação energética diretamente no *EnergyPlus*, muitas informações dos componentes são perdidas, inviabilizando esse processo, visto que o principal propósito de se utilizar uma ferramenta BIM é o adereçamento de informação dos elementos construtivos (QUEIRÓZ, GRIGOLETTI, *et al.*, 2019). Esse problema não é pertinente apenas ao *Revit* e *EnergyPlus*, e sim à toda interoperabilidade entre programas de computador de Modelagem da Informação da Construção (BIM) e programas de Modelagem Energética da Construção (BEM) (PORSANI, DE LERSUNDI, *et al.*, 2021). Dessa forma, o *Revit* ainda pode ser

utilizado, mas apenas como diretriz de possíveis mudanças no projeto original, que devem ser verificados em outro programa BEM.

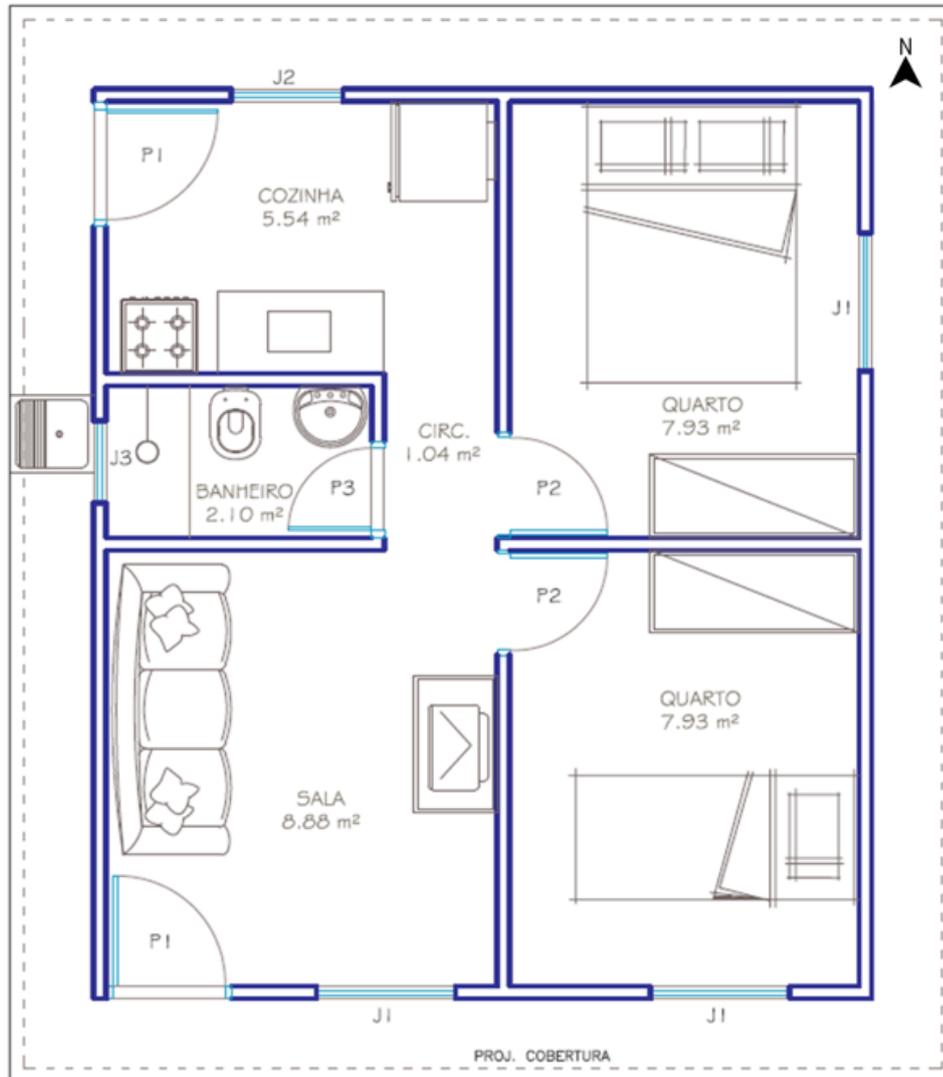
3 DESENVOLVIMENTO DO MODELO COMPUTACIONAL DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

3.1 METODOLOGIA

3.1.1 Modelo padrão

Foi escolhido o projeto realizado pela Gerência de Filial de Desenvolvimento Urbano e Rural (GIDUR) de Vitória, no Espírito Santo (ES). A escolha se deve pela fiel caracterização de um projeto de casa popular, assim como pelo detalhamento dos sistemas construtivos ser suficiente para reproduzir um modelo digital fiel ao original. A casa ocupa uma área de 52,90 m² contando com a calçada de proteção e uma área útil de 33,54 m² que contemplam dois quartos, uma sala, uma cozinha e um banheiro, como pode ser visto na planta baixa mostrada na Figura 20. A orientação da edificação pode ser vista no canto superior direito.

Figura 20 - Planta baixa da habitação modelo



Fonte: (GIDUR, 2006)

3.1.2 Localização

Foram escolhidas três localizações a fim de abranger diferentes características climáticas do país. As cidades escolhidas foram: Rio de Janeiro/RJ, pertencente à zona bioclimática 8, São Paulo/SP, pertencente à zona bioclimática 3 e Cuiabá/MT pertencente à zona bioclimática 7. Essas três cidades foram selecionadas por pertencerem às zonas bioclimáticas que englobam a maior quantidade de cidades de acordo com a distribuição definida na ABNT NBR 15220-3:2005. A Figura 21 mostra as cidades escolhidas.

Figura 21 - Cidades escolhidas

ZONA BIOCLIMÁTICA	CIDADE	ESTADO
8	Rio de Janeiro	RJ
3	São Paulo	SP
7	Cuiabá	MT

Fonte: adaptada de ABNT NBR 15220:2005

Os arquivos climáticos foram retirados do site do EnergyPlus, que utilizam os dados meteorológicos do Banco de Dados Meteorológicos (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), do Projeto de Avaliação de Recursos Solares e de Ventos (SWERA) ou do valor de Teste do Ano de Referência (TRY). Depois, os arquivos foram alocados no diretório para arquivos climáticos do *DesignBuilder* e importados para o programa.

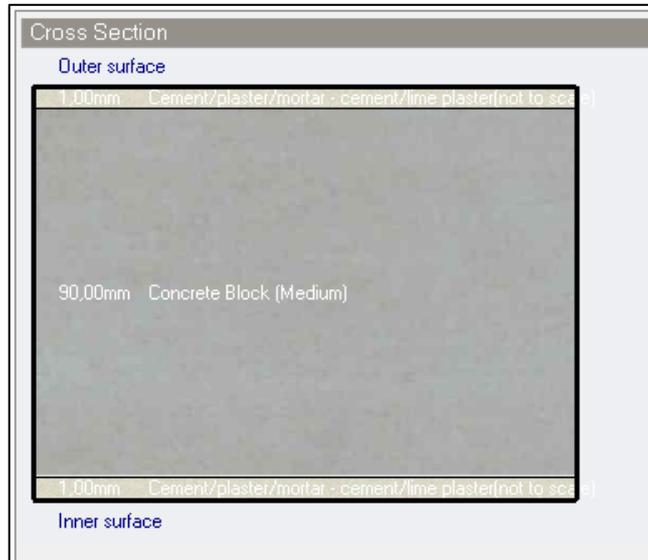
3.1.3 Características físicas dos componentes construtivos

As propriedades físicas dos materiais compõem os cálculos executados pelo programa de computador, logo é de suma importância que os dados alocados no programa sejam o mais verossímil possível. A composição dos elementos construtivos foi feita com base no memorial descritivo do Projeto de Casas Populares da Caixa. Assim, para definir os elementos construtivos foram utilizados os materiais da biblioteca do programa que correspondem àqueles constantes no memorial descritivo. Em seguida, foram comparados os valores calculados pelo *DesignBuilder* com os exemplos da norma e de outras literaturas, a fim de se verificar sua praticabilidade.

3.1.3.1 Paredes

Pelo fato de o projeto não contemplar revestimento, as paredes internas e externas são iguais, compostas por blocos vazados de concreto 9x19x39cm, assentados com argamassa de cimento, cal e areia (1:0,5:8) com pintura de cal, considerada com espessura de 1mm. Assim, têm-se a composição da parede e sua seção transversal, mostrada na Figura 22.

Figura 22 - Seção transversal da parede



Fonte: do autor

A pintura de cal foi representada pelo “Lime Plaster”, que consiste na mistura do hidróxido de cálcio com água e areia e o bloco escolhido foi o “Medium weight”, que é o utilizado para fim estrutural no nível do solo. Dessa forma, o valor da transmitância térmica calculada foi de $U = 2,866 \text{ W/m}^2\text{K}$, como pode ser visto na Figura 23.

Figura 23 - Fator U da parede padrão do projeto

Inner surface		⌵
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)	2,152	
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)	5,540	
Surface resistance (m ² -K/W)	0,130	
Outer surface		⌵
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)	19,870	
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)	5,130	
Surface resistance (m ² -K/W)	0,040	
No Bridging		⌵
U-Value surface to surface (W/m ² -K)	5,588	
R-Value (m ² -K/W)	0,349	
U-Value (W/m²-K)	2,866	

Fonte: do autor

Esse valor foi comparado aos calculados por Weber (2018), que determinou a transmitância térmica (U) para diferentes composições de elementos construtivos; e

para uma composição similar composta de concreto – câmara de ar – concreto – argamassa externa, obteve-se um fator $U = 3,01 \text{ W/m}^2\text{K}$, como mostra a Figura 24. O valor ligeiramente maior se deve à diferença de revestimento e como a diferença foi pequena o valor obtido pelo programa foi considerado suficiente. Vale ressaltar que o trabalho de Weber considerou camadas equivalentes de concreto e ar para o caso de blocos furados de concreto, e por isso eles aparecem separados na composição.

Figura 24 - Fator U da parede 23 de Weber

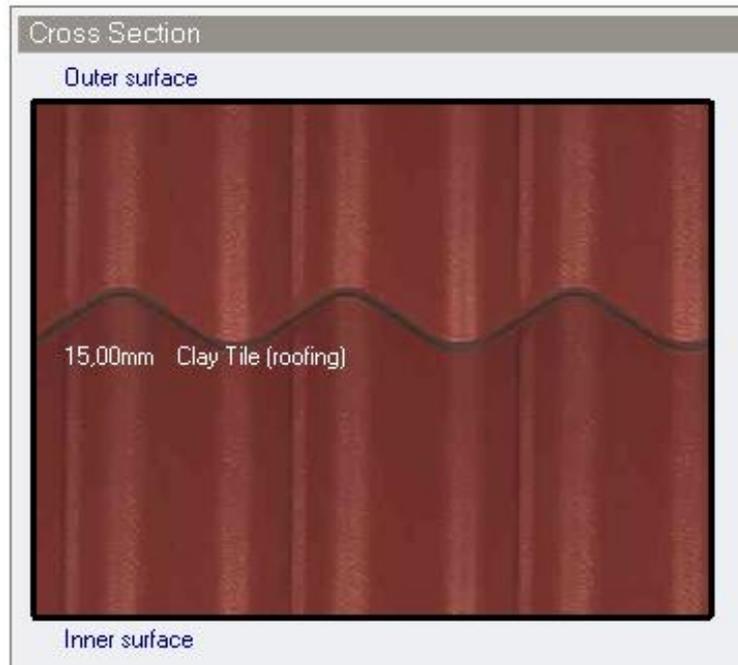
ID	Composição	e (cm)	λ (W/m.°C)	ρ (kg/m ³)	c (kJ/kg.°C)	Rt (m ² .°C/W)	Ut (W/m ² .°C)	Ct (kJ/m ² .°C)
23	Concreto	1,75	1,75	2400	1,00	0,010	3,01	131
	Câmara de Ar	4,54	0,45	-	-	0,099		
	Concreto	1,78	1,75	2400	1,00	0,010		
	Argamassa Externa	2,50	1,15	2000	1,00	0,022		

Fonte: Adaptado de (WEBER, 2018)

3.1.3.2 Cobertura

A cobertura da edificação é composta por telhas de cerâmica planas, com espessura média de 1,0 cm. Como o madeiramento serve apenas de estrutura, ele não foi contabilizado nas camadas, restando apenas a telha para compor essa camada. Assim, a composição da telha será como visto na Figura 25.

Figura 25 - Camadas do telhado



Fonte: do autor

A camada de telha foi definida como “Clay Tile” e a transmitância térmica calculada pelo programa foi de $U = 6,452 \text{ W/m}^2\text{K}$, como visto na Figura 26.

Figura 26 - Fator U da cobertura padrão do projeto

Inner surface		«
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)	4,460	
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)	5,540	
Surface resistance (m ² -K/W)	0,100	
Outer surface		«
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)	19,870	
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)	5,130	
Surface resistance (m ² -K/W)	0,040	
No Bridging		«
U-Value surface to surface (W/m ² -K)	66,667	
R-Value (m ² -K/W)	0,155	
U-Value (W/m²-K)	6,452	

Fonte: do autor

O valor foi comparado às referências da NBR:ABNT 15220:2005 de cobertura que constam na Tabela D.4. O caso do projeto é o mesmo da primeira opção, de cobertura com telhas de barro e sem forro, com fator $U = 4,55 \text{ W/m}^2\text{K}$, visto na Figura 27.

Figura 27 - Fator U da NBR:ABNT 15220

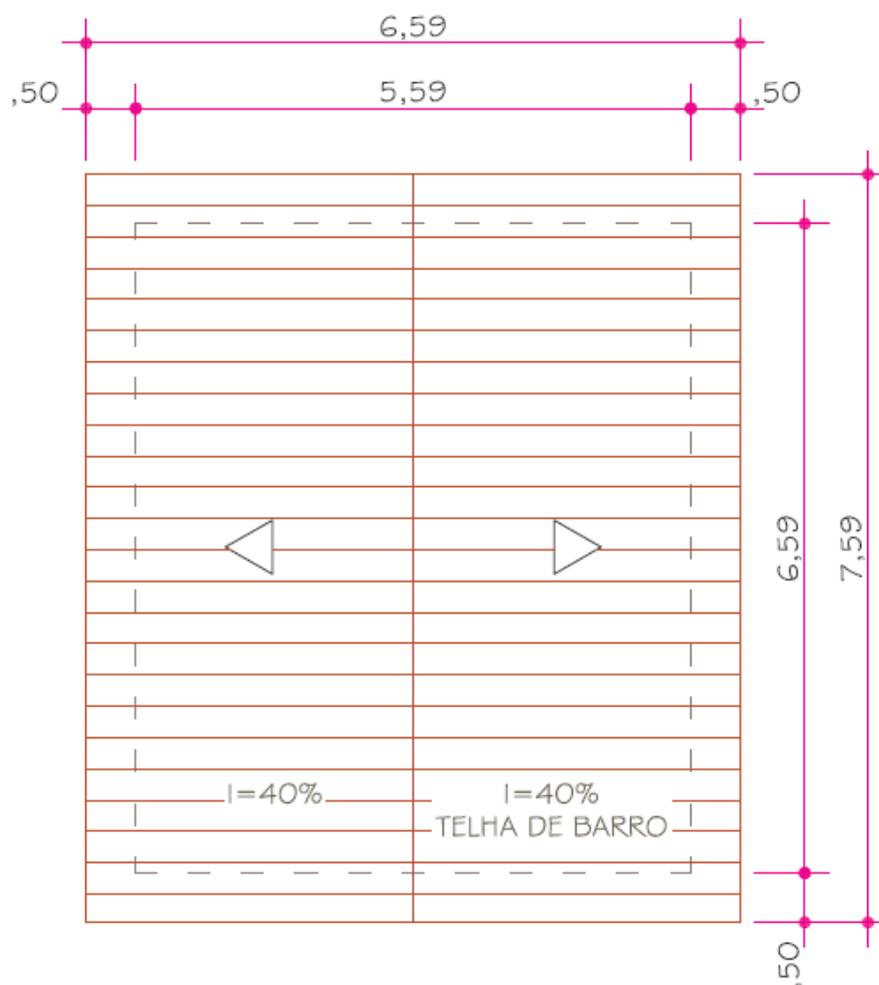
Cobertura	Descrição	U [W/(m ² .K)]	C _T [kJ/(m ² .K)]	φ [horas]
	Cobertura de telha de barro sem forro Espessura da telha: 1,0 cm	4,55	18	0,3

Fonte: (ABNT, 2005)

Nesse caso, a discrepância entre os valores é muito grande, então o valor da transmitância adotado será o da norma ($U = 4,55 \text{ W/m}^2\text{K}$).

A fim de se reproduzir os efeitos de sombreamento do telhado, foram criados dois blocos no modelo computacional. Os blocos apresentam as medidas contidas em projeto, com área de cobertura de aproximadamente $50,0 \text{ m}^2$, como representado na Figura 28.

Figura 28 - Planta de cobertura



Fonte: (GIDUR, 2006)

3.1.3.3 Pisos

A habitação conta com um piso uniforme em toda a sua área, composto de uma camada de 6 cm de lastro de concreto e uma camada de piso cimentado com 2,5 cm de espessura, com argamassa de cimento e areia no traço de 1:3. A seção transversal do piso pode ser vista na Figura 29.

Figura 29 - Seção transversal do piso



Fonte: do autor

O lastro foi definido como “Concrete cast – dense” e a argamassa de cimento e areia como “Cement plaster, sand aggregate” e o Fator U calculado pelo programa foi de $U = 2,941 \text{ W/m}^2\text{K}$, como visto na Figura 30.

Figura 30 - Fator U do piso

Inner surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)	0,342
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)	5,540
Surface resistance (m ² -K/W)	0,170
Outer surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)	4,460
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)	5,540
Surface resistance (m ² -K/W)	0,100
No Bridging	
U-Value surface to surface (W/m ² -K)	14,282
R-Value (m ² -K/W)	0,340
U-Value (W/m²-K)	2,941

Fonte: do autor

Devido à falta de referências para pisos, comparou-se o elemento construtivo com a parede nº 27 composta de bloco de concreto 14x19x39cm e argamassa externa com espessura de 2,5 cm do trabalho de Weber (2018). A escolha se deu pelo fato de a espessura equivalente de concreto ser de 5,92 cm, muito próximo dos 6 cm do lastro. Essa composição atingiu o valor de Fator U de $U = 2,87 \text{ W/m}^2\text{K}$, como visto na Figura 31.

Figura 31 – Características físicas e térmica da parede nº 27

ID	Composição	e (cm)	λ (W/m.°C)	ρ (kg/m ³)	c (kJ/kg.°C)	Rt (m ² .°C/W)	Ut (W/m ² .°C)	Ct (kJ/m ² .°C)
27	Concreto	2,96	1,75	2400	1,00	0,017	2,87	192
	Câmara de Ar	8,08	0,65	-	-	0,123		
	Concreto	2,96	1,75	2400	1,00	0,017		
	Argamassa Externa	2,50	1,15	2000	1,00	0,022		

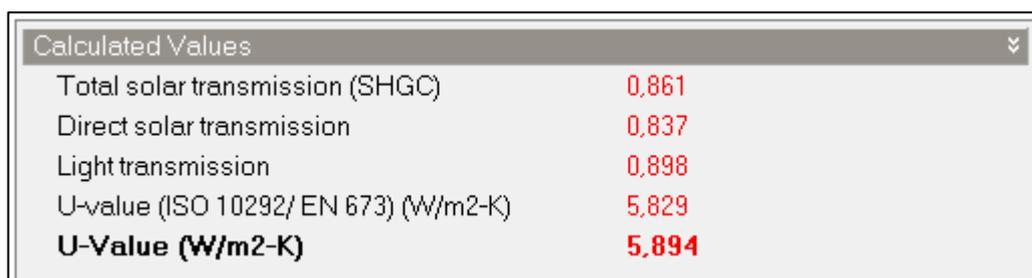
Fonte: Adaptado de (WEBER, 2018)

O valor ligeiramente menor encontrado para a parede 27 se deve à presença de uma camada de ar, oriunda do bloco de concreto. Por se tratar de uma diferença pequena, o valor calculado pelo programa foi considerado suficiente.

3.1.3.4 Janelas

O projeto especifica a utilização de vidro liso com espessura de 3mm em todas as janelas da casa. Foi escolhido o vidro “3mm single glazing (clear glass)” da biblioteca que representa um vidro liso de folha única, com a espessura especificada em projeto. Isso resultou em um Fator U de 5,894 W/m²K, como visto na Figura 32.

Figura 32 - Fator U do vidro



Calculated Values	
Total solar transmission (SHGC)	0,861
Direct solar transmission	0,837
Light transmission	0,898
U-value (ISO 10292/ EN 673) (W/m2-K)	5,829
U-Value (W/m2-K)	5,894

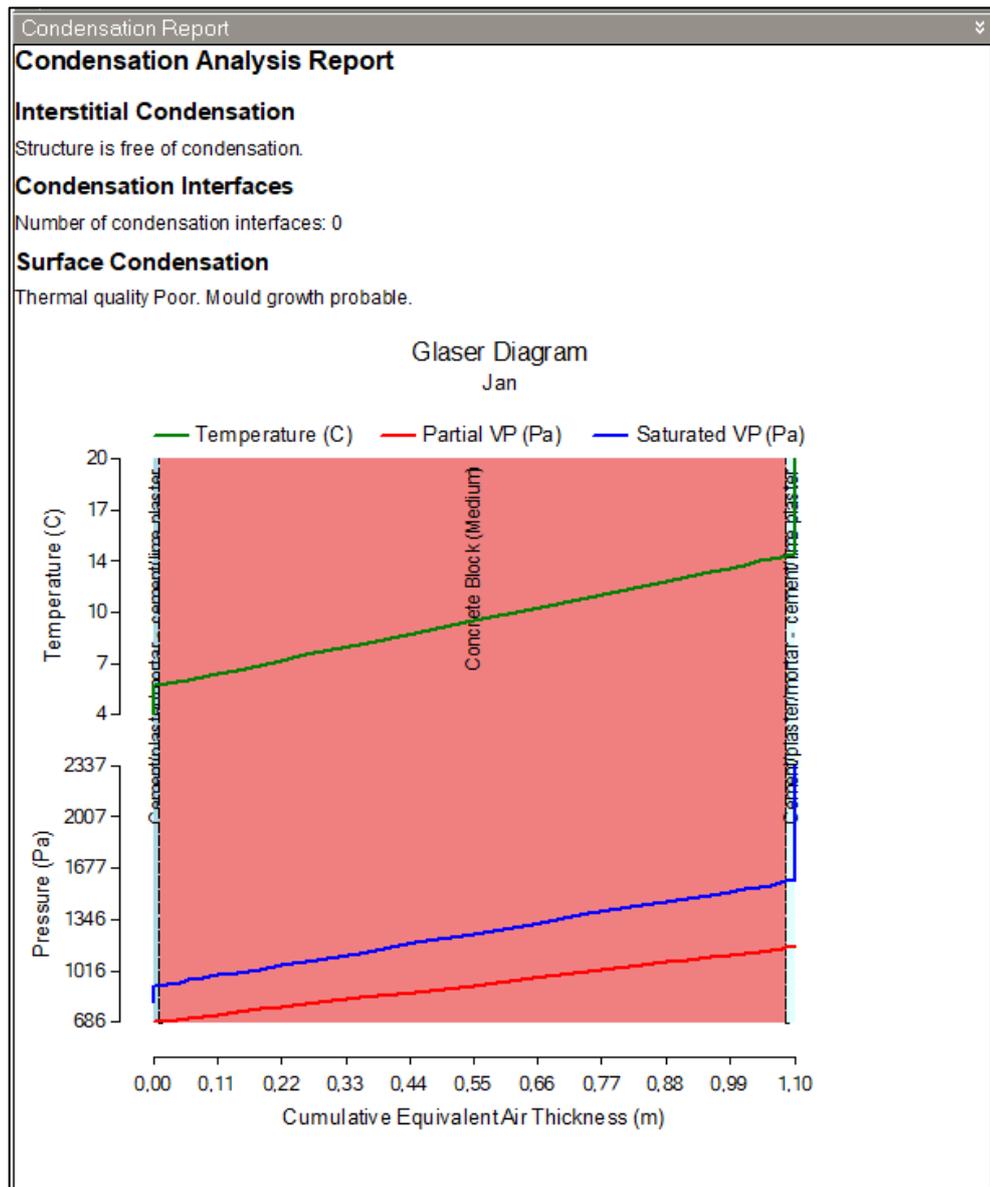
Fonte: do autor

Esse valor foi comparado com diferentes vidros de diferentes espessuras do Anexo V do PBE EDIFICA (INMETRO, 2013), todas maiores que a utilizada em projeto. Como esperado, os valores dos vidros com espessura maior que a do projeto apresentam um fator U menor, mas não tão menor. A média dos valores que constam no catálogo, para vidros claros monolíticos entre 6 e 8 mm é de aproximadamente 5,6 W/m²K, o que representa um valor bem próximo do calculado pelo programa de computador. Assim, o valor calculado foi o utilizado.

Para a esquadria, foi utilizada a opção “Painted wooden indow frame”, que representa uma moldura de madeira pintada, com espessura definida de 4 cm.

Vale citar que nessa seção das características físicas dos componentes construtivos, o programa *DesignBuilder* também fornece o Diagrama de Glaser, que informa a análise de condensação das superfícies e a possibilidade de haver acúmulo excessivo de umidade nas mesmas como descrito na ISO 13788:2012. Essa análise além de não ser muito precisa e aplicável para todos os climas, não é pertinente a esse trabalho e por isso não foi desenvolvida acima. A fim de se ilustrar o diagrama, a Figura 33 representa o Diagrama de Glaser para a parede do modelo padrão.

Figura 33 - Diagrama de Glaser para a parede do modelo padrão



Fonte: do autor

3.1.3.5 Resumo

A Figura 34 representa um resumo dos valores de fator U obtidos com o programa de computador, os obtidos de referências externas e os adotados, para cada componente.

Figura 34 - Resumo dos valores de Fator U

Componente	Fator U (W/m ² K)			
	DesignBuilder	Referência	Discrepância	Utilizado
Parede	2,866	3,010	5,02%	2,866
Cobertura	6,452	4,550	29,48%	4,550
Piso	2,941	2,870	2,41%	2,941
Janela	5,894	5,600	4,99%	5,894

Fonte: do autor

3.1.4 Cargas internas

Toda edificação em uso possui cargas internas, que são basicamente pessoas e equipamentos que trocam calor com o ambiente. A quantidade desse calor varia, no caso das pessoas, de acordo com a quantidade de pessoas e a atividade metabólica desempenhada por elas. No caso dos equipamentos, de acordo com a potência dos mesmos.

Quanto à ocupação das pessoas, foram definidas a quantidade de pessoas em cada ambiente, a taxa metabólica de acordo com a atividade desempenhada e a vestimenta utilizada. As taxas utilizadas foram definidas pelo Instituto de Engenheiros Licenciados de Serviços de Construção do Reino Unido (CIBSE) e pela Associação Americana de Engenheiros de Aquecimento, Resfriamento e Condicionamento de Ar (ASHRAE) dos Estados Unidos; e as vestimentas foram definidas como 1,0 clo para o inverno e 0,5 clo para o verão, o que representa roupas padrão de cada estação. Utilizou-se também um fator relativo à área corporal de 0,90 a fim de se normalizar um valor tanto para homens como para mulheres.

Os valores para os equipamentos são baseados no Método de Cálculo Nacional do Reino Unido (UK-NCM) para edificações residenciais, que define a quantidade média de calor por metro quadrado de acordo com a utilização do ambiente residencial. A

Figura 35 representa um resumo da caracterização das cargas internas de cada ambiente.

Figura 35 - Cargas internas

ZONA	ÁREA	EQUIPAMENTO		OCUPAÇÃO	TAXA METABÓLICA		
	(m ²)	(W/m ²)	Fonte	(Pessoas)	Atividade	(W/pessoa)	Fonte
Banheiro	2,46	1,67	UK-NCM	1	Parado em pé	144	ASHRAE
Cozinha	7,27	30,28	UK-NCM	2	Cozinhando	180	ASHRAE
Quarto 1	8,74	3,58	UK-NCM	2	Deitado na cama	90	CIBSE
Quarto 2	8,74	3,58	UK-NCM	2	Deitado na cama	90	CIBSE
Sala	9,74	3,90	UK-NCM	2	Sentado quieto	108	ASHRAE

Fonte: do autor

Quanto às agendas de ocupação e de utilização dos equipamentos, elas são definidas pela aplicação de um fator que varia de 0 a 1, com 0 representando a não ocupação/utilização e 1 representando a total ocupação/utilização, e os valores decimais dentro desse intervalo representam a ocupação/utilização parcial. As agendas utilizadas foram as do modelo residencial da UK-NCM.

3.1.5 Iluminação

A iluminação foi definida com base no modelo Multifamiliar da ASHRAE STANDARD 90.1 (ASHRAE, 2019). O modelo consiste num fluxo de potência luminosa de 8,0 W/m² que foi aplicada para todos os cômodos e com lâmpadas instaladas no teto, o que resulta numa fração radiante de 0,72 e uma fração visível de 0,18. O funcionamento da iluminação foi definido com uma agenda de funcionamento consonante com a agenda de ocupação e não conta com sistema de automatização.

3.1.6 Incidência solar

A incidência solar foi calculada com base no modelo de céu nublado definido pela Comissão Internacional em Iluminação (CIE) na ISO 15469:2004 (E)/CIE S 011/E: 2003 como o modelo padrão. Além disso, o plano de trabalho foi definido como 75 cm acima do solo, padrão utilizado pelo programa *DesignBuilder*.

3.1.7 Ventilação natural

A ventilação natural da habitação foi calculada com base nos dados meteorológicos da localização e das características construtivas da habitação. A ventilação natural é calculada com base na diferença de pressão externa e interna, com o horário de funcionamento das janelas consonante com o da utilização dos cômodos.

3.1.8 Data

Foi utilizado o ano base de 2002 como padrão do *DesignBuilder*, não influenciando em nada na simulação. Além disso, a simulação conta com a opção de utilização de horário de verão, a fim de se adequar a rotina de utilização da iluminação na residência durante o período do verão. Esse período está compreendido entre os dias 16 de outubro e 10 de fevereiro, e está representando por duas barras verticais vermelhas nos gráficos mostrados no próximo tópico.

4 RESULTADOS

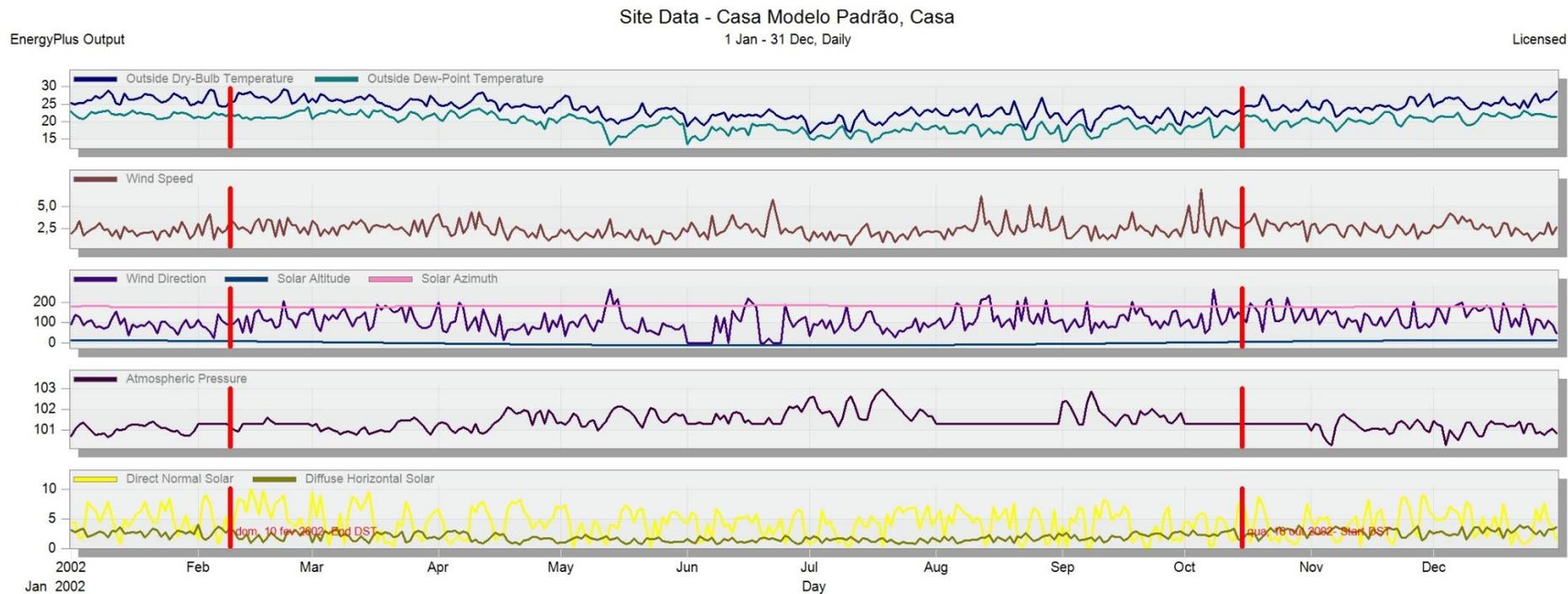
Para cada cidade, serão analisadas as características meteorológicas da localidade, o balanço térmico da edificação, a incidência solar em cada cômodo da edificação e o conforto térmico dos habitantes. No final do capítulo, será feito um resumo dos resultados das cidades e será verificado a sua concordância ou não com o estipulado pela ABNT NBR 15575.

4.1 RIO DE JANEIRO

A Figura 36 apresenta as características meteorológicas da cidade do Rio de Janeiro divididas em cinco gráficos: o primeiro apresenta a temperatura de bulbo seco externa e a temperatura de ponto de orvalho em °C; o segundo apresenta a velocidade do vento em m/s; o terceiro apresenta a direção do vento, altitude solar e azimute solar em °; o quarto apresenta a pressão atmosférica em kPa e o quinto apresenta a radiação solar direta e difusa em kW/m².

Os principais agentes do balanço térmico geral da edificação estão exibidos na Figura 37: vidros, paredes externas, pisos, paredes internas, telhados, ventilação interna, ventilação externa, iluminação, equipamentos, ocupação e ganhos solares, respectivamente na legenda. Fica evidente a importância dos elementos construtivos para o balanço térmico: são os principais causadores de ganho (paredes externas) e dissipação de calor (pisos). Enquanto que os telhados atuam nas duas frentes, apresentando valores majoritariamente positivos durante a primavera e o verão, e valores majoritariamente negativos durante o outono e o inverno; as paredes internas apresentam variações positivas e negativas ao longo do ano todo. Depois desses elementos, os ganhos solares das janelas e de ocupação são os mais representativos, seguidos dos equipamentos e iluminação, e depois os vidros e ventilações.

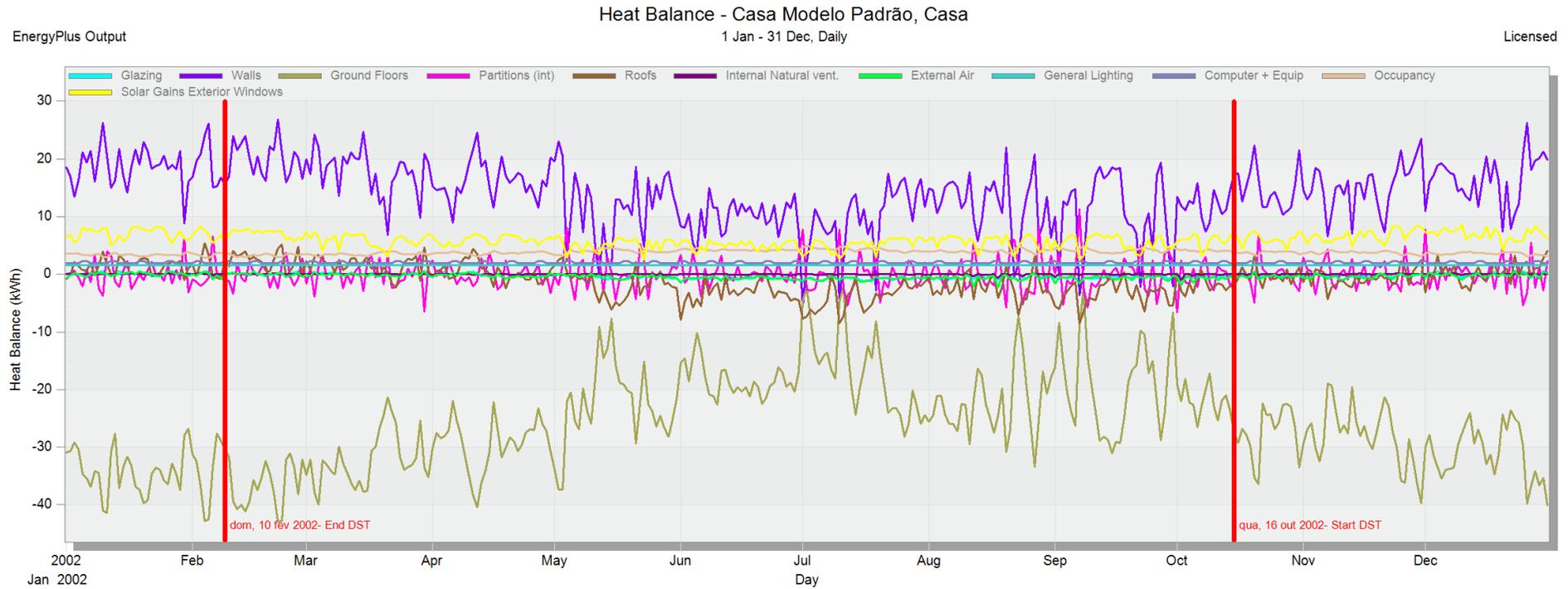
Figura 36 - Características Meteorológicas da cidade do Rio de Janeiro



Fonte: do autor

Percebe-se que as temperaturas variam entre os valores de 15° C e 30° C; com velocidade do vento atingindo picos próximos de 5 m/s e direções dos ventos com predominância nas direções Sudeste e Sul; e grandes taxas de radiação solar.

Figura 37 - Balanço térmico Rio de Janeiro

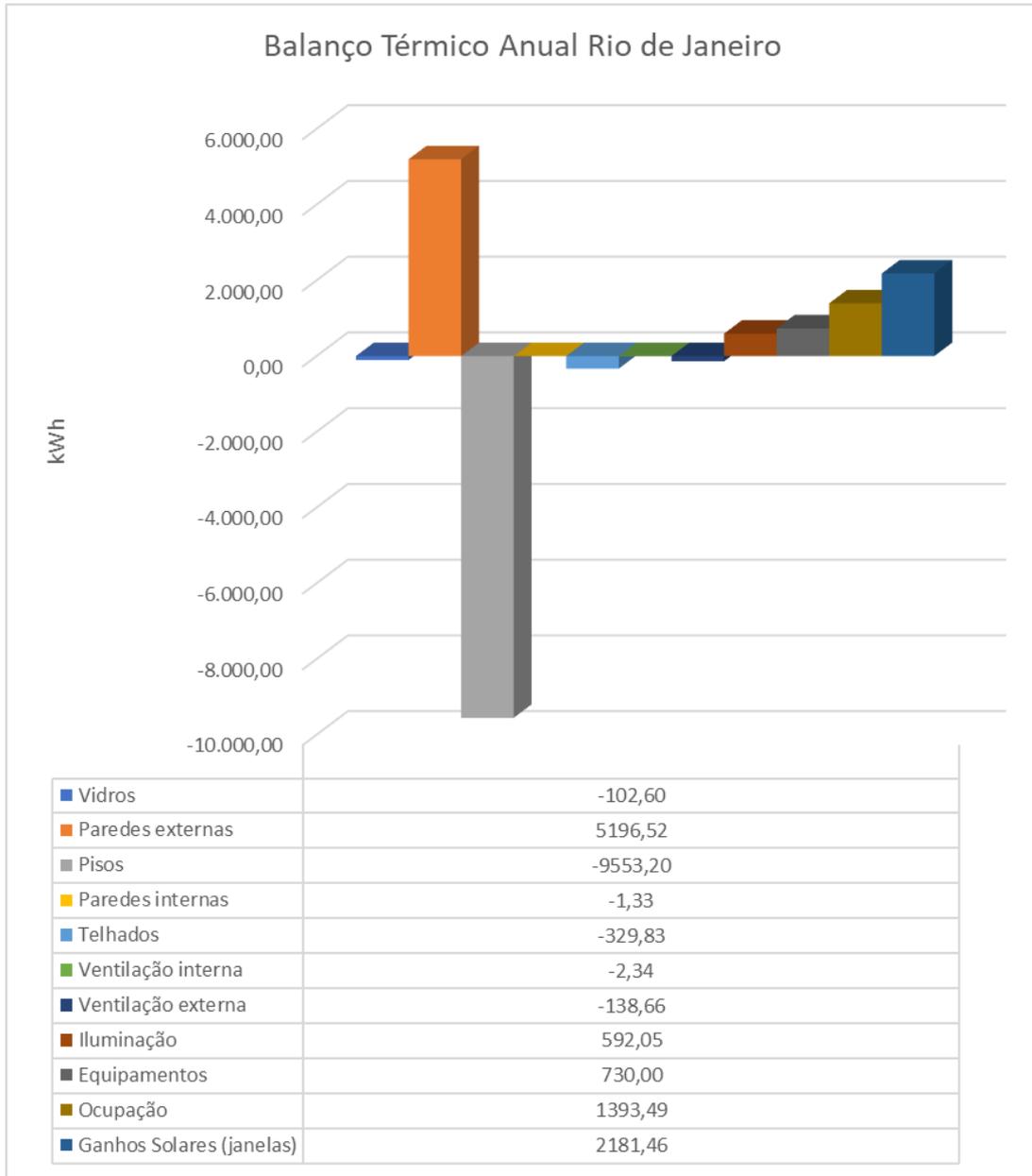


Fonte: do autor

Têm-se a cor ciano representando os vidros; a cor roxa representando as paredes externas; a cor marrom clara, os pisos; a rosa, as paredes internas; a marrom, os telhados, a roxa escura, a ventilação natural interna; a verde claro, a ventilação externa; a azul representa a iluminação elétrica; a azul escuro, os equipamentos elétricos; a rosa claro, a ocupação; e por fim, em amarelo, os ganhos solares das janelas.

O balanço térmico anual da habitação é exibido na Figura 38. Nela pode-se ver o valor final em kWh para cada componente, sendo os valores positivos os componentes que ao longo do ano contribuíram mais para o ganho de temperatura e os valores negativos os que contribuíram mais para a perda de temperatura.

Figura 38 - Balanço térmico anual Rio de Janeiro



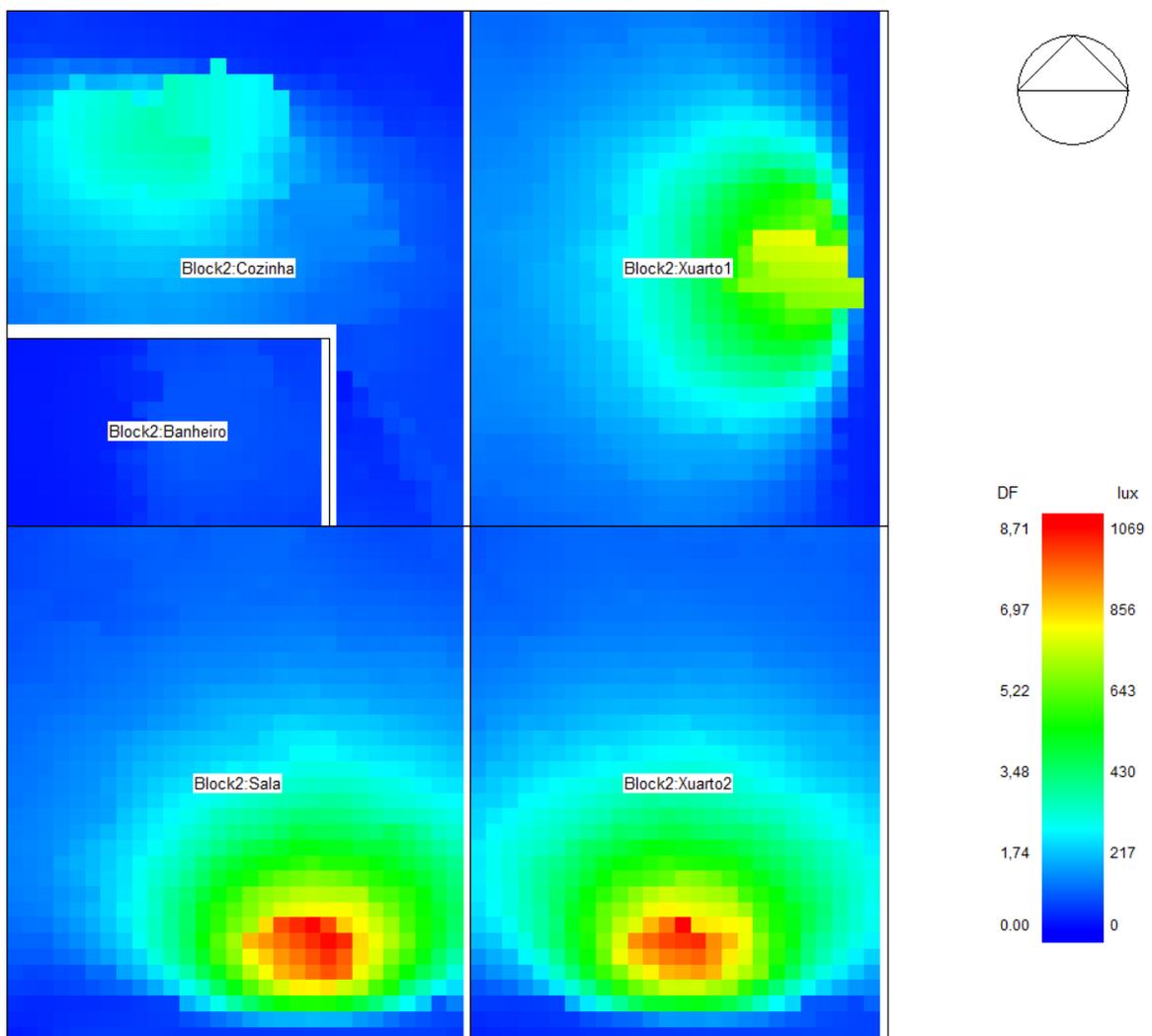
Fonte: do autor

Quanto à iluminação natural, percebe-se que os cômodos da sala e do segundo quarto são os mais afetados, como pode ser visto na Figura 39. O maior valor

máximo de iluminância é o do segundo quarto, com 1069,56 lux; enquanto que o menor valor máximo de iluminância é o do banheiro, com 97,46 Lux.

Pode-se ver na Figura 39 a influência do sombreamento na luz solar incidente dentro da casa: para as janelas da sala e dos quartos que possuem a mesma altura de peitoril, a faixa azul adjacente à parede da janela é praticamente a mesma e representa a área sombreada pelo próprio peitoril e pelo telhado, e essa área nas outras janelas é significativamente maior devido ao aumento da altura do peitoril e proximidade com o telhado. O banheiro, por exemplo, é o mais afetado, com quase metade de sua área sem incidência solar.

Figura 39 - Incidência solar Rio de Janeiro



Fonte: do autor

A Figura 40 representa os resultados relativos ao conforto térmico, onde o primeiro gráfico apresenta as temperaturas do ar, temperatura radiante, temperatura de operação e temperatura de bulbo seco exterior; o segundo apresenta a umidade relativa e o percentual de pessoas insatisfeitas (PPD) de Fanger; e o último o voto predito médio (PMV) de Fanger.

A fim de se ter um detalhamento melhor do último gráfico, verificou-se o PMV por hora durante o ano. A Figura 41 representa esse gráfico e o intervalo destacado pelo retângulo vermelho pontilhado é referente à zona de conforto térmico, entre -0,5 e +0,5 PMV. Os valores de pico diário encontrados foram de + 1,009 no dia 12 de abril e de - 2,138 no dia 9 de outubro. Os seus gráficos horários de balanço térmico estão exibidos na Figura 42, respectivamente de cima para baixo.

Como pode-se ver, há uma grande variação de conforto ao longo do ano inteiro, seja para o calor quanto para o frio. Isso caracteriza um ambiente que absorve calor facilmente, mas não consegue reter o mesmo. Isso é ratificado pelo fato da maioria dos picos de calor do PMV serem registrados no final da tarde e começo da noite, enquanto que os picos de frio são registrados a madrugada.

Esse comportamento é exibido na Figura 42, onde vê-se que o principal agente de ganho de calor, a parede externa, aumenta exponencialmente seu ganho térmico durante o dia por conta da radiação solar, o que torna a habitação desconfortável para o calor, e logo depois do pôr do sol transfere seu calor principalmente para as paredes internas e pisos, porém com grande perda e por uma curta duração, resultando em um ambiente desconfortável para o frio durante à noite madrugada.

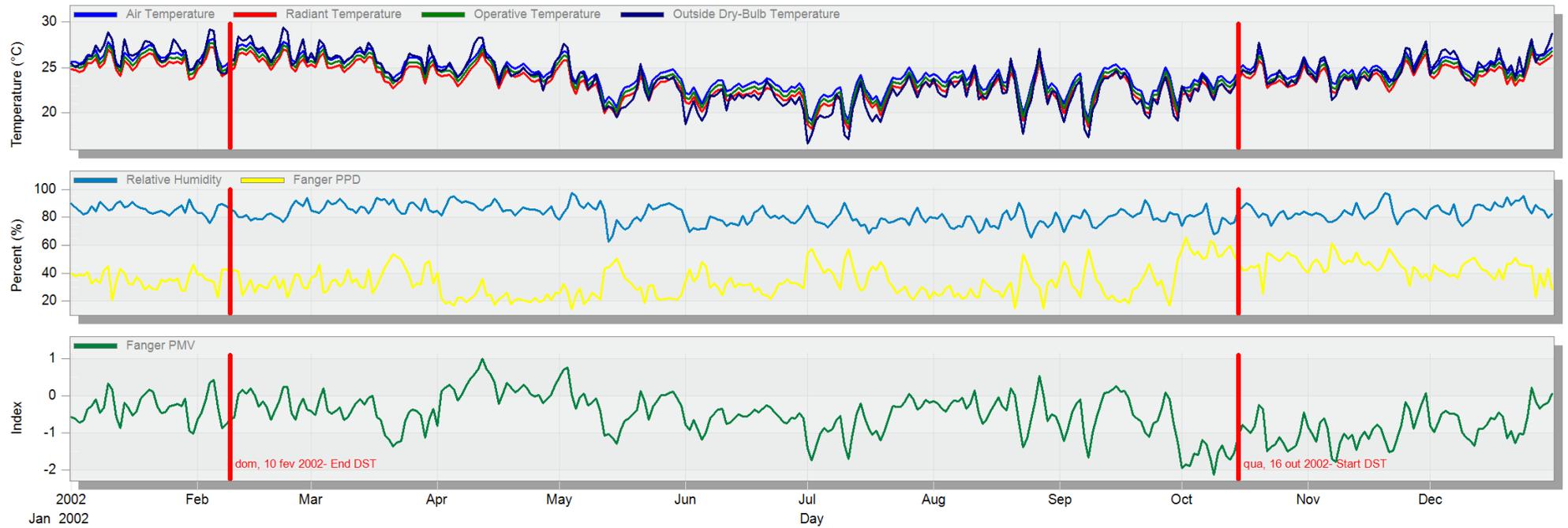
Figura 40 - Conforto térmico Rio de Janeiro

Comfort - Casa Modelo Padrão, Casa

EnergyPlus Output

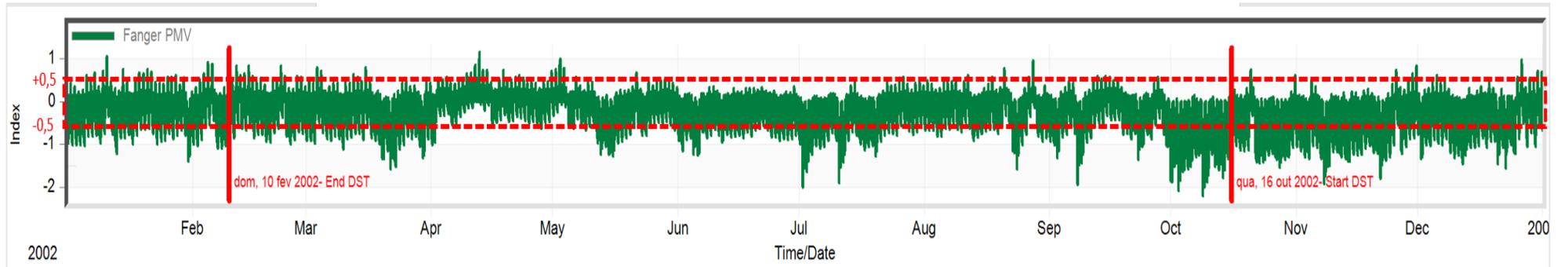
1 Jan - 31 Dec (Zone conditions reported for occupied periods, defined by schedule), Daily

Licensed



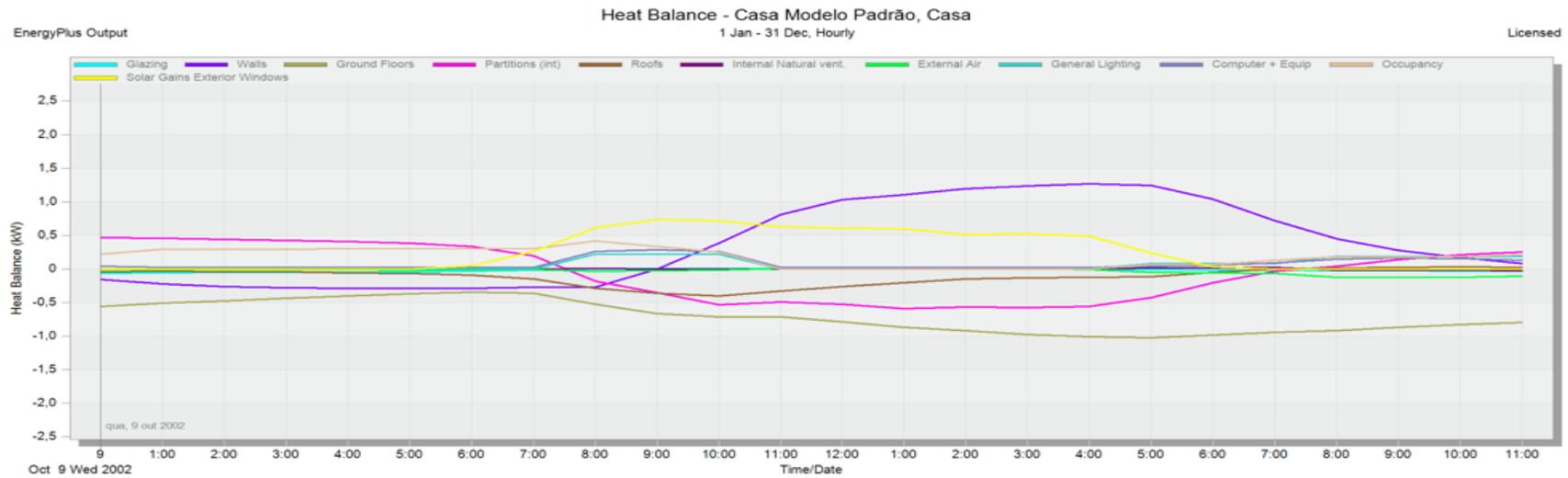
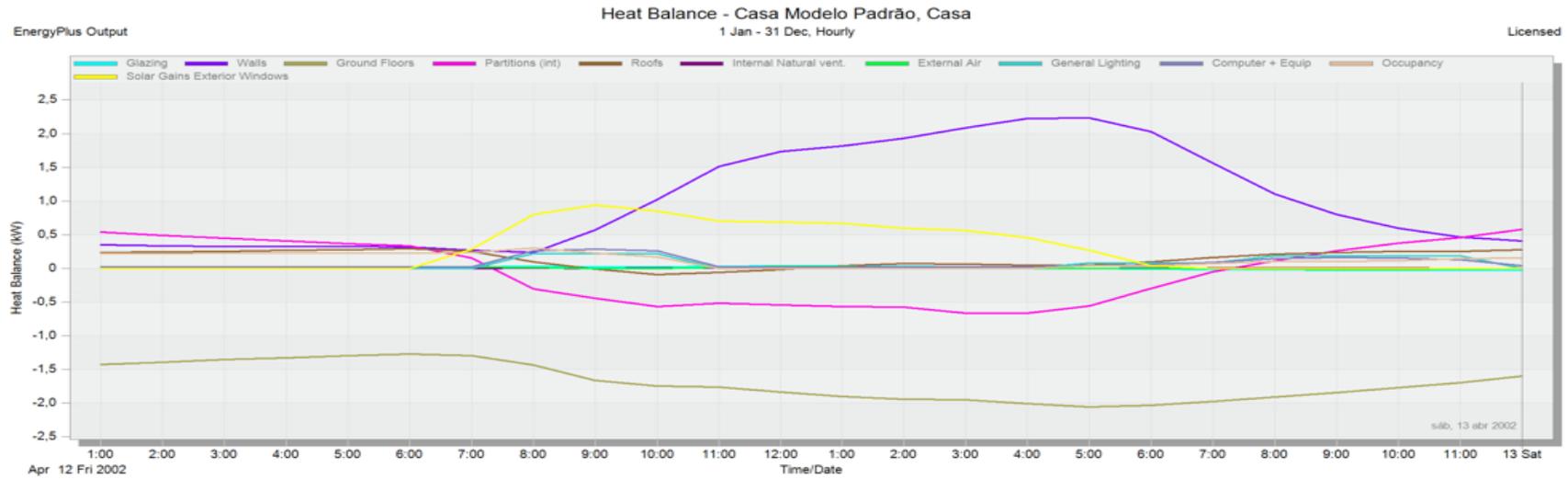
Fonte: do autor

Figura 41 - PMV de Fanger por hora Rio de Janeiro



Fonte: do autor

Figura 42 - Balanço térmico dias críticos Rio de Janeiro



Fonte: do autor

Para determinar o cômodo mais desconfortável termicamente da habitação, investigou-se as horas de desconforto para cada um deles, assim como suas temperaturas de operação. O resultado pode ser visto na Figura 43.

Figura 43 - Desconforto por cômodo Rio de Janeiro

ZONA	T DE OPERAÇÃO (°C)			DESCONFORTO		CONFORTO
				(% da ocupação)		(% da ocupação)
	mínima	média	máxima	Frio	Calor	
Banheiro	16,96	23,96	30,06	1,33%	51,43%	47,24%
Cozinha	16,89	24,26	30,50	0,00%	82,94%	17,06%
Quarto 1	17,22	24,33	30,40	92,65%	0,17%	7,17%
Quarto 2	17,17	23,89	29,99	94,22%	0,05%	5,73%
Sala	16,76	23,88	31,00	18,67%	27,91%	53,42%

Fonte: do autor

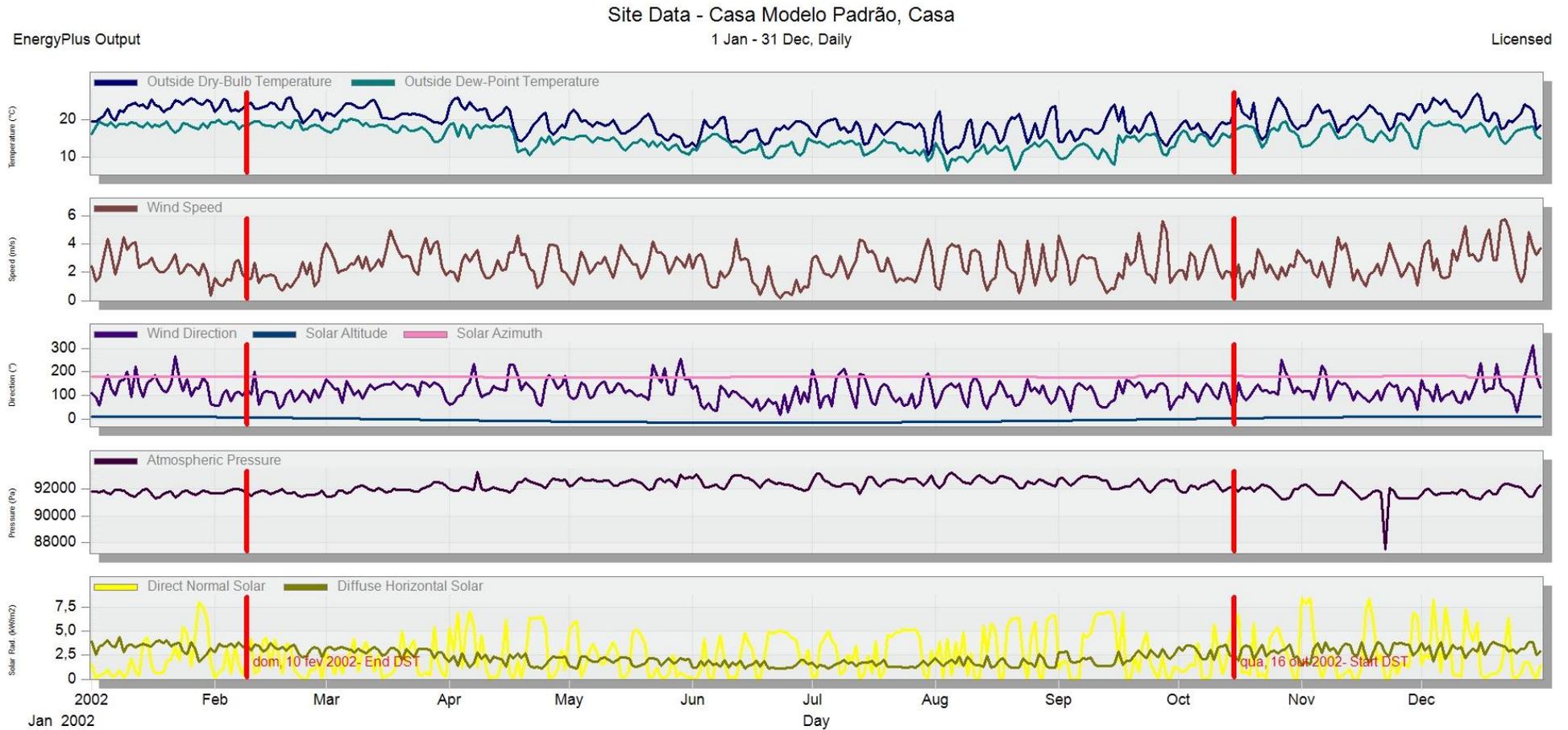
Os quartos são termicamente desconfortáveis praticamente durante toda a sua ocupação, e isso se deve principalmente ao fato de terem sua ocupação plena à noite e madrugada, período de maior desconforto de frio da edificação. A sala apresentou temperatura mais alta em relação aos outros cômodos, o que provavelmente se deve ao fato de uma de suas paredes estarem localizadas na fachada oeste da edificação, a que recebe sol no período da tarde durante todo o ano. A cozinha, por sua vez, apresentou desconforto para o calor durante quase o ano todo, e, provavelmente, isso se deve ao fato de suas paredes estarem localizadas na fachada norte, a que mais recebe incidência solar o ano todo e a fachada oeste, que recebe incidência solar no período da tarde durante todo o ano.

Analisando-se a casa inteira, o desconforto ao longo do ano para o frio atinge 44,14% do período de ocupação, enquanto que de calor atinge 3,67%. O conforto corresponde à 52,19% do período de ocupação.

4.2 SÃO PAULO

Primeiramente, a Figura 44 representa os dados meteorológicos da cidade de São Paulo. A configuração dos dados é a mesma da localidade do Rio de Janeiro, dividida em cinco gráficos.

Figura 44 - Características Meteorológicas da cidade de São Paulo

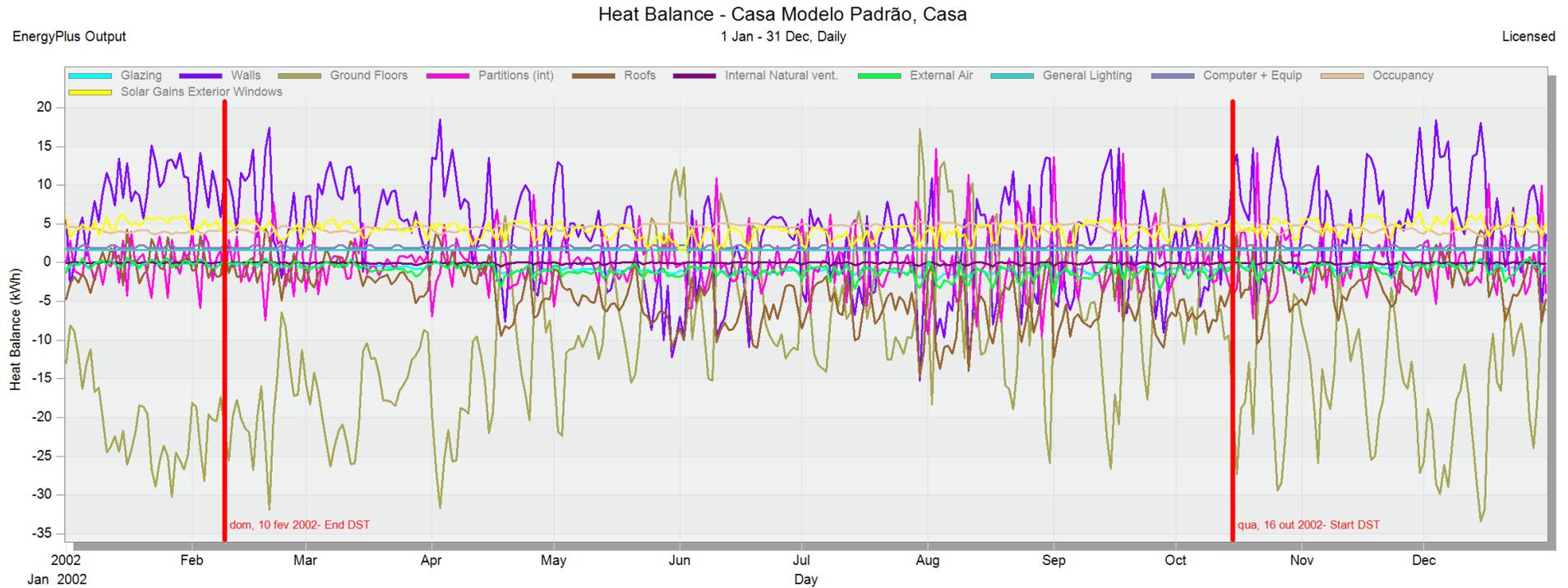


Fonte: do autor

As temperaturas variam entre menos de 10° e até por volta de 25° C, com ventos chegando à 6m/s e com direções predominantes Nordeste, Sudeste e Sul, com radiação solar menor que em relação ao Rio de Janeiro/RJ.

O próximo resultado, que pode ser visto na Figura 45, é o do balanço térmico do edifício. Ratifica-se a importância dos elementos construtivos para o balanço térmico, e assim como para o Rio de Janeiro, as paredes são as principais causadoras de ganho térmico e os pisos são os principais dissipadores térmicos. Entretanto, para a cidade de São Paulo, os dois elementos também desempenham papel importante no outro lado do eixo, como pode-se ver as paredes responsáveis pela perda de calor durante o outono e verão e os pisos responsáveis pelo ganho de calor durante o mesmo período. Já os telhados apresentam comportamento semelhante aos da cidade do Rio de Janeiro, mas com amplitudes maiores. Em seguida, vemos a ocupação e os ganhos solares pelas janelas desempenhando papel numérico quase que semelhante, seguido dos ganhos com equipamentos e iluminação e por fim os vidros e ar externo com amplitudes também maiores que o da cidade do Rio de Janeiro.

Figura 45 - Balanço térmico São Paulo

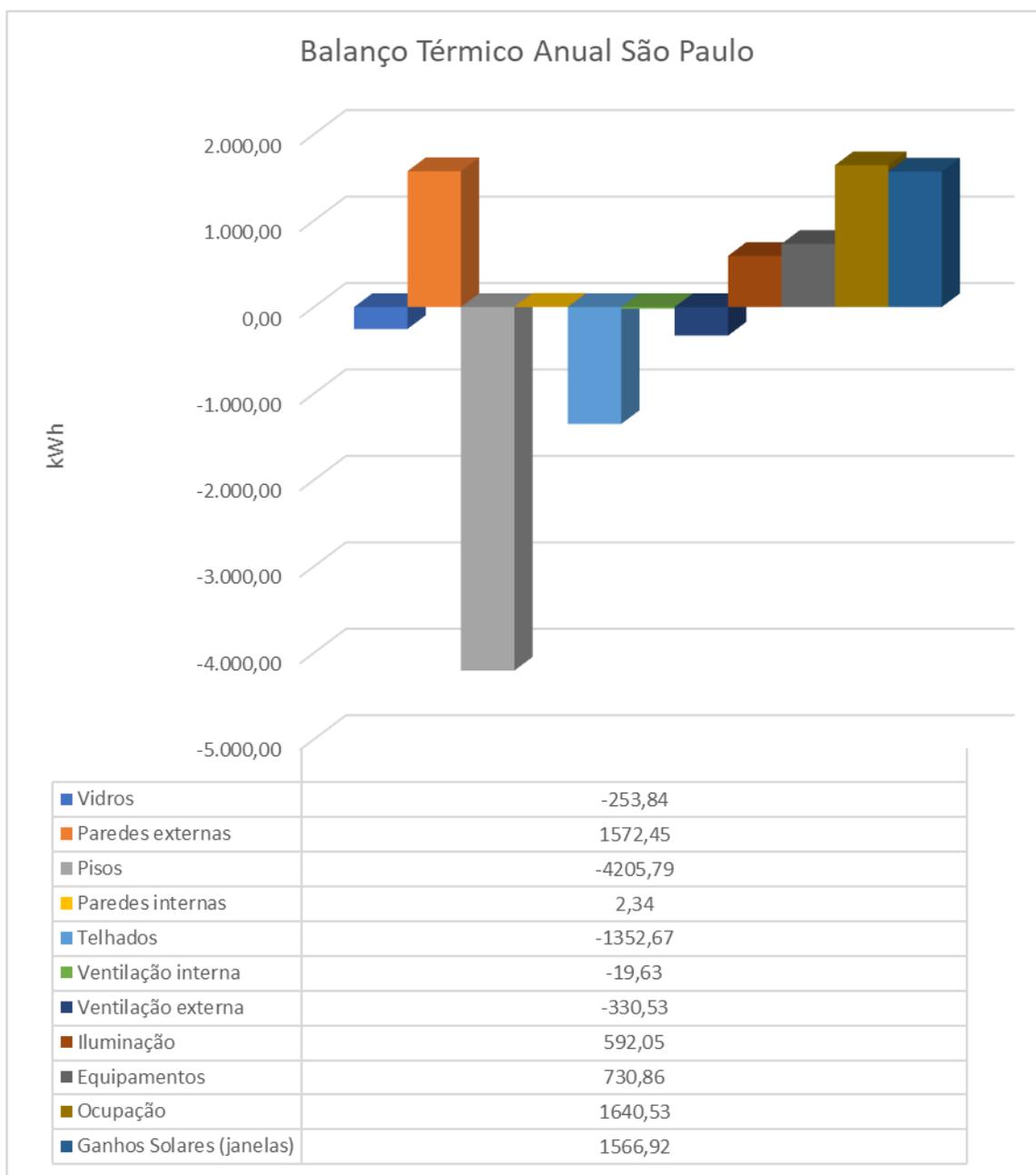


Fonte: do autor

Assim como o exemplo anterior, têm-se a cor ciano representando os vidros; a cor roxa representando as paredes externas; a cor marrom clara, os pisos; a rosa, as paredes internas; a marrom, os telhados, a roxa escura, a ventilação natural interna; a verde claro, a ventilação externa; a azul representa a iluminação elétrica; a azul escuro, os equipamentos elétricos; a rosa claro, a ocupação; e por fim, em amarelo, os ganhos solares das janelas.

O balanço térmico anual de cada elemento é exibido na Figura 46. Comparando-se com o Rio de Janeiro, destaca-se um papel mais importante do telhado para a perda de calor e o papel da ocupação e dos ganhos solares pelas janelas quase que equivalentes. No geral, percebe-se a diferença da grandeza dos eixos em relação ao gráfico da cidade do Rio de Janeiro na Figura 38, que mostra uma relação de quase metade das grandezas em relação ao balanço.

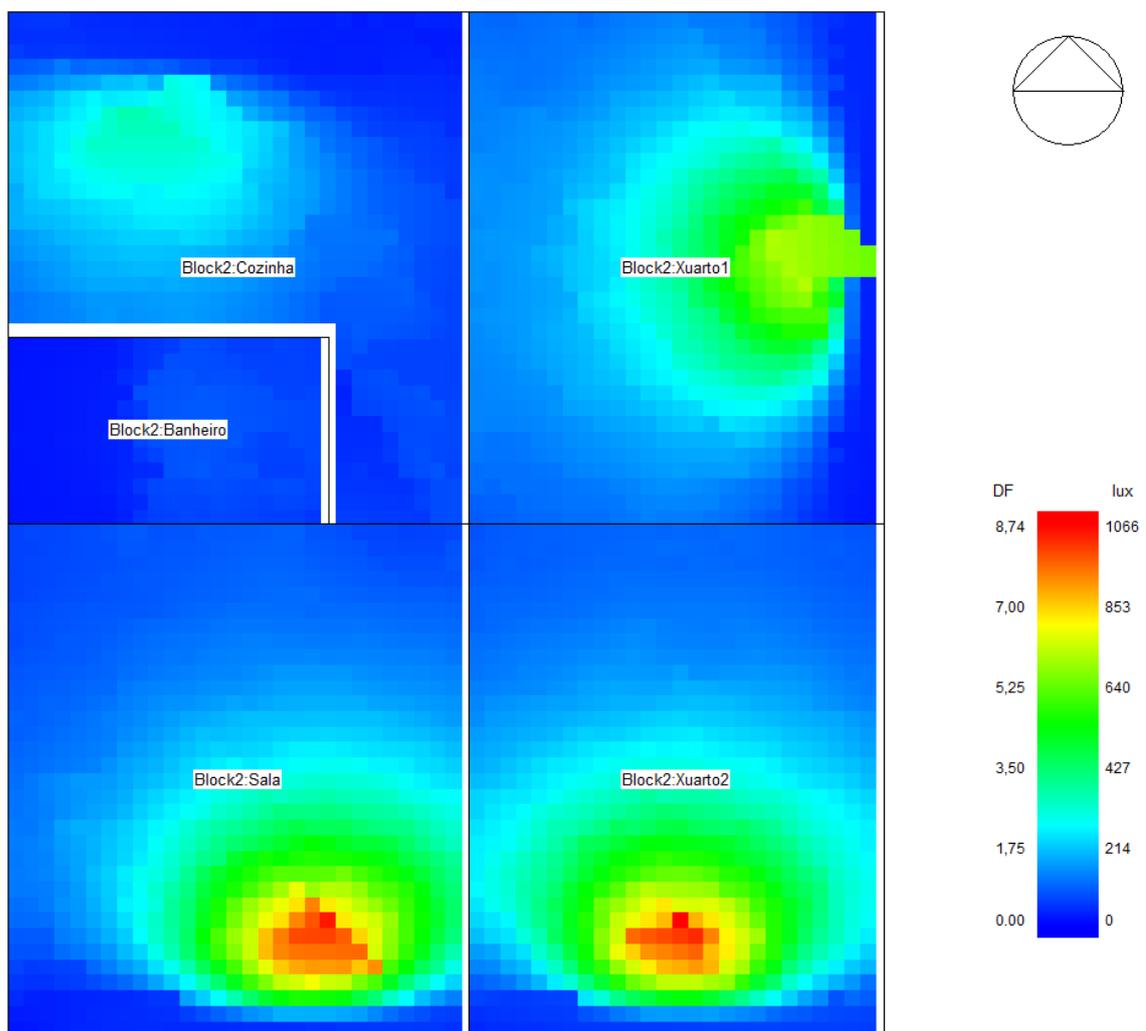
Figura 46 - Balanço térmico anual São Paulo



Fonte: do autor

Analisando-se a iluminância da habitação, percebe-se uma configuração similar ao do Rio de Janeiro: sala e o segundo quarto são os mais iluminados e o banheiro é o cômodo menos iluminado, e também se percebe as faixas azuis resultantes do sombreamento do peitoril e do telhado. O maior valor máximo de iluminância também é o do segundo quarto, com 1066,30 lux, e o menor valor máximo de iluminância também é o do banheiro com 96,05 lux. A disposição da iluminação nos ambientes está ilustrada na Figura 47.

Figura 47 - Incidência solar São Paulo



Fonte: do autor

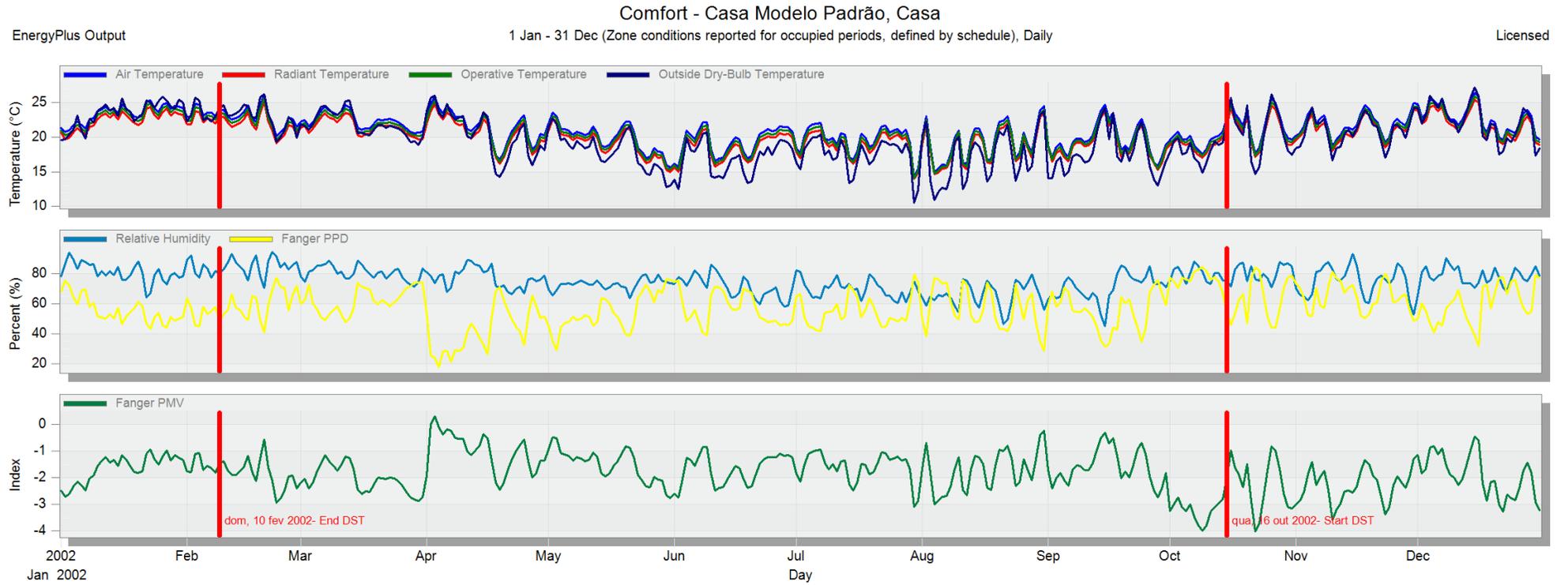
Os dados relativos ao conforto podem ser vistos na Figura 48. Já se percebe que o gráfico de Fanger praticamente não se distribui para os valores positivos, ou seja, o desconforto é majoritariamente devido ao frio. Inspeccionando o gráfico de

índice PMV por hora da Figura 49, onde o retângulo pontilhado vermelho representa a zona de conforto, percebe-se que só há desconforto por calor no começo do mês de maio, e desconforto por frio em todas as outras vezes. Os valores diários de pico encontrados foram de + 0,3054 para o dia 3 de abril e de – 4,020 para o dia 22 de outubro, e seus balanços térmicos horários podem ser vistos na Figura 50, respectivamente, de cima para baixo.

Assim como visto para o clima do Rio de Janeiro, os picos de PMV de Fanger ocorrem no fim da tarde e começo da noite para o calor e de madrugada para o frio. Esse comportamento de alta variação térmica ao longo do dia ratifica o desempenho térmico ineficiente da edificação, que absorve e perde calor com a mesma facilidade, sendo incapaz de armazenar essa energia térmica ao longo da noite.

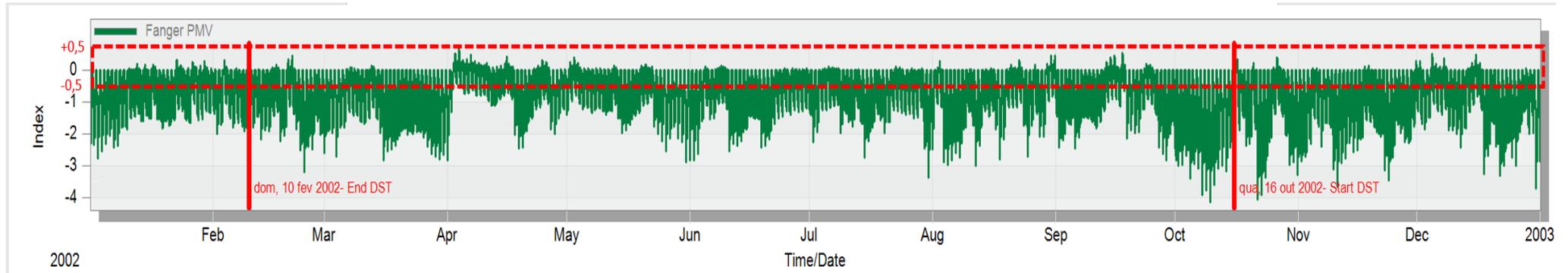
Percebe-se tal comportamento de absorção e perda facilitada pelos elementos construtivos na Figura 50. A diferença para a cidade do Rio de Janeiro é a quantidade reduzida de calor recebido durante o período de Sol para o dia crítico de PMV negativo, o que dificulta o aquecimento da edificação e é piorado com a rápida perda desse valor recebido.

Figura 48 - Conforto térmico São Paulo



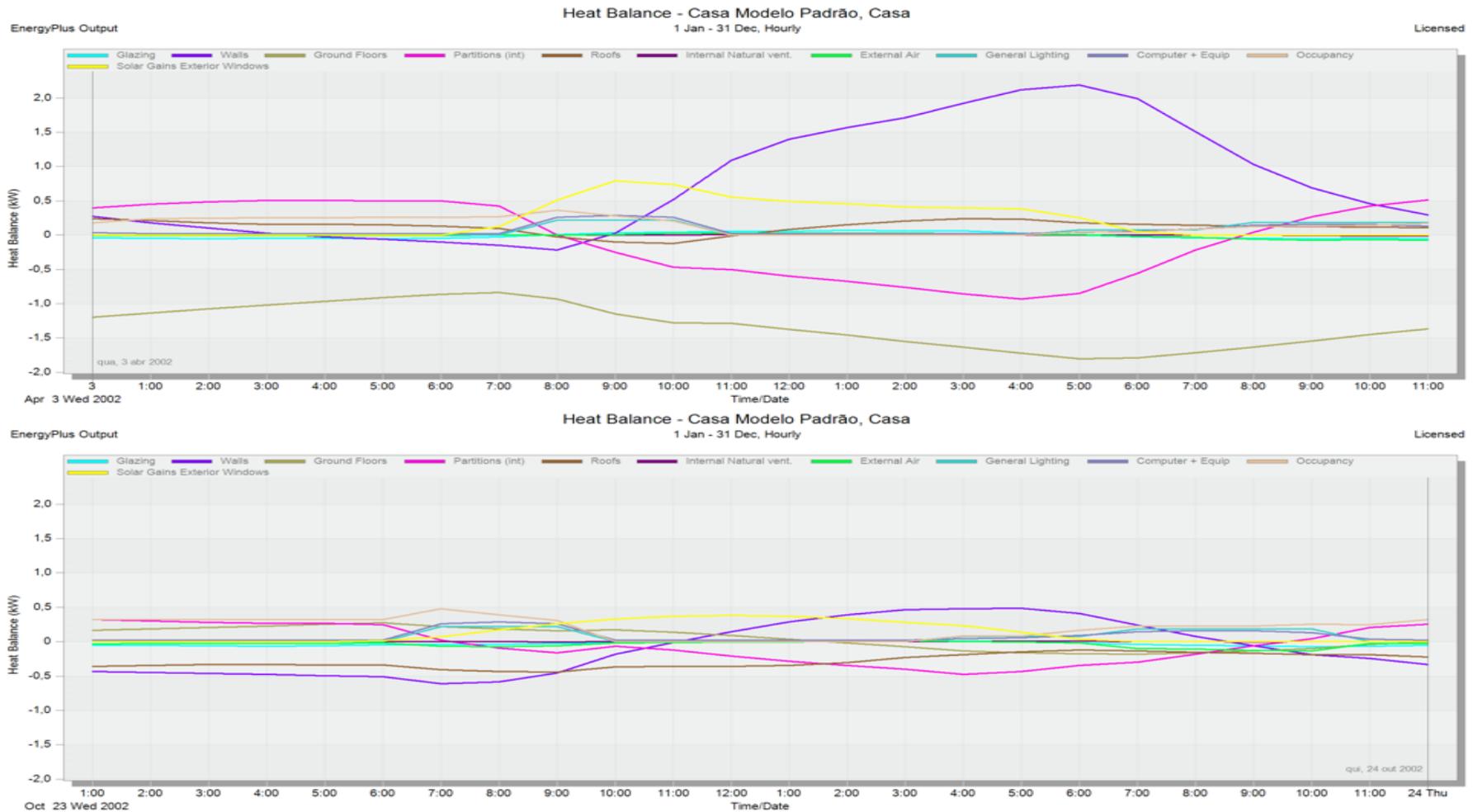
Fonte: do autor

Figura 49 - PMV de Fanger por hora São Paulo



Fonte: do autor

Figura 50 - Balanços térmicos dias críticos São Paulo



Fonte: do autor

A Figura 51 discrimina as horas de desconforto por cômodo. Como visto para a cidade do Rio de Janeiro, os quartos são os ambientes mais desconfortáveis da edificação e se deve ao fato de ter sua ocupação durante os picos de desconforto para o frio, ou seja, ao longo da noite.

Figura 51 - Desconforto por cômodo São Paulo

ZONA	T DE OPERAÇÃO (°C)			DESCONFORTO		CONFORTO
	mínima	média	máxima	(% da ocupação)		(% da ocupação)
				Frio	Calor	
Banheiro	13,31	20,70	27,55	43,80%	6,22%	49,98%
Cozinha	13,14	20,87	28,70	9,28%	23,95%	66,77%
Quarto 1	13,37	20,93	28,41	99,78%	0,00%	0,22%
Quarto 2	13,15	20,60	27,83	99,83%	0,05%	0,12%
Sala	13,06	20,57	28,44	76,36%	1,92%	21,72%

Fonte: do autor

Percebe-se também temperaturas mais amenas nos cômodos devido às características climáticas da cidade de São Paulo. Os picos de temperatura ao longo do ano ocorrem na sala para a temperatura mínima e na cozinha para a temperatura máxima, e no geral as temperaturas dos cômodos é bem distribuída, com pequenas variações entre eles.

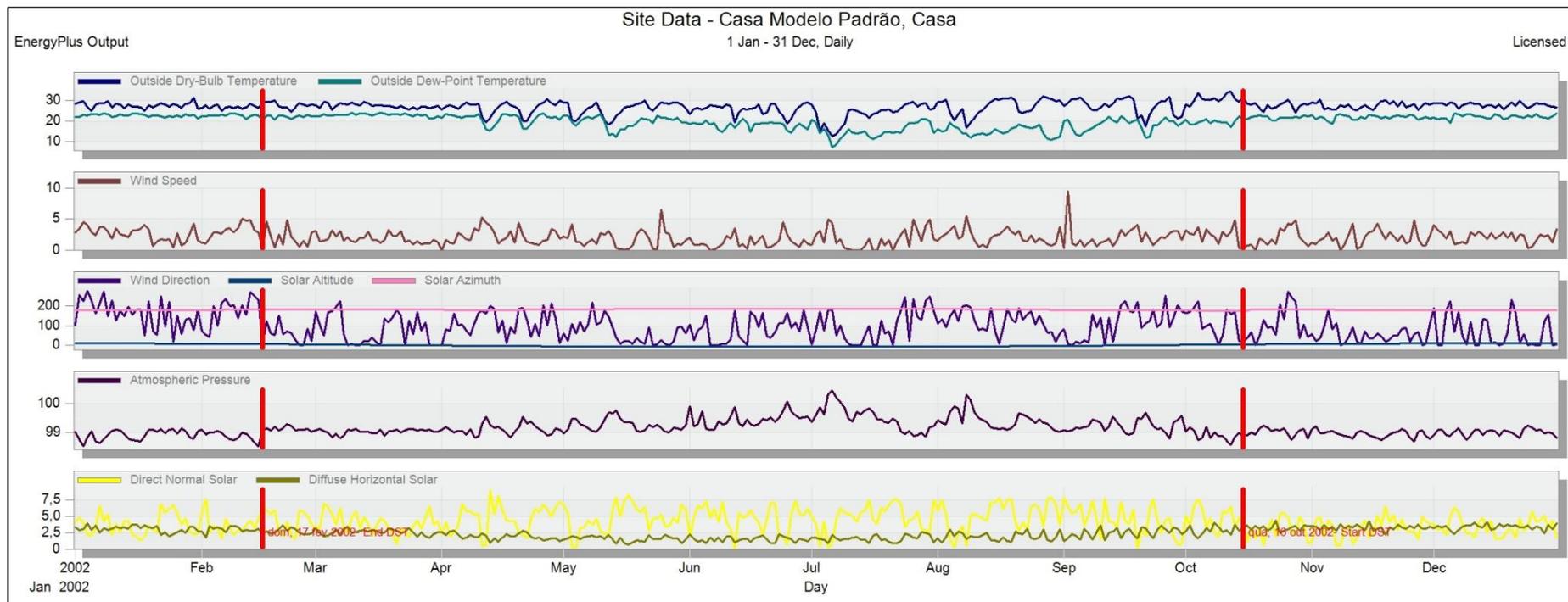
Para o desconforto geral da edificação, 68,46% do período de ocupação é desconfortável para o frio, enquanto que apenas 0,14% é desconfortável para o calor. O conforto da habitação representa 31,40% do período de ocupação.

4.3 CUIABÁ

Assim como as cidades anteriores, os dados meteorológicos da região estão divididos em cinco gráficos na Figura 52. O balanço térmico se dá conforme a Figura 53. As paredes externas atuam como principais agentes de ganho de calor ao longo do ano todo; assim como os pisos atuam como dissipadores de calor ao longo do ano todo, semelhante ao caso carioca. O telhado atua como agente de ganho de calor durante a primavera/verão e como dissipador durante o outono e inverno, enquanto que as paredes internas atuam de forma distribuída ao longo do ano com alguns picos

significativos. Nota-se também a grande importância dos ganhos solares pelas janelas, que são seguidos da ocupação, dos equipamentos, da iluminação e, por fim, dos vidros e das ventilações

Figura 52 - Características meteorológicas da cidade de Cuiabá



Fonte: do autor

As temperaturas variam de 10° C a 30° C, com velocidades dos ventos majoritariamente abaixo dos 5 m/s e com direções predominantes Noroeste e Sul; e radiação solar mais expressiva que de São Paulo/SP.

Figura 53 – Balanço térmico Cuiabá

Heat Balance - Casa Modelo Padrão, Casa
1 Jan - 31 Dec, Daily

EnergyPlus Output

Licensed

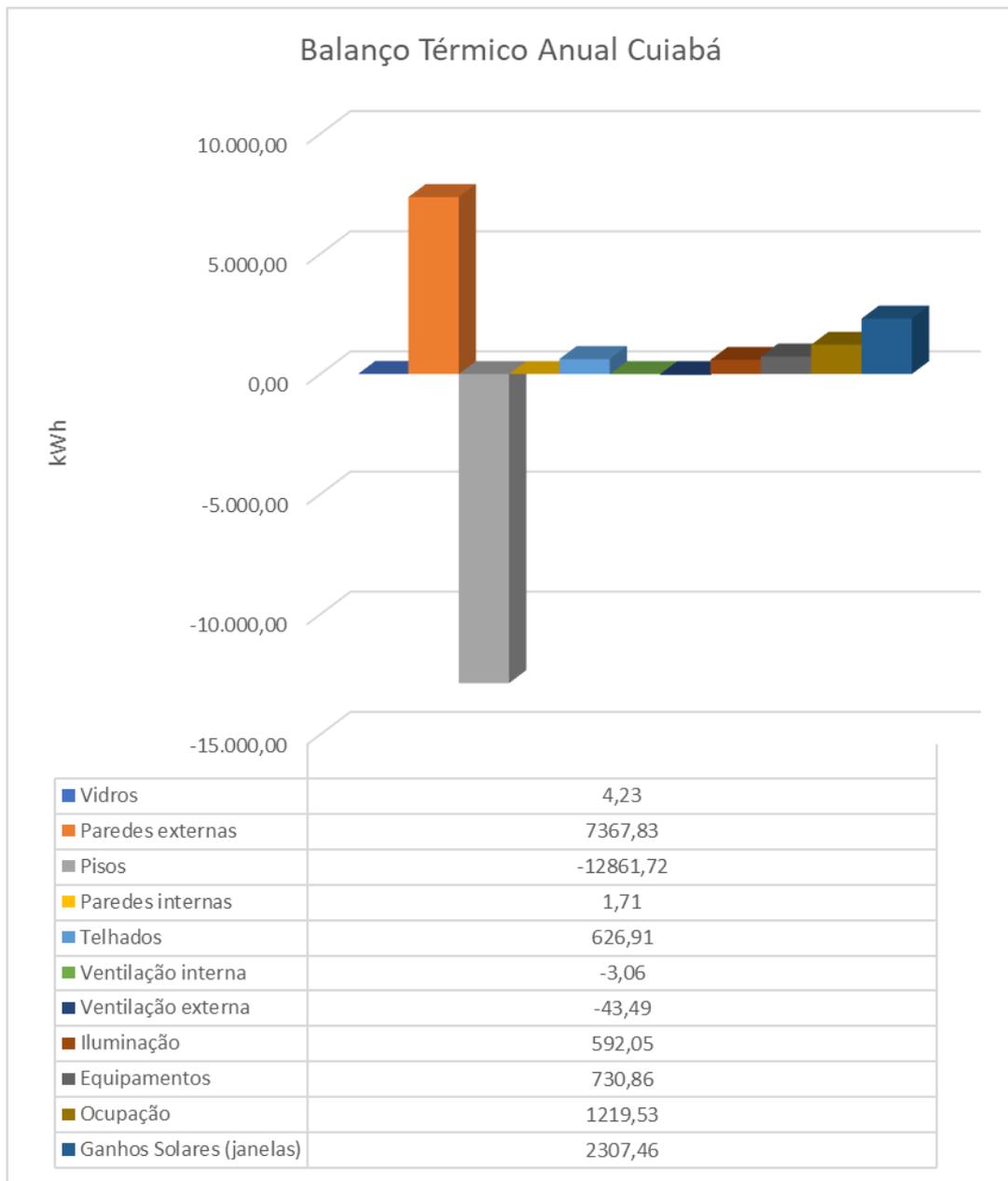


Fonte: do autor

Também se têm a cor ciano representando os vidros; a cor roxa representando as paredes externas; a cor marrom clara, os pisos; a rosa, as paredes internas; a marrom, os telhados, a roxa escura, a ventilação natural interna; a verde claro, a ventilação externa; a azul representa a iluminação elétrica; a azul escuro, os equipamentos elétricos; a rosa claro, a ocupação; e por fim, em amarelo, os ganhos solares das janelas.

O balanço térmico anual é exibido na Figura 54. Nota-se um aumento nas grandezas em relação às cidades anteriores e o papel expressivo dos ganhos térmicos das paredes externas e da dissipação de calor pelo piso. A diferença entre os ganhos solares e de ocupação é parecida com a do Rio de Janeiro, mas apresenta valores de balanço térmico do telhado positivo, diferente das anteriores.

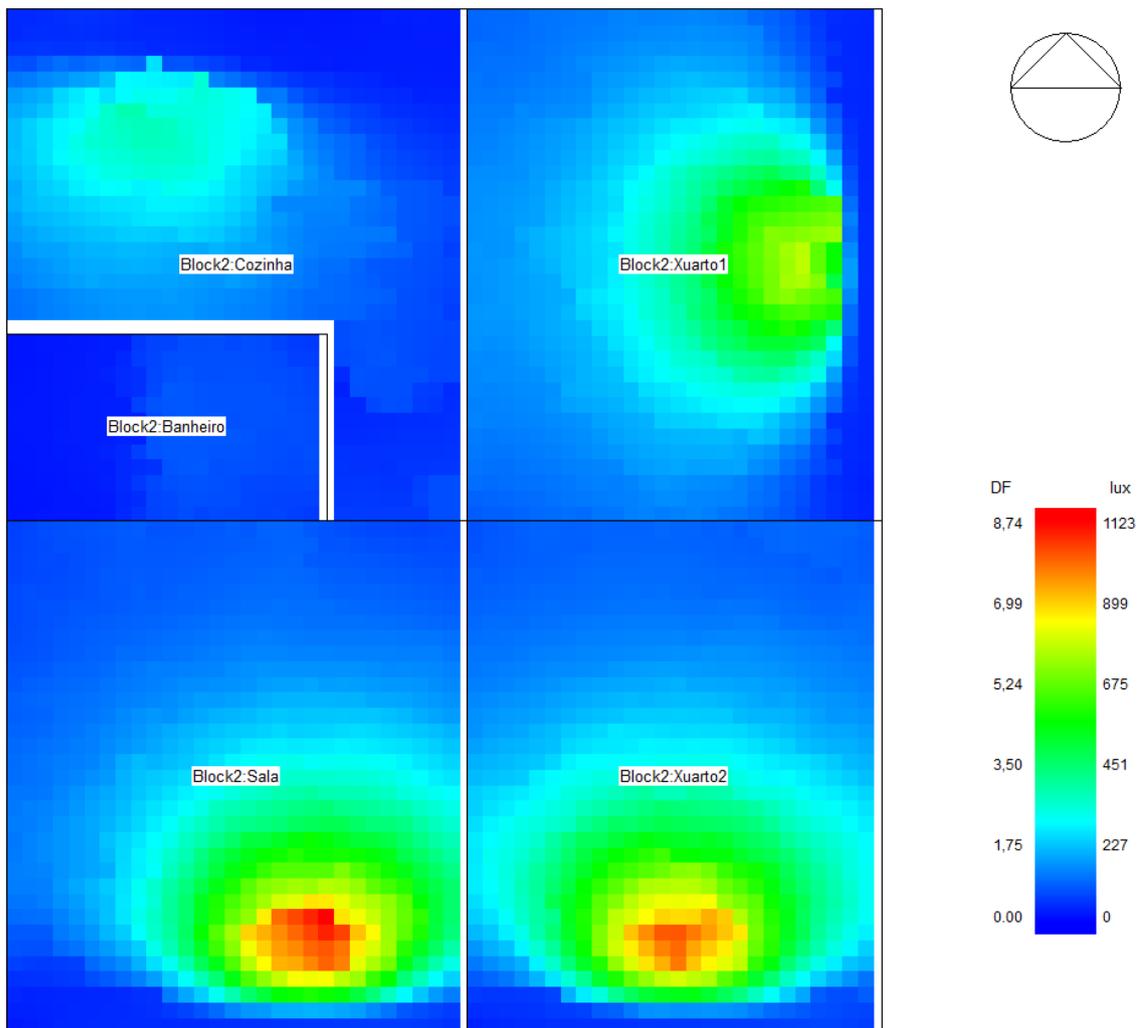
Figura 54 - Balanço térmico anual Cuiabá



Fonte: do autor

A simulação de iluminação natural da edificação também retornou a sala e o quarto como os cômodos mais iluminados e o banheiro com o menos iluminado, e a interferência supracitada dos elementos de sombreamento também é percebida. O maior valor de iluminância é de 1123,71 lux na sala e o menor valor máximo de iluminância é de 99,39 lux no banheiro. A incidência da luz solar pode ser vista na Figura 55.

Figura 55 - Incidência solar Cuiabá



Fonte: do autor

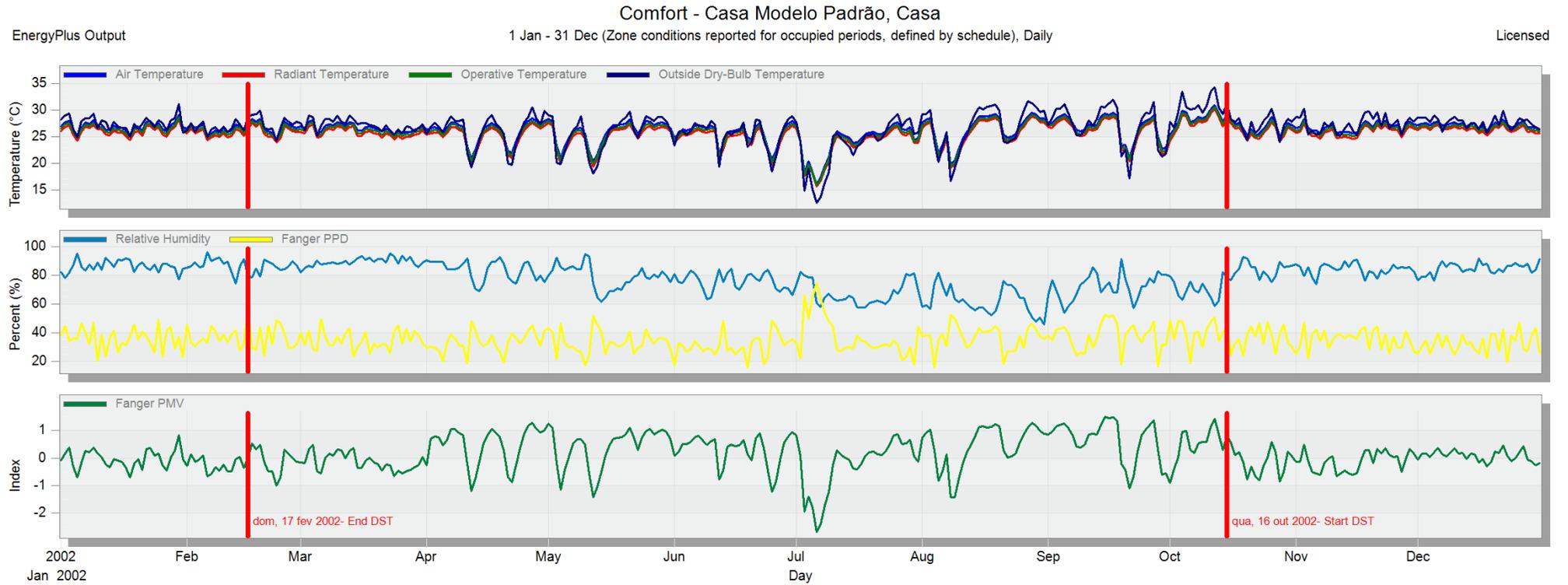
Quanto ao conforto térmico, os dados são mostrados na Figura 56 com a mesma configuração dos exemplos anteriores. A Figura 57 representa a distribuição do índice PMV de Fanger a cada hora, com o retângulo pontilhado vermelho representando a zona de conforto.

Pode-se observar que a distribuição durante a primavera e o verão é mais uniforme e com menores picos, mas ainda assim há bastante horas fora da zona de conforto. Ao longo do outono e do inverno a distribuição é menos uniforme e os picos são mais discrepantes. O valor maior foi de + 2,414 no dia 11 de outubro e o menor valor do índice foi de - 2,253 no dia 5 de julho, e seus balanços térmicos podem ser vistos na Figura 58, respectivamente, de cima para baixo.

Assim como os casos anteriores, os picos ocorrem no final da tarde e começo da noite, para o calor, e de madrugada, para o frio. A incapacidade do edifício de reter o calor durante o dia é o que causa as horas excessivas de desconforto durante a noite e madrugada.

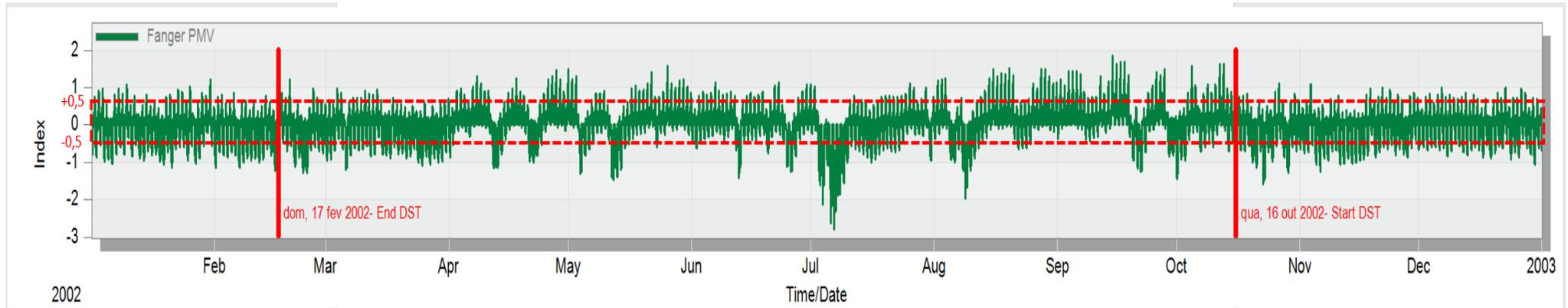
A disposição do balanço térmico na Figura 58 é similar ao da cidade do Rio de Janeiro para o valor positivo: grande absorção de calor pelas paredes externas e grande perda durante a noite, resultando desconforto para o calor durante o dia e desconforto para o frio durante a noite; e próximo ao da cidade de São Paulo para o valor negativo: os ganhos térmicos não são suficientes para aquecer a habitação e esse calor é rapidamente dissipado, dificultando ainda mais o aquecimento.

Figura 56 - Conforto térmico Cuiabá



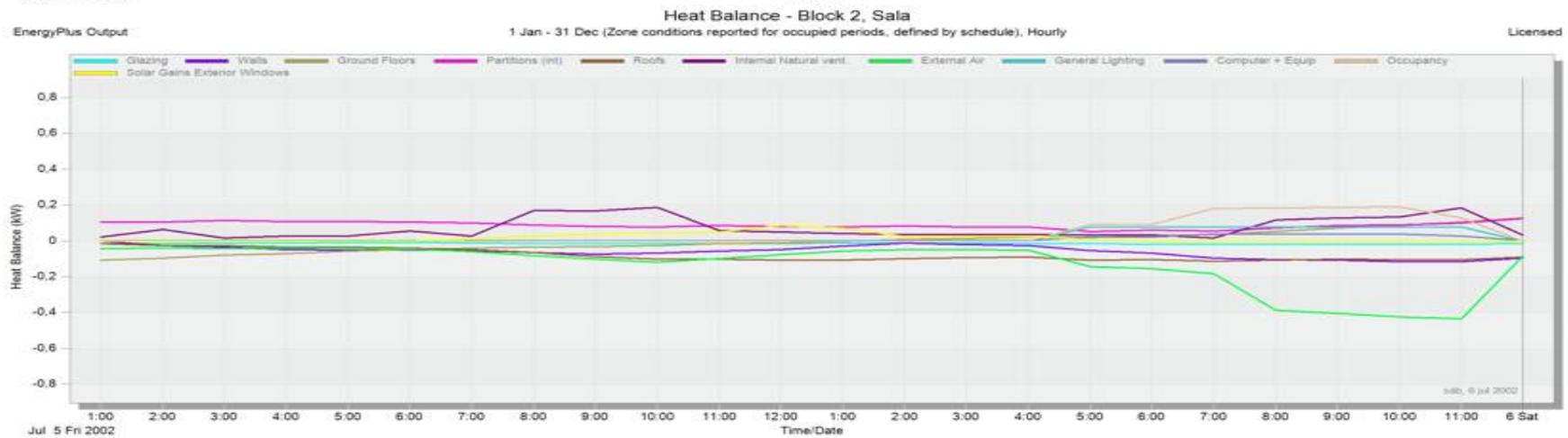
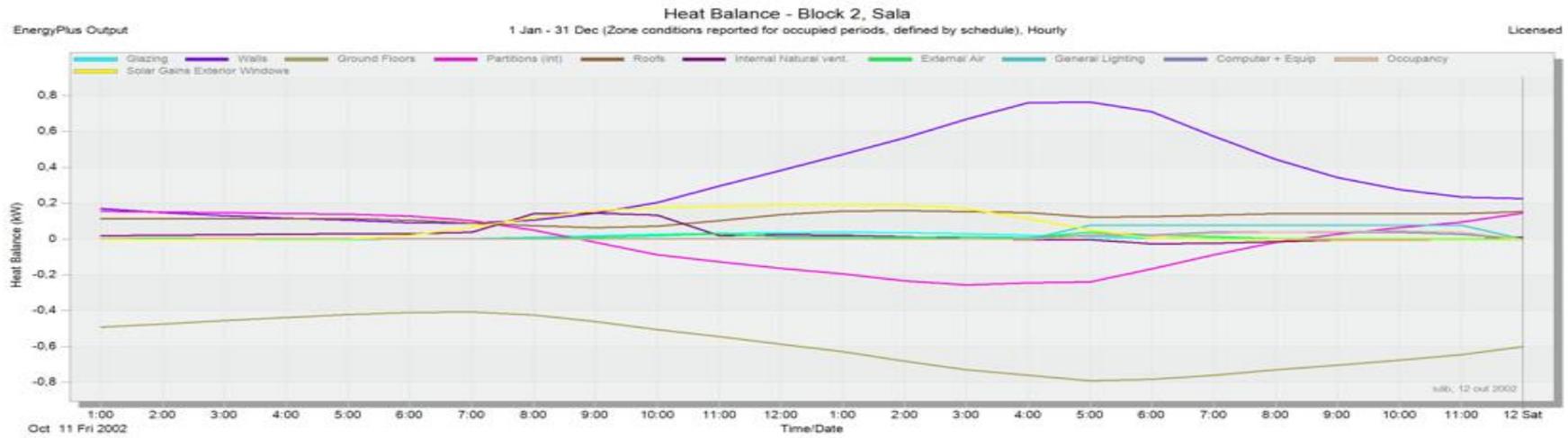
Fonte: do autor

Figura 57 - PMV de Fanger Cuiabá



Fonte: do autor

Figura 58 - Balanços térmicos dias críticos Cuiabá



Fonte: do autor

A análise de temperatura e desconforto por cômodo mostrada na Figura 59 confirma os cenários anteriores, onde os quartos são os ambientes de maior desconforto para o frio, enquanto que a cozinha é o ambiente de maior desconforto para o calor. A explicação é a mesma: os quartos possuem ocupação durante o período de maior desconforto da casa, que é a noite e madrugada, e as paredes da cozinha estão localizadas nas fachadas norte e oeste, as mais afetadas pela incidência solar. Pode-se ver também que a sala é o cômodo com os picos de temperatura, sendo de 13,75 °C a mínima e 34,18 °C a máxima.

Figura 59 - Desconforto por cômodo Cuiabá

ZONA	T DE OPERAÇÃO (°C)			DESCONFORTO		CONFORTO
				(% da ocupação)		(% da ocupação)
	mínima	média	máxima	Frio	Calor	
Banheiro	14,36	25,88	32,85	1,33%	79,37%	19,30%
Cozinha	13,97	26,22	33,94	0,20%	93,86%	5,95%
Quarto 1	14,32	26,26	33,61	62,49%	6,60%	30,91%
Quarto 2	14,18	25,84	33,22	65,26%	4,76%	29,99%
Sala	13,75	25,85	34,18	5,56%	74,83%	19,61%

Fonte: do autor

No geral, a edificação contabilizou 24,72% de desconforto para o frio durante o período de ocupação, enquanto que para o calor contabilizou 17,05%. O conforto foi atingido em 58,23% do período total de ocupação.

4.4 RESUMO

A Figura 60 representa uma tabela comparativa do desconforto da edificação para as três cidades, com as porcentagens de desconforto durante o período de ocupação para o frio e para o calor.

Figura 60 - Resumo do desconforto para as três cidades

CIDADE	DESCONFORTO		CONFORTO
	(% da ocupação)		(% da ocupação)
	Frio	Calor	
São Paulo	65,46%	0,14%	34,40%
Rio de Janeiro	44,14%	3,67%	52,19%
Cuiabá	24,72%	17,05%	58,23%

Fonte: do autor

Aplicando-se o critério de desempenho térmico da ABNT NBR 15575, temos as seguintes tabelas para o verão e para o inverno, respectivamente na Figura 61 e na Figura 62.

Figura 61 - Critério de desempenho térmico para o verão

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$
I	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2 \text{ }^\circ\text{C})$	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 1 \text{ }^\circ\text{C})$
S	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 4 \text{ }^\circ\text{C})$	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2 \text{ }^\circ\text{C})$

$T_{i,máx.}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.
 $T_{e,máx.}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.
 $T_{i,mín.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.
 $T_{e,mín.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.
 NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.

Fonte: (ABNT, 2013)

Figura 62 - Critério de desempenho térmico para o inverno

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
M	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 3 \text{ }^\circ\text{C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado
I	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 5 \text{ }^\circ\text{C})$	
S	$T_{i,mín.} \geq (T_{e,mín.} + 7 \text{ }^\circ\text{C})$	

$T_{i,mín.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.
 $T_{e,mín.}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.
 NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.

Fonte: (ABNT, 2013)

Assim, utilizando as temperaturas extremas por cidade que constam na ABNT NBR 15575, foi feita a comparação com as temperaturas extremas encontradas nas simulações, que podem ser vistas na Figura 43, Figura 51 e na Figura 59 para a cidade do Rio de Janeiro, de São Paulo e de Cuiabá, respectivamente. Mesmo a norma explicitando que não precisa ser verificado o desempenho térmico para o inverno nas zonas bioclimáticas 6, 7 e 8, as verificações foram feitas, visto que as simulações para a cidade do Rio de Janeiro e Cuiabá apontaram desconforto para o frio. O resumo das temperaturas pode ser visto na Figura 63 e o resultado do desempenho na Figura 64.

Figura 63 - Resumo desempenho térmico

CIDADE	ZONA BIOCLIMÁTICA	NORMA		SIMULAÇÃO	
		T mín °C	T máx °C	T mín °C	T máx °C
		(inverno)	(verão)	(inverno)	(verão)
Rio de Janeiro	8	15,80	35,10	16,76	31,00
São Paulo	3	6,20	31,90	13,06	28,70
Cuiabá	7	11,40	37,80	13,75	34,18

Fonte: do autor

Figura 64 - Resultado desempenho térmico

CIDADE	DESEMPENHO NORMA	
	(inverno)	(verão)
Rio de Janeiro	Insuficiente	Superior
São Paulo	Intermediário	Intermediário
Cuiabá	Insuficiente	Intermediário

Fonte: do autor

Os resultados em vermelho, ou seja, os de inverno para a cidade do Rio de Janeiro e Cuiabá, são os únicos condizentes com os índices de desconforto obtidos na simulação; e são justamente os desprezados pela ABNT NBR 15575. O outro resultado de inverno –para a cidade de São Paulo- não condiz com o verificado na simulação, que apresentou altos índices de desconforto para o inverno.

Já para o verão, o resultado positivo para a cidade de São Paulo foi ao encontro do valor obtido na simulação, pois a última praticamente não registrou

desconforto para o calor. Já os outros resultados contrariam o verificado nas simulações, pois não garantem o conforto para as temperaturas mais elevadas.

Em suma, com exceção do verão para São Paulo, o resultado de concordância de desempenho térmico da ABNT NBR 15575 não garantiu conforto térmico para os habitantes da residência nas três localidades.

4.5 PROPOSTA DE MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

A Figura 65 apresenta as etapas seguidas para calcular o desempenho térmico de uma habitação de interesse social, desde o levantamento de dados até os resultados, e pode ser utilizada como base para outras simulações.

Figura 65 - Etapas para avaliação de desempenho térmico



Fonte: do autor

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

5.1 CONCLUSÕES

Apesar da edificação ter alcançado os requisitos de desempenho térmico da ABNT NBR 15575, a análise minuciosa dos resultados das simulações aponta justamente o contrário. O principal problema verificado na edificação é a sua baixa inércia térmica, que diz respeito à absorção e à perda de calor demasiadas, o que resulta em altas amplitudes térmicas ao longo do dia. Dessa forma, a habitação se torna desconfortável para o calor majoritariamente nos períodos da tarde e desconfortável para o frio durante a noite e madrugada.

As simulações mostradas neste trabalho retornaram a cidade de Cuiabá como a que está mais próxima dos índices de conforto para o modelo de construção utilizado e a cidade de São Paulo como sendo a mais desconfortável; com a cidade do Rio de Janeiro ocupando a posição intermediária.

O número expressivo de horas de desconforto térmico encontradas para todas as cidades se traduz em gastos energéticos para corrigir a ineficiência térmica da edificação. É provável que haja gasto demasiado com ventiladores e condicionadores de ar para as cidades do Rio de Janeiro e Cuiabá durante os períodos quentes, e com aquecedores de ar ou uso frequente de roupas de frio e/ou cobertores durante quase todo o ano para a cidade de São Paulo e durante as noites e madrugadas do Rio de Janeiro e Cuiabá.

Visto que o conforto térmico está diretamente relacionado ao bem-estar físico e subjetivo do ser, é provável que os habitantes dessas construções demonstrem insatisfação cotidiana e até doenças relacionadas às más condições térmicas das mesmas.

Dessa forma, verifica-se que a má execução, utilização de materiais de baixa qualidade e retirada de elementos construtivos afeta diretamente o desempenho térmico da edificação, e, por conseguinte, a satisfação e possível saúde dos usuários. Além disso, a economia de recursos por parte das construtoras e famílias na construção e aquisição da residência resultará em gastos excessivos de energia elétrica para as famílias a fim de se corrigir os problemas de desempenho térmico da mesma.

5.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresenta as seguintes limitações:

- Foram utilizados dados referentes à cidade como um todo e não se levou em consideração as características de microclima de uma região específica da cidade.
- A habitação foi simulada de forma isolada, sem levar em conta as edificações do entorno, topografia e a presença de vegetação, o que pode afetar os resultados.
- Não foram comprovados in loco os resultados obtidos nas simulações a fim de se ratificar as conclusões do trabalho.
- A rotina e configuração familiar utilizada como exemplo não representa todas as famílias, o que pode gerar discordância dos resultados obtidos nas cargas internas de ocupação e utilização de equipamentos.
- Não foram dimensionados elementos de condicionamento e aquecimento de ar ou aquecimento de água para a habitação, pois não foi de interesse deste trabalho quantificar o dispêndio com eletricidade, apenas qualificá-lo. Caso fossem dimensionados, alterariam as cargas térmicas da edificação.

5.3 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Sugere-se considerar os elementos do entorno da habitação nas simulações, como por exemplo outras edificações e árvores, visto que essas habitações geralmente são construídas em grandes quantidades na mesma área. Sugere-se também a modelagem de outros projetos de habitação social com outras características construtivas e analisar seus resultados.

Recomenda-se a adoção de mecanismos arquitetônicos e construtivos a fim de se mitigar os problemas térmicos da edificação, como por exemplo o sombreamento das aberturas e utilização de paredes isolantes. Uma possível diretriz é a modelagem das recomendações construtivas para cada zona bioclimática presentes na terceira parte da ABNT NBR 15220.

Além disso, pode-se aplicar a geração distribuída na edificação a fim de se diminuir os gastos com eletricidade, de forma concomitante às sugestões supracitadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **ABNT NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações. Associação Brasileira de Normas Técnicas.** [S.l: s.n.]. , 2005

ABNT. **ABNT NBR 15575 - Edificações Habitacionais - Desempenho. Associação Brasileira de Normas Técnicas.** [S.l: s.n.]. , 2013

ALLIANCE FOR SUSTAINABLE ENERGY. **OpenStudio | OpenStudio.** 2020. OpenStudio. Disponível em: <https://www.openstudio.net/>. Acesso em: 28 abr. 2021.

ANEEL. **Consulta Ao Cadastro De Empreendimentos Da Aneel Com Os Respectivos Ceg.** 2016. ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/scg/Consulta_Empreendimento.asp. Acesso em: 25 mar. 2021.

ANTUNES, L. **Minha Casa perto do fim?** 2019. UOL, Rio de Janeiro. Disponível em: <https://economia.uol.com.br/reportagens-especiais/minha-casa-minha-vida-dez-anos>. Acesso em: 5 abr. 2021.

ANVERSA, G. **Casa Verde e Amarela: O que você precisa saber sobre o programa.** 2020. 2020. Disponível em: <https://www.sience.com.br/blog/casa-verde-e-amarela/>. Acesso em: 6 abr. 2021.

ASHRAE, "2019 ASHRAE® Handbook Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Applications (I-P Edition)". **Handbook Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Applications (I-P Edition)**, [S.l: s.n.], 2019. .

ASHRAE. "ASHRAE Standard 55P", **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**, v. 62, n. 12, p. 2188–2192, 2004. Disponível em: <http://link.springer.com/10.3938/jkps.62.2188>.

ASHRAE. "Psychrometric Chart No. 1". 1992.

AULICIEMS, A., SZOKOLAY, S. V. "PLEA Handbook - Thermal comfort", **PLEA International**, p. 66, 2007. .

BOGO, A., PIETROBON, C. E., BARBOSA, M. J., *et al.* **Bioclimatologia Aplicada Ao Projeto De Edificações Visando O Conforto Térmico. Relatório Interno - 02/94.** [S.l: s.n.]. Disponível em: http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/RP_Bioclimatologia.pdf. , 1994

BOLLNOW, O. F. "El hombre y su casa.", **La Torre, Revista general de la**

Universidad de Puerto Rico, v. 54, p. 11–24, 1966. .

BONDUKI, N. G. "Nabil Georges Bonduki* Origens da habitação social no Brasil", **Análise Social**, v. xxix, n. 1273, 1994. .

BRASIL. "Lei 10.295 de 17 de outubro de 2001", **Ministério de Minas e Energia**, p. 17–18, 2001. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10295.htm. Acesso em: 25 mar. 2021.

BRASIL. **Saiba o que muda com o novo programa**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/habitacao/casa-verde-e-amarela/saiba-o-que-muda-com-o-novo-programa>. Acesso em: 6 abr. 2021.

BRASIL, C. (1988). "Constituição da República Federativa do Brasil de 1988", **Constituição da República Federativa do Brasil: texto constitucional promulgado em 5 de outubro de 1988, com as alterações adotadas pelas Emendas Constitucionais nos 1/1992 a 68/2011, pelo Decreto Legislativo nº 186/2008 e pelas Emendas Constitucionais**, 2012. .

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE. **Spatial distribution of daylight_CIE standard general sky. Cie S 011/E:2003**. [S.l: s.n.], 2003

DESIGNBUILDER. **DesignBuilder Software Ltd - Product Overview**. 2020. Disponível em: <https://designbuilder.co.uk/software/product-overview>. Acesso em: 28 abr. 2021.

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. "Nº 106, quinta-feira, 5 de junho de 2014", **Diário Oficial da União**, v. 106, p. 103, 2014. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=05/06/2014&jornal=1&pagina=103&totalArquivos=164>.

DOE. **EnergyPlus | Department of Energy**. 2021. ENERGY.GOV. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/buildings/downloads/energyplus-0>. Acesso em: 28 abr. 2021.

ECCONIT CONSULTORIA ECONÔMICA. "Estudo técnico dedicado à atualização das necessidades habitacionais 2004-2030", p. 52, 2020. .

EIA ENERGY ATLAS. "World energy statistics & World energy balances", p. 703, 2020. Disponível em: <http://data.iea.org/payment/products/103-world-energy-statistics-and-balances-2018-edition-coming-soon.aspx>.

ELETROBRÁS, PROCEL. "Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso - Ano Base 2005 (Brasil)", p. 187, 2007. .

EPA. "Indoor Air Facts No. 4 Sick Building Syndrome", **EPA - Air & Radiation (6609J), Research and Development (MD-56)**, p. 1–4, 1991. Disponível em: https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-08/documents/sick_building_factsheet.pdf.

EPE. **Matriz Energética e Elétrica**. 2020a. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 24 mar. 2021.

EPE, M. de M. e E. **Balço energético nacional**. . [S.l: s.n.], 2020b.

FERREIRA NETO, A. B., CORRÊA, W. L. R., PEROBELLI, F. S. "Consumo De Energia E Crescimento Econômico: Uma Análise Do Brasil No Período 1970-2009", **Análise Econômica**, v. 34, n. 65, p. 181–204, 2016. DOI: 10.22456/2176-5456.44622. .

GIDUR. "Cadernos CAIXA: Projeto padrão – casas populares", p. 35, 2006. Disponível em: <https://abenc-ba.org.br/wp-content/uploads/2017/04/Modelo-Padrão-de-Casa.pdf>.

GIVONI, B. "Performance and applicability of passive and low-energy cooling systems", **Energy and Buildings**, v. 17, n. 3, p. 177–199, 1991. DOI: 10.1016/0378-7788(91)90106-D. .

GIVONI, Baruch. "Comfort, climate analysis and building design guidelines", **Energy and Buildings**, v. 18, n. 1, p. 11–23, 1992. DOI: 10.1016/0378-7788(92)90047-K. .

GOLDEMBERG, J. "Dossiê Recursos Naturais", v. 12, n. 33, p. 5–15, 1998. .

GUENTHER, S. **What Is PMV? What Is PPD? The Basics of Thermal Comfort | SimScale**. . [S.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.simscale.com/blog/2019/09/what-is-pmv-ppd/>. Acesso em: 29 mar. 2021. , 2020

IBGE. **Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Brasileiro**. [S.l: s.n.], 2013.

INMETRO. "Anexo Geral V – Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros", **Anexo Da Portaria Inmetro Nº 50/ 2013**, p. 134, 2013. Disponível em: <http://www4.inmetro.gov.br/busca-google/?q=tabela V>.

ISO. "ISO 7730: Ergonomics of the thermal environment Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria", **Management**, v. 3, p. 605–615, 2005.

Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0267726105000503>.

ISO - INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. "ISO 13788:2012 Hygrothermal performance of building components and building elements - Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation - Calculation methods", **Building Standard Institute**, 2012. .

KNIGHT, R. D. **Termodinâmica e Óptica**. [S.l: s.n.], 2009.

LABEEE. **NBR 15575-2020 - Desempenho térmico**. 2020. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/NBR15575-2020>. Acesso em: 25 mar. 2021.

LAMBERTS, R., DUTRA, L., PEREIRA, F. **Eficiência Energética na Arquitetura**. [S.l: s.n.], 2014.

MARCHAIS, J.-J. "Economias permanentes mediante Eficiência Energética Ativa", p. 1–22, 2011. .

MARICATO, E. "Urbanismo na periferia do mundo globalizado: metrópoles brasileiras", **São Paulo em Perspectiva**, v. 14, n. 4, 2000. DOI: 10.1590/s0102-88392000000400004. .

MOYSÉS RODRIGUES, A. "POLÍTICAS PÚBLICAS: FGTS E PLANOS DIRETORES - CONTEÚDOS E SIGNIFICADOS", **Cidades**, v. 9, n. 16, 2013. .

MUMOVIC, D., SANTAMOURIS, M. **A Handbook of Sustainable Building Design and Engineering**. [S.l: s.n.], 2018.

OLE FANGER, P. "Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering.", **Copenhagen: Danish Technical Press**, 1970. .

OLGYAY, V. **Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism: New and expanded edition**. [S.l: s.n.], 1963.

PINTO, T. **O apagão energético de 2001**. 2001. 2001. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/historiab/apagao.htm>. Acesso em: 25 mar. 2021.

PORSANI, G. B., DE LERSUNDI, K. D. V., GUTIÉRREZ, A. S. O., *et al.* "Interoperability between building information modelling (Bim) and building energy model (bem)", **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 11, n. 5, p. 1–20, 2021. DOI: 10.3390/app11052167. .

PROCEL. **Manual para Aplicação do RTQ-C: Comercial, de Serviço e Público**. . [S.l: s.n.]. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/manual-rtqc_V4.pdf. , 2016

PROCEL. **Manual RTQ-R**. . [S.l: s.n.]. , 2012

QUEIRÓZ, G. R. de, GRIGOLETTI, G. de C., SANTOS, J. C. P. dos. "Interoperability between Autodesk Revit and EnergyPlus for thermal simulations of buildings", **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 10, p. e019005, 2019. DOI: 10.20396/parc.v10i0.8652852. .

RUBIN, G. R., BOLFE, S. A. "O Desenvolvimento Da Habitação Social No Brasil", **Ciência e Natura**, v. 36, n. 2, p. 201–213, 2014. DOI: 10.5902/2179460x11637. .

SORGATO, M. J., MARINOSKI, D. L., MELO, A. P., *et al.* "Nota técnica referente à avaliação para a norma de desempenho NBR 15575 em consulta pública", **Nota Técnica**, p. 23, 2012. Disponível em: www.labeee.ufsc.br.

SOUZA, L. M. D. E. "Análise Comparativa Das Políticas Habitacionais Nos Governos Fernando Henrique Cardoso E Luiz Inácio Lula Da Silva", p. 164, 2005. .

TRNSYS. **Interface - Features | TRNSYS : Transient System Simulation Tool**. 2019. Disponível em: <http://www.trnsys.com/features/index.html>. Acesso em: 28 abr. 2021.

US DEPARTMENT OF STATE. **Oil Embargo, 1973–1974 - Office of the Historian**. 2017. Disponível em: <https://history.state.gov/milestones/1969-1976/oil-embargo>. Acesso em: 25 mar. 2021.

VENN, F. **The oil crisis**. [S.l.: s.n.], 2016. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=742TDAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 25 mar. 2021.

WEBER, F. da S. "Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus", **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2018. .

WEBER, J. **Você sabe o que significa IAPI? Conheça a história dos institutos que viraram referência de habitação no país**. 2020. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/porto-alegre/noticia/2020/02/voce-sabe-o-que-significa-iapi-conheca-a-historia-dos-institutos-que-viraram-referencia-de-habitacao-no-pais-ck6vcr1bt0ky801qduxpk2xfw.html>. Acesso em: 1 abr. 2021.