

Universidade Federal de Ouro Preto

Escola de Minas

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

PROPEC

Tese

**RECOMENDAÇÕES PARA O
APERFEIÇOAMENTO DOS
SISTEMAS DE CONSTRUÇÃO
INDUSTRIALIZADOS QUE
UTILIZAM AÇO, COM ÊNFASE
EM FECHAMENTO METÁLICO.**

Marcela Assunção Faria

Ouro Preto
2019



UFOP



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



**RECOMENDAÇÕES PARA O APERFEIÇOAMENTO DOS SISTEMAS DE
CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADOS QUE UTILIZAM AÇO, COM ÊNFASE EM
FECHAMENTO METÁLICO.**

Ouro Preto - MG

2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



Marcela Assunção Faria

**RECOMENDAÇÕES PARA O APERFEIÇOAMENTO DOS SISTEMAS DE
CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADOS QUE UTILIZAM AÇO, COM ÊNFASE EM
FECHAMENTO METÁLICO.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil; Área de concentração: Estruturas e Construção; Linha de Pesquisa: Arquitetura e Ambiente Construído.

Orientador: Prof. Dr. Henor Artur de Souza (UFOP)

Ouro Preto- MG

2019

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

F224r Faria, Marcela Assunção.

Recomendações para o aperfeiçoamento dos sistemas de construção industrializados que utilizam aço, com ênfase em fechamento metálico. [manuscrito] / Marcela Assunção Faria. - 2019.

150 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Henor Artur Souza.

Tese (Doutorado). Universidade Federal de Ouro Preto. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Metálica.

1. Arquitetura - Aspectos ambientais. 2. Construção metálica-Envoltória metálica. 3. Conforto térmico. 4. Arquitetura bioclimática. I. Souza, Henor Artur. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 624.014

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB: 1716



FOLHA DE APROVAÇÃO

Marcela Assunção Faria

Recomendações para o aperfeiçoamento dos sistemas de construção industrializados que utilizam aço, com ênfase em fechamento metálico

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Engenharia Civil

Aprovada em 05 de agosto de 2019

Membros da banca

Dr. Henor Artur de Souza - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto

Dr. Adriano Pinto Gomes - Instituto Federal de Minas Gerais

Dra. Franciele Maria Costa Ferreira - Instituto Federal de Minas Gerais

Dr. Thiago Augusto Araújo Moreira - Instituto Federal de Minas Gerais

Dra. Aline Calazans Marques - Universidade Federal do Rio de Janeiro

Henor Artur de Souza, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito no Repositório Institucional da UFOP em 05/11/2021



Documento assinado eletronicamente por **Marcilio Sousa da Rocha Freitas, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 24/11/2021, às 09:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0246137** e o código CRC **B20C6C35**.

*Gratidão a Deus e Dedico a todos que entenderam minhas ausências
na busca dessa grande realização chamada pesquisa acadêmica.*

“O esforço vence o talento quando o talento não se esforça...” [Joel J.]

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus por me dar forças e saúde para chegar até aqui.

À FAPEMIG por fomentar e viabilizar o estudo e pesquisa em nosso país.

Ao meu orientador Henor Artur de Souza, por estar ao meu lado incondicionalmente.

Aos alunos do NUPECON tão atenciosos, em especial Lidiane Carvalho Gonçalves, Lucas Fonseca Caetano e Bruno Henrique Lourenço Camargos, por participarem dessa pesquisa.

Ao professor Bem Dêvide de Oliveira Batista, pelo auxílio com as análises estatísticas.

Aos meus pais sempre me incentivando e me mostrando a importância da dedicação aos meus objetivos.

À minha irmã Bruna por ter feito parte de todo esse caminho de pesquisa dando suporte e apoio emocional, auxiliando na redação e formatação de forma presente e direta, sempre ao meu lado com todo amor.

Ao meu marido Arthur, por compreender o significado dos estudos em minha vida.

À todos que se preocuparam com meu bem estar durante a longa jornada, com paciência e compreensão de minhas ausências, a esses posso chamar de AMIGOS verdadeiros.

RESUMO

A baixa qualidade dos ambientes internos das edificações no país está diretamente relacionada a uma resposta inadequada dos sistemas de construção usuais aos condicionantes climáticos do local onde a edificação está inserida. O resultado desse baixo desempenho térmico de edificações residenciais ocasiona o aumento de consumo de energia pelo uso de condicionamento artificial para que os usuários alcancem o conforto desejado e esperado. O Brasil possui uma diversidade climática muito grande, com diferentes demandas para o desempenho térmico ideal, em que as variáveis que impactam no desempenho térmico têm influências diferenciadas dependendo da localidade e tipo de envoltória. Neste sentido, todos os conceitos de arquitetura bioclimática devem estar de acordo com os materiais e com o processo de construção utilizado. Quando não é feito um estudo prévio do desempenho térmico de uma edificação na fase de projeto, os efeitos desagradáveis ao usuário aparecem depois que a edificação está pronta, e trazem consigo problemas como temperaturas internas altas demais no verão ou baixas demais no inverno acompanhando as oscilações externas nos ambientes internos. Notam-se estudos sempre para edificações multifamiliares e no setor de habitação social, sendo também de igual importância o seguimento residencial unifamiliar de médio para alto padrão por ser exatamente o seguimento que não poupa gastos energéticos para atingirem seu máximo conforto interno, por maior tempo possível, um setor que não apresenta crise financeira e cresce constantemente. Nesse sentido a necessidade de incentivar novas práticas aplicáveis ao setor residencial unifamiliar é uma necessidade urgente, que tem pouca visibilidade tanto no ensino quanto na prática. Essa pesquisa traz recomendações a partir de simulações numéricas utilizando o programa *Energyplus* (versão 8.9.0), conforme os requisitos na norma NBR 15.575 e visando o conforto térmico do usuário, testando dois novos produtos na aplicação para fechamento externo no setor residencial unifamiliar, os painéis compostos ACM (*Aluminium Composite Material*) e as telhas termoacústicas (sanduíche). São analisados os resultados encontrados para os dias típicos de inverno e verão correspondentes às oito zonas bioclimáticas e comparados com as recomendações da norma NBR 15.575, gerando um modelo fatorial duplo para as três zonas bioclimáticas críticas, ZB1 cidade representativa Curitiba, na análise do inverno, ZB3 cidade representativa São Paulo inverno e verão, e para a ZB8 cidade representativa Manaus na análise de verão. Utiliza-se o experimento fatorial abrangendo as principais variáveis de desempenho térmico como absorvância, ventilação natural e propriedades termofísicas da envoltória. Os resultados obtidos são significativos: observa-se que a telha termoacústica mantém a temperatura estável independente das oscilações externas, enquanto os painéis de ACM acompanham as oscilações externas, não correspondendo às expectativas de conforto e necessitando de outras estratégias para adequar o desempenho térmico.

Palavras-chave: Desempenho Térmico de Edificações, envoltória metálica, Arquitetura Bioclimática, Conforto Térmico.

ABSTRACT

The low thermal performance of residential buildings in Brazil is directly related to an inappropriate reaction of the buildings construction system to the climatic conditions where the building is located. The result of this low thermal performance of residential buildings increases the energy consumption by the usage of artificial conditioning system as the consumers look for a comfortable environment. Brazil holds a considerable climatic diversity with different demands to reach the ideal thermal performance. The variables that impact the thermal performance have different influences depending on the place the buildings are located and how they are constructed. In this way all the bioclimatic architecture approach should be according to the materials and to the construction processes. When the thermal performance is not studied before the building construction and its previous project, different problems appear after the building is constructed. During the summer it could suffer of really high temperature inside the building, and during the winter it could occur the opposite, it could be really cold as the temperature inside the building follows the external oscillations. There are several studies related to multifamily residential buildings and social housing sector. It is important to mention that studies related to the unifamily residential buildings should have a special attention as this segment doesn't save energy costs to achieve their maximum comfort standards. And this sector is the one that isn't in financial crises and is the one that is constantly growing. According to this, it is extremely relevant to encourage new practices to improve the unifamily sector, as it has a lack of visibility in its studies as well as in the practical way. This paper aims to bring some recommendations trough numerical simulations using the Energyplus program (version 8.9.0) according to the requirements in NBR 15.575 that with the propose to provide thermal comfort for the consumer, testing the application of two new products for external closure in the unifamily residential sector, the ACM panels and thermoacoustic tiles. It will be analysed results for the typical winter and summer days corresponding to eight bioclimatic areas and compared with the requirements in NBR 15.575 generating a double factorial model for the tree critical areas. ZB1 represents Curitiba, during the winter. ZB3 represents São Paulo during the winter and summer. ZB8 represents Manaus during the summer analyses. The factorial experiment is used to cover the main thermal performance variations such as absorption, natural ventilation, and thermophysical properties of the envelope. The results obtained are significant. The results obtained are significant: it is observed that the thermoacoustic tile maintains a stable temperature regardless of external oscillations, while ACM panels follow external oscillations, not meeting expectations of comfort and requiring other strategies to adjust termal performance.

Key Words: Thermal performance, Metal Wrap, Bioclimatic Architecture, Thermal Comfort

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esqueleto de uma obra em Sistema Construtivo Light Steel Framing	28
Figura 2 - Construção em Light Steel Framing	29
Figura 3 - Fachada com brises corrediços em painel perfilado-ESPANHA	37
Figura 4 - Fachada em painel perfilado-ESPANHA	37
Figura 5 - Vista interna em painel perfilado-ESPANHA	38
Figura 6 - Painel de ACM	39
Figura 7 - Fachada com envoltória em painel de ACM	40
Figura 8 - Fachada com envoltória em painel de ACM	40
Figura 9 - Fachada ventilada em painel de rainscreen	41
Figura 10 - O Revestimento Tile Hunter Douglas: rain screen	41
Figura 11 - Telhas metálicas utilizadas como painel de fechamento(1).....	42
Figura 12 - Telhas metálicas utilizadas como painel de fechamento(2).....	42
Figura 13 - Painéis metálicos termoacústicos	44
Figura 14 - Painéis metálicos de lâminas metálicas	44
Figura 15 - Painéis metálicos termoacústicos	45
Figura 16 - Residência em painéis metálicos.....	46
Figura 17 - Painéis metálicos de lâminas metálicas	46
Figura 18 - Estratégias bioclimáticas passivas.....	57
Figura 19 - Fluxograma resumo da metodologia aplicada	62
Figura 20 - Modelo estudado	62
Figura 21 - Modelo estudado.....	62
Figura 22 - Planta baixa térreo do Modelo estudado.....	63
Figura 23 - planta baixa primeiro pavimento do Modelo estudado.....	63
Figure 24 - Fachada do Modelo estudado.....	64
Figura 25 - Corte BB do Modelo estudado.....	64
Figure 26 – Zoneamento bioclimático Brasileiro	69
Figure 27 - Energyplus	70
Figura 28 - Principais características de programas de simulação computacional.....	70

Figura 29 - Modelo estimado para Manaus	79
Figure 30 - Modelo estimado para São Paulo (inverno)	81
Figura 31 - Gráfico modelo estimado para São Paulo (verão)	83
Figura A1 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB1, 1ren/h, ambiente sala -Painéis ACM	111
Figure A2 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB1, 5ren/h, ambiente sala-Painéis ACM	111
Figura A3 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB1, 1ren/h, ambiente Quarto-Painéis ACM	112
Figura A4 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB1, 5ren/h, ambiente Quarto-Painéis ACM	111
Figura A5 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de Verão na ZB1, 1ren/h, ambiente Sala-Painéis ACM.....	115
Figura A6 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de Verão na ZB1, 5 ren/h, ambiente Sala-Painéis ACM.....	115
Figura A7 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de Verão na ZB1, 1 ren/h, ambiente quarto-Painéis ACM.	116
Figura A8 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de Verão na ZB1, 5 ren/h, ambiente Quuarto-Painéis ACM	116
Figura A9 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB3, 1 ren/h, ambiente Sala-Painéis ACM.....	119
Figura A10 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB3, 5 ren/h, ambiente Sala-Painéis ACM.....	119
Figura A11 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB3, 1 ren/h, ambiente Quarto-Painéis ACM.	120
Figura A12 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB3, 5 ren/h, ambiente Quarto-Painéis ACM.	120
Figura A13 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB3, 1 ren/h, ambiente Sala-Painéis ACM.....	117
Figura A14 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB3, 5 ren/h, ambiente Sala-Painéis ACM.....	117

Figura A15 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB3, 1 ren/h, ambiente Quarto-Painéis ACM	118
Figura A16 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB3, 5 ren/h, ambiente Quarto-Painéis ACM	118
Figura A17- Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB8, 1 ren/h, ambiente Sala-Painéis ACM.....	119
Figura A18 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB8, 5 ren/h, ambiente Sala-Painéis ACM.....	119
Figura A19 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB8, 1ren/h, ambiente Quarto-Painéis ACM	120
Figura A20 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB8, 5 ren/h, ambiente Quarto-Painéis ACM.....	120
Figura A21 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB1, 1 ren/h, ambiente Sala-Painéis Telha Termo acústica	121
Figura A22 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB1, 5 ren/h, ambiente Sala-Painéis Telha Termo acústica	121
Figura A23 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB1, 1 ren/h, ambiente Quarto-Painéis Telha Termo acústica.....	122
Figura A24 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB1, 5 ren/h, ambiente Quarto-Painéis Telha Termo acústica.....	122
Figura A25 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB1, 1 ren/h, ambiente Sala-Painéis Telha Termo acústica	123
Figura A26 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB1, 5 ren/h, ambiente Sala-Painéis Telha Termo acústica	123
Figura A27 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB1, 1 ren/h, ambiente Quarto-Painéis Telha Termo acústica.....	124
Figura A28 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB1, 5 ren/h, ambiente Quarto -Painéis Telha Termo acústica.....	124
Figura A29 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB3, 1 ren/h, ambiente Sala -Painéis Telha Termo acústica	125
Figura A30 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB3, 5 ren/h, ambiente Sala -Painéis Telha Termo acústica	125

Figura A31 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB3, 1 ren/h, ambiente Quarto -Painéis Telha Termo acústica	126
Figura A32 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB3, 5 ren/h, ambiente Quarto -Painéis Telha Termo acústica	126
Figura A33 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de Verão na ZB3, 1 ren/h, ambiente Sala -Painéis Telha Termo acústica	127
Figura A34 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de Verão na ZB3, 5 ren/h, ambiente Sala -Painéis Telha Termo acústica	127
Figura A35 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de Verão na ZB3, 1 ren/h, ambiente Quarto -Painéis Telha Termo acústica	128
Figura A36 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de Verão na ZB3, 5 ren/h, ambiente Quarto -Painéis Telha Termo acústica	128
Figura A37 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de Verão na ZB8, 1 ren/h, ambiente Sala -Painéis Telha Termo acústica	129
Figura A38 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de Verão na ZB8, 5 ren/h, ambiente Sala -Painéis Telha Termo acústica	129
Figura A39 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de Verão na ZB8, 1 ren/h, ambiente Quarto -Painéis Telha Termo acústica	130
Figura A40 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de Verão na ZB8, 5 ren/h, ambiente Quarto -Painéis Telha Termo acústica	130
Figura A.41 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB1, 1ren/h, ambiente Sala - $\alpha = 0,5$	131
Figura A.42 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB1, 5ren/h, ambiente Sala- $\alpha = 0,5$	131
Figura A.43 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB1, 1ren/h, ambiente Quarto - $\alpha = 0,5$	132
Figura A.44 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB1, 5ren/h, ambiente Quarto - $\alpha = 0,5$	132
Figura A.45 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB1, 1ren/h, ambiente Sala - $\alpha = 0,5$	133
Figura A.46 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB1, 5ren/h, ambiente Sala - $\alpha = 0,5$	133
Figura A.47 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB1, 1ren/h,	

ambiente Quarto - $\alpha = 0,5$	134
Figura A.48 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB1, 5ren/h, ambiente Quarto - $\alpha = 0,5$	134
Figura A.49 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB3, 1ren/h, ambiente Sala - $\alpha = 0,5$	135
Figura A.50- Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB3, 5 ren/h, ambiente Sala - $\alpha = 0,5$	135
Figura A.51- Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB3, 1 ren/h, ambiente Quarto - $\alpha = 0,5$	136
Figura A.52 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB3, 5 ren/h, ambiente Quarto - $\alpha = 0,5$	136
Figura A.53 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB3, 1ren/h, ambiente Sala - $\alpha = 0,5$	137
Figura A.54- Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB3, 5 ren/h, ambiente Sala - $\alpha = 0,5$	137
Figura A.55- Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB3, 1 ren/h, ambiente Quarto - $\alpha = 0,5$	138
Figura A.56 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB3, 5 ren/h, ambiente Quarto - $\alpha = 0,5$	138
Figura A.57 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB8, 1ren/h, ambiente Sala - $\alpha = 0,5$	139
Figura A.58 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB8, 5ren/h, ambiente Sala - $\alpha = 0,5$	139
Figura A.59 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB8, 1 ren/h, ambiente Quarto - $\alpha = 0,5$	140
Figura A.60- Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB8, 5 ren/h, ambiente Quarto - $\alpha = 0,5$	140

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Transmitância térmica de paredes externas.....	59
Tabela 2 - Capacidade térmica de paredes externas.....	59
Tabela 3 - Áreas mínimas de aberturas para ventilação.....	60
Tabela 4 - Critérios de coberturas quanto à transmitância térmica.....	60
Tabela 5 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão.....	60
Tabela 6 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno.....	60
Tabela 7- Sistemas de fechamento A.....	65
Tabela 8 - Sistemas de fechamento B.....	65
Tabela 9 - Espessura e propriedades termofísicas dos materiais dos fechamentos.....	65
Tabela 10 – Espessura, condutividade térmica e propriedades referentes à radiação do vidro.....	66
Tabela 11 - Zonas bioclimáticas e respectivas cidades simuladas.....	66
Tabela 12 - Dados de dias típicos de verão das cidades simuladas.....	67
Tabela 13 - Dados de dias típicos de inverno das cidades simuladas.....	67
Tabela 14 - Resposta painel ACM, comparativo das Condições de conforto, para um dia típico de verão segundo NBR 15.575.....	75
Tabela 15 - Resposta telha termoacústica: comparativo das Condições de conforto, para um dia típico de verão segundo NBR 15.575.....	75
Tabela 16 -Análise de variância dos fatores em Curitiba (inverno).....	76
Tabela 17 - Tabela de Análise de variância de fatores para Curitiba (Inverno), apenas os significativo.....	76
Tabela 18 - Teste de comparações múltiplas para o fator Fechamento (Curitiba inverno).....	76
Tabela 19 - Tabela de Análise de variância de fatores para Manaus (Verão), apenas os significativo.....	77
Tabela 20 - teste de comparações múltiplas para o fator Fechamento (Manaus Verão).....	78
Tabela 21 - Desdobramento ALFA dentro de cada nível de FECHAMENTO.....	79
Tabela 22 - Desdobramento de FECHAMENTO dentro de cada nível de ALFA.....	79
Tabela 23 - Análise de variância dos fatores em São Paulo (inverno).....	80
Tabela 24 - Análise de variância de fatores para São Paulo (Inverno), apenas os significativos.....	80
Tabela 25 - teste de comparações múltiplas para o fator Fechamento (São Paulo Inverno)..	81
Tabela 26 - Análise de variância dos fatores em São Paulo (Verão).....	82

Tabela 27 - Análise de variância de fatores para São Paulo (Verão), apenas os significativo.	82
Tabela 28 - teste de comparações múltiplas para o fator Fechamento (São Paulo Verão).....	82
Tabela A.1 - Dados para experimento fatorial com as variáveis analisadas – inverno São Paulo – ambiente sala	94
Tabela A.2 - Dados para experimento fatorial com as variáveis analisadas – verão São Paulo – ambiente sala	98
Tabela A.3 - Dados para experimento fatorial com as variáveis analisadas – inverno Curitiba – ambiente sala	102
Tabela A.4 - Dados para experimento fatorial com as variáveis analisadas – verão Manaus – ambiente sala	106

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO.....	18
1.1 Contextualização do Tema	18
1.2 Objetivo	21
1.3 Objetivos específicos.....	21
1.4 Justificativas	21
1.5 Estrutura da tese.....	26
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1 Sistema Light Steel Framing	27
2.2 -Tipos de fechamento vertical externo	32
2.3 -Painéis pré-fabricados de concreto.....	33
2.4 Painéis GFRC ou GRC (Glassfibre Reinforced Cement).....	34
2.5 Painéis de concreto celular autoclavado.....	34
2.6 Placa cimentícia.....	35
2.7 Fechamento Metálico	36
2.7.1 Painéis perfilados.....	36
2.7.2 Painéis compósitos	38
2.7.3 Painel rainscreen.....	40
2.7.4 Telhas de aço como painel de fechamento	41
2.8 - Importância dos sistemas de fechamento na construção industrializada em aço	46
2.9 Conforto térmico	48
2.10 Desempenho térmico	49
2.10.1 Normas específicas	53
2.10.2 Estratégias bioclimáticas passivas.....	56
3 – METODOLOGIA.....	58
3.1 Caracterização da edificação e seu perfil de ocupação	61
3.2 Caracterização e configuração do sistema de fechamento	64

3.3 Caracterização das condições climáticas.....	66
3.4 Caracterização das exigências humanas de conforto térmico	68
3.5 Parâmetros da simulação numérica.....	68
3.6 Modelo estatístico da análise de fatores	71
4 – RESULTADOS	74
4.1 Parâmetros analisados e a norma NBR 15.575 para todas as 8 zonas bioclimáticas	74
4.2 Análise de variância para a cidade de Curitiba:	75
4.3 Análise de Variância para a cidade de Manaus:	77
4.4 Análise de Variância para a cidade de São Paulo (inverno):.....	80
4.5 Análise de Variância para a cidade de São Paulo (Verão):	81
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
REFERÊNCIAS	86
APÊNDICES	94

1 – INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do Tema

Embora o homem tenha buscado, desde os tempos remotos, construir seu abrigo em harmonia com os condicionantes climáticos do lugar ao qual estava inserido e com os recursos materiais disponíveis na natureza, após a segunda metade do século XIX, com a Revolução Industrial e a subsequente evolução tecnológica, diversos sistemas de iluminação e climatização artificial foram criados e passaram a ser largamente utilizados nas edificações, resultando em um crescente consumo energético (CAVALCANTI, 2013).

No início do século XX, com a chamada arquitetura moderna em sua corrente principal, muitas vezes também chamada de "Estilo Internacional", produziu-se edificações com uma aparência muito semelhante, a partir de técnicas de construção igualmente similares em regiões climáticas distintas. Essa arquitetura, cujas características convergiam, seja onde é que fosse construída, muito ignorava os princípios da arquitetura regionalista, fomentando gasto excessivo de energia. A arquitetura local e a produção de edificações devem ser conduzidas de maneira que os profissionais incorporem uma linguagem adequada e de características próprias, criando uma tipologia regional, dando uma identidade à arquitetura que vem sendo importada ou mal copiada e que perde de vista o mais importante: o conforto dos usuários. Frente à crise energética, necessita-se projetar bem para reduzir o consumo de energia e levar em conta as condições climáticas do meio, aplicando-se as técnicas bioclimáticas (CAVALCANTI, 2013).

A partir da década de 1930, iniciou-se o intenso desenvolvimento e a propagação do concreto armado no país, impulsionado pelo crescimento e a verticalização das grandes cidades, além do desenvolvimento da indústria pesada (cimentícia, siderúrgica...). Soma-se ainda outro fator que contribuiu para a consolidação do concreto armado no Brasil: a eclosão da Segunda Guerra Mundial, que trouxe como consequência a interrupção de informação e da importação de materiais entre o país e os Estados Unidos, propiciando um acelerado desenvolvimento nacional da tecnologia do concreto armado (HERMSDORFF, 2005).

Uma série de fatores mercadológicos atuais propiciou uma redescoberta da estrutura em aço, a qual já havia sido utilizada no país no final do século XIX e início do século XX. A abertura do mercado nacional permitiu a chegada de novos elementos de fechamento utilizando diversos materiais adaptáveis à estrutura em aço, propiciando a substituição da alvenaria tradicional como principal elemento de fechamento nas edificações (VON KRUGER, 2000).

No Brasil, a partir da década de 1980, o aço deixou de ser utilizado apenas em galpões e indústrias, sendo exploradas suas amplas possibilidades e potencialidades inclusive em edificações comerciais e residenciais (CASTRO, 1999; VON KRUGER, 2000; SALES; SOUZA; NEVES, 2002).

A industrialização dos sistemas de construção deu um salto a partir dos anos de 1990, porém este tem sido percebido por poucos, em função ainda da pouca demanda de mercado e pelo desconhecimento geral dos novos processos. A grande maioria das obras continua utilizando os métodos tradicionais de construção, contribuindo para os desperdícios e poluição do solo com resíduos (CAMPARI, 2006; BASTOS; SOUZA, 2007).

Dentre as principais razões que dificultam a aplicação da filosofia de construção do aço no país estão: a “cultura do concreto” (ainda muito difundida), a crença de que seu custo é elevado se comparado ao do concreto e a falta de conhecimento técnico tanto do sistema de construção quanto aos procedimentos específicos de sua utilização como componente estrutural e dos componentes que o acompanham. O fato de o aço estrutural possuir natureza e características bastante diferenciadas das do concreto armado aumentam ainda mais a resistência à sua aplicação (VON KRUGER, 2000; RIBAS, 2006).

Segundo Oliveira (2013), existe a diferença de custo dos materiais, sendo que os sistemas industrializados seriam mais caros do que os sistemas convencionais se comparados diretamente. Outra hipótese diz respeito à barreira cultural para edifícios que não sejam de alvenaria e concreto, de forma que eles trariam desconfiança quanto à qualidade, segurança e durabilidade. Existe ainda a hipótese em relação à falta de mão-de-obra especializada e de profissionais aptos a trabalhar com a construção industrializada, visto que esses trabalhadores não estariam familiarizados e com informações suficientes sobre esses sistemas. Além disso, existe a hipótese de que essa disponibilidade de mão-de-obra não qualificada e barata sustentaria a conformação do canteiro de obras baseada no método convencional. Existe ainda a hipótese de que as universidades de Arquitetura e Urbanismo e Engenharia Civil não estariam abordando de forma substancial o tema relacionado aos sistemas de construção industrializados. Para todas essas hipóteses foi constatado algum tipo de empecilho.

Na visão da Indústria Siderúrgica, existe um crescimento no setor da construção industrializada, especialmente no caso da construção em aço, mas que ainda é pequeno em relação ao potencial desse setor. O potencial da siderurgia brasileira é grande e tem capacidade suficiente para abastecer o mercado interno. Com o avanço das técnicas de produção de perfis, cresce também o uso desse material no sistema de construção em obras de médio e pequeno porte, tais como comerciais,

residenciais e até mesmo, habitações populares.

As vantagens desse tipo de estrutura são a redução de prazo, racionalização de material e mão-de-obra, obra limpa e organizada, flexibilidade de reformas, maior área útil e distância entre vãos, maior precisão em detalhes do projeto e redução de carga, com conseqüente alívio na fundação, além da possibilidade de reutilização do material empregado.

A ideia de utilização de estrutura em aço em residências de alto padrão está muito mais ligada à concepção do projeto arquitetônico do que ao projeto estrutural propriamente dito. Por outro lado, a proposta de se aumentar o uso de aço na construção civil chegou à habitação popular com *kits* estruturais, que podem ser montados pelo proprietário em poucas horas e sem o auxílio de ferramentas especiais, o que leva à economia de tempo e garante a padronização das construções.

A informalidade na construção civil faz com que os sistemas industrializados não consigam competir com a construção informal, já que possui todos os encargos referentes a uma indústria. É visto que as comparações diretas entre o sistema industrializado e o convencional resultam em um custo mais elevado no primeiro tipo. Essa análise indica somente o custo de execução dos empreendimentos, levando em conta o material, montagem e mão-de-obra. Entretanto, são deixados de fora dessa análise os aspectos relativos à economia gerada pela racionalização pelo curto tempo de execução (HABITAÇÃO..., 2010).

Além da viabilidade técnica de um determinado sistema, existe a necessidade de que ele seja uma alternativa economicamente competitiva no mercado da construção civil. No momento em que o sistema industrializado possui custo superior ao sistema convencional, seus benefícios precisam ser capazes de se tornar uma possível fonte de vantagens que irão compensar o valor final da edificação (MILAN *et al.*, 2010).

A construção estruturada em aço e a utilização de fechamentos industrializados é vista também como uma alternativa sustentável, por aliar velocidade, qualidade e racionalização, além de retirar do canteiro de obras uma gama de atividades precárias e artesanais.

Os painéis de fechamento são importantes para as construções industrializadas e são a principal opção como elemento de fechamento para a estrutura em aço. Dessa forma, necessitam de uma análise mais detalhada quanto à exequibilidade e adaptabilidade junto à cultura de construção e características climáticas brasileiras (VON KRUGER, 2000).

A construção industrializada resume-se em obter a melhor solução de construção para o empreendedor. Dessa forma, unindo-se o uso da estrutura em aço com modernos componentes de fechamento e cobertura, o prazo de construção torna-se reduzido.

1.2 Objetivo

O objetivo dessa pesquisa é trazer recomendações, a partir de simulações computacionais utilizando o programa *Energyplus* (versão 8.9.0) e levando em conta os requisitos na norma NBR 15.575, para o uso de dois novos produtos na aplicação para fechamento externo no setor residencial unifamiliar, os painéis compósitos ACM (*Aluminium Composite Material*) e as telhas sanduíche termoacústicas (sanduíche).

1.3 Objetivos específicos

A delimitação dessa investigação fica estabelecida pela determinação dos objetivos específicos alcançados, a saber:

- Investigação da evolução dos diversos painéis de fechamento disponíveis no mercado nacional para avaliar seu uso e desempenho térmico na construção;
- Proposição de recomendações para a seleção e definição de sistemas de fechamento, incluindo os novos sistemas de fechamento que estão surgindo no mercado;
- Geração de um modelo fatorial de adequação do desempenho térmico à zona bioclimática de acordo com as recomendações da norma NBR 15.575 (ABNT, 2013).

1.4 Justificativas

No momento em que a sustentabilidade se tornou um imperativo na arquitetura, a construção em aço, por suas características, responde às necessidades dos empreendedores e dos usuários como uma opção eficiente (MACHADO, 2010). Em função da importância do aspecto ambiental, houve um aumento na demanda por produtos e sistemas de construção que otimizem a construção e aumentem a eficiência e o desempenho das edificações, o que resulta em produtos mais racionalizados e com menor custo.

Segundo Mitidieri Filho e Guelpa (1992), a palavra desempenho, cujo significado é comportamento em utilização, caracteriza o fato de que um produto deve apresentar certas propriedades a fim de cumprir sua função quando sujeito a determinadas influências ou ações durante sua vida útil. Os requisitos e critérios de desempenho expressam, respectivamente, as condições qualitativas e quantitativas às quais a edificação deve atender para satisfazer às exigências do usuário, quando submetida a determinadas condições de exposição.

No Brasil apenas 17% das edificações são realizadas em aço, enquanto que nos Estados Unidos esse número sobe para 50% e no Reino Unido para 70%, valores que representam todos os tipos de edificações, inclusive a residencial (CONSTRUÇÃO, 2010).

O Brasil tem boas chances de fazer do aço um importante aliado no desenvolvimento das técnicas de construção, pois possui grande potencial siderúrgico. Apesar de ser o maior produtor de minério de ferro do mundo (e de excelente qualidade), exportava essa matéria-prima e importava aço estrutural de fora. A indústria siderúrgica do Brasil espera elevar sua produção em 2020 em 5,3%, para 34,2 milhões de toneladas, segundo IABr, entidade que representa usinas como Usiminas, Gerdau e CSN. O setor também estima aumento nas vendas no ano que vem no país para 19,4 milhões de toneladas, crescimento de 5,1%, informou o IABr.¹

Depois que foram privatizadas, as grandes siderúrgicas nacionais passaram a produzir aço de melhor qualidade e em maior quantidade, investindo na fabricação de perfis leves que possibilitam a construção de obras de pequeno porte. Assim, ocorreu uma redução no preço do material e cresceu a possibilidade de seu emprego em construções residenciais.

Diante da grande demanda por habitações, do crescimento da construção civil e da busca por construções com menor impacto ambiental, os sistemas de construção industrializados seriam uma opção lógica na escolha dos profissionais e clientes para seus projetos. Porém, essa não é a realidade brasileira, pois a maioria das edificações ainda é realizada utilizando sistemas de construção convencionais, em alvenaria e concreto, basicamente artesanais. Isso significa baixa produtividade, grande influência do clima na produção e alto desperdício de materiais.

A relevância do tema se dá pelo forte potencial ainda não explorado totalmente no Brasil dos sistemas de construção industrializados principalmente no caso de edificações residenciais. Nesses casos o arquiteto tem maior liberdade nas escolhas por tratar, na maioria das vezes, diretamente com o usuário final. Além disso, o cenário nacional se mostra extremamente favorável ao desenvolvimento e consolidação desses sistemas no país, como é o caso da possibilidade de financiamento de edificações construídas a partir de sistemas industrializados (SANTIAGO, 2012).

Segundo Ferreira (2016), deste modo é observada uma tendência atual de busca do aprimoramento no desempenho das edificações, em razão dos impactos gerados no conforto do usuário e no alto consumo energético por parte das construções. Além de promover o conforto do usuário, a

¹ Disponível em: <https://economia.uol.com.br/noticias/reuters/2019/12/05/producao-de-aco-no-brasil-deve-crescer-53-em-2020-estima-iabr.htm> Acesso em: 05 dez. 2019

arquitetura deve atuar de forma a minimizar os impactos ambientais decorrentes da sua demanda de energia, assim como garantir o melhor desempenho térmico das edificações, privilegiando o condicionamento passivo e reduzindo assim a utilização de sistemas de climatização artificial e, conseqüentemente, o consumo de energia operante da edificação.

Em relação à inovação tecnológica no Brasil, Rezende e Abiko (2004) indicam que as tentativas de mudança no processo de construção ocorridas no final do século XX fracassaram devido a problemas socioeconômicos e ao fato de que as tecnologias inseridas no setor não estavam suficientemente desenvolvidas. De acordo com os autores, isso não representa uma falha técnica, mas uma incapacidade dessas tecnologias em criar vantagens, como a redução nos custos e o aumento da qualidade do produto final.

No Brasil, têm sido desenvolvidos programas de construção de nível técnico muito simples, fazendo largo apelo à mão-de-obra abundante e barata, constituída pelos migrantes rurais. Essa mão-de-obra barata, pelo fato de poder ser desprendida sem dificuldade, é largamente empregada na construção, sem grandes preocupações por sua produtividade. Por essa razão não são utilizadas técnicas novas ou materiais modernos mais eficientes e mais caros (BRUNA, 1976).

Em muitos países desenvolvidos, devido ao grande desenvolvimento da construção racionalizada e industrializada, diretrizes similares a essa avaliação de desempenho de construções e materiais inovadores garantem, após prévia análise, desempenho satisfatório quanto ao uso a que se propõem e são adotadas como métodos de avaliação.

Acredita-se, na relevância dessa proposta, na medida em que ela, por meio da compilação, registro e divulgação dos dados e resultados obtidos, contribuirá para a aplicação de novas abordagens na construção do setor residencial, no sentido de acrescentar novos aportes aos estudos já realizados sobre o tema, permitindo a redescoberta de dimensões ainda pouco exploradas; além de ampliar a ótica de estratégias, processos ou tecnologias; mesmo que, em princípio, "... a tradição funcionalista que tem dominado os textos sobre gestão de mudança reconheça a dimensão social como uma variável determinante das possibilidades de sucesso das organizações..." (SILVA; VERGARA, 2003).

Os resultados desse estudo podem permitir o estabelecimento de novos tipos de fechamentos verticais que garantam desempenho térmico nas edificações, oferecendo uma alternativa consistente aos sistemas de construção comumente utilizados em construções comerciais e pouco difundidos no Brasil no setor residencial.

Torna-se cada vez mais importante considerar os componentes energético-climáticos nas relações

que determinam as decisões de projeto, uma vez que o manejo e o controle do consumo de energia na edificação se tornaram uma necessidade em nível mundial e, em especial, no contexto brasileiro. Para que isso seja possível, os conceitos de arquitetura bioclimática aplicados à eficiência energética nas edificações devem estar de acordo com a disponibilidade de técnicas, de materiais e do processo de construção das construções estruturadas em aço (GOMES, 2007).

Dependendo das características arquitetônicas e dos materiais empregados em uma edificação, a sua interação com o clima do local pode produzir impactos negativos no consumo de energia de edifícios mecanicamente condicionados e no conforto térmico dos usuários em edifícios naturalmente ventilados. As exigências atuais relativas à conservação de energia e conforto humano apontam para projetos de edificações que apresentem um desempenho global adequado. A eficiência global de uma edificação está associada à concepção de um projeto estrutural adequado e um sistema de fechamento que apresente um bom desempenho térmico em relação às condições climáticas locais. A escolha de materiais e métodos de construção, o conceito e disposição de formas e espaços, a procura do belo, do funcional e do seguro marcaram a evolução das construções, refletindo o nível de conhecimento, desenvolvimento e cultura da sociedade (OLGYAY, 1963; GOULART *et al.*, 1994; BRITO *et al.*, 2010).

Um dos fatores principais para se alcançar níveis altos de eficiência energética das edificações é a adequação da edificação ao clima local. Isto significa que os componentes da envoltória, cobertura, paredes, janelas, portas e piso, devem possuir determinadas características termofísicas e geométricas que, quando expostos ao clima, apresentem resposta térmica tal que propiciem condições térmicas adequadas ao conforto térmico dos ocupantes. Quando este conforto for insatisfatório, devem demandar o menor consumo possível de energia pelo sistema de ar condicionado, o qual deve ser escolhido também visando as características da edificação e do seu uso, tendo em vista não somente a sua eficiência energética, como o conforto final dos usuários (BRITO *et al.*, 2011).

Neste contexto, além do sistema estrutural de construção, a eficiência global do ambiente construído é outro fator importante no projeto e construção de quaisquer habitações. Uma edificação projetada de forma adequada para o clima no qual está inserida torna-se mais confortável, ou menos desconfortável, além de economizar energia. Em relação à construção estruturada em aço, os sistemas de fechamento, superfícies que definem os espaços construídos de uma edificação, são uma das etapas mais importantes no processo de construção como um todo, pois estão diretamente ligados à imagem e ao conforto do usuário de qualquer edificação. As interfaces, entre a estrutura e o sistema de fechamento, são partes relevantes para um bom

desempenho da edificação, bem como o aproveitamento das condições climáticas locais e do entorno.

A avaliação do desempenho térmico de uma edificação consiste em verificar se as condições do ambiente são satisfatórias quanto ao conforto térmico proporcionado aos ocupantes e envolve tanto as edificações naturalmente ventiladas quanto aquelas condicionadas mecanicamente. Essa análise é feita considerando a resposta global da edificação e visando a racionalização do consumo de energia utilizada para condicionamento dos ambientes. Esta resposta da edificação, às trocas de calor e de massa entre o ambiente interno e o ambiente externo, está associada à influência de várias variáveis envolvidas nos processos de troca de calor e de massa, tais como: os parâmetros ambientais, o tipo de atividade, o número dos ocupantes e o tipo de ocupação do ambiente, além das características termofísicas do sistema de fechamento e/ou componentes de construção.

Para o caso de edificações naturalmente ventiladas essa avaliação de desempenho térmico consiste em verificar se os requisitos estabelecidos em função das exigências humanas de conforto térmico são atendidos pelos ambientes internos, considerando a resposta global da edificação. Quando a edificação é condicionada artificialmente, a verificação é feita sobre a demanda de cargas térmicas para o condicionamento de ar dos ambientes internos (VITTORINO, 2005).

Quando na etapa de concepção do projeto arquitetônico utiliza-se os princípios de um projeto eficiente, é mais fácil implantar sistemas passivos, de condicionamento térmico, minimizando os efeitos climáticos inadequados. Toda via, quando um estudo prévio do desempenho térmico de uma edificação em fase de projeto não é realizado, somente após a construção da obra, aparecem os efeitos indesejáveis como temperaturas internas altas nos ambientes.

Para qualquer tipo de edificação o processo de avaliação de desempenho térmico engloba as seguintes etapas: (a) caracterização das variáveis humanas de conforto térmico; (b) caracterização das variáveis climáticas; e (c) caracterização das variáveis arquitetônicas da edificação e da sua ocupação. Deve-se considerar o caráter dinâmico dos fenômenos de transferência de calor e de massa entre uma edificação e o meio externo.

Sendo assim, é importante o conhecimento do desempenho térmico potencial da edificação ainda na fase do projeto, identificando-se os fatores que precisam ser aprimorados antes da sua finalização. Desse modo, as ferramentas de simulação computacional do desempenho térmico e energético de edifícios podem auxiliar na tomada de decisões durante o desenvolvimento do projeto (LBN, 2004; USDOE, 2010).

1.5 Estrutura da tese

Esta pesquisa está dividida em cinco capítulos. No primeiro deles, é feita a introdução, contextualização, justificativa do tema e os objetivos a que se pretende este trabalho. No segundo capítulo apresenta-se uma revisão da literatura acerca do conforto térmico, sistema de construção LSF, tipos de fechamentos na envoltória. No terceiro capítulo trata-se do desempenho térmico com abordagem das zonas e limites de desempenho térmico para o caso brasileiro e estratégias bioclimáticas passivas. No quarto capítulo a metodologia aplicada a este trabalho é apresentada sendo explanados de forma geral os métodos de análise de sensibilidade aplicados para análises de desempenho térmico. São definidas as variáveis a serem abordadas. No quinto capítulo os resultados obtidos são expostos e discutidos, permitindo a extração dos fatores com papel ativo no desempenho térmico das edificações residenciais unifamiliares e identificar aqueles cujo impacto é pouco significativo. São também realizadas comparações com parâmetros normativos adotados como limitadores para a promoção do melhor desempenho térmico das edificações.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistema Light Steel Framing

O cenário atual traz relações sociais que se processam rapidamente, assim como também há o advento da consciência global ambiental, de modo que a construção civil no Brasil se encontra em flagrante conflito com a contemporaneidade, uma vez que a técnica predominante de edificação no país é a alvenaria de blocos cerâmicos cuja produção acarreta exploração de recursos naturais não renováveis, bem como gera gases poluentes além de apresentar uma obra excessivamente demorada com a formação abundante de todo tipo de resíduos.

O *Light Steel Framing* (LSF) é um sistema de construção de concepção racional caracterizado pelo uso de perfis formados a frio de aço galvanizado compondo sua estrutura e por subsistemas que proporcionam uma construção industrializada e a seco projetado para suportar às cargas da edificação e trabalhar em conjunto com outros sub-sistemas industrializados, de forma a garantir os requisitos de funcionamento da edificação. Esse sistema de construção surgiu no mercado nacional como uma resposta aos desafios da construção habitacional relacionados acima (IBDA, 2016).

O LSF é uma proposta de construção que alia rapidez, qualidade de construção e habitacional, e também apresenta características mercadológicas e de negócios diferenciadas das construções tradicionais. O LFS é bastante utilizado internacionalmente e é necessária a sua propagação no país em razão de ser um sistema de construção aberto, que permite a utilização de diversos materiais. Embora sua participação tenha crescido nos últimos anos, o uso da solução no Brasil ainda é restrito, limitando-se quase sempre a empreendimentos residenciais. Desde que o *light steel framing*, ou simplesmente *steel frame*, como é conhecido por aqui, desembarcou no Brasil há cerca de dez anos vindo dos Estados Unidos, o mercado tem visto alguns avanços que ajudaram o sistema a lançar raízes em território brasileiro. A versatilidade dos perfis de aço leve faz com que se adequem facilmente aos projetos, e o caráter industrial de pré-fabricação permite um orçamento mais preciso ainda na fase do projeto. Sendo assim, cumpre salientar que o LFS é um sistema alternativo de construção que tem por finalidade acelerar a conclusão da obra, e oferecer ao mercado uma edificação mais sustentável, inovação imperiosa.

O sistema *LSF* visa uma produção em massa, industrializada, que tem como característica acelerar a construção civil, sendo esse o foco inicial dessa técnica de edificação. A origem do *LSF* é o *woodframing*, cuja um dos precursores foi George Washington Snow, com a obra da Igreja de St. Mary, em 1833 na cidade de Chicago (LEITE, 2017). O LSF chegou ao Brasil em meados dos

anos 1990. Como grande produtor de aço, bem como pelo déficit habitacional do país devido ao crescimento demográfico, o método de construção ainda é pouco utilizado. Segundo Kaminski Júnior (2006) o LSF passa por uma aceitação nacional, ou seja, vem se desenvolvendo e ganhando mercado gradativamente.

Inicialmente o LSF (Figura 1) foi mais utilizado em obras comerciais, como escolas, hospitais, galpões, armazéns entre outros, contudo o mercado desse método de construção também está crescendo em relação as obras habitacionais. A grande resistência de se utilizar o LSF no Brasil se dá em atenção ao tradicionalismo pela obra em alvenaria e principalmente pelo preconceito das pessoas que acreditam que as construções em *frame* são frágeis (CARAZZAI, 2016).



Figura 1 - Esqueleto de uma obra em Sistema de Construção em LSF

Fonte: CARAZZAI, 2016.

Os perfis de aço leve, como demonstrado na figura 1, geram a falsa impressão de fragilidade de modo que há a necessidade de conscientizar os brasileiros que até mesmo em países onde existem altos riscos de abalos sísmicos as construções a seco são bastante cotadas em razão da elevada resistência dos referidos perfis em aço (CARAZZAI, 2016). Os construtores devem concentrar esforços naqueles que procuram uma alternativa à construção convencional, uma vez que os esforços de tentar convencer alguém que não compreende as características do LSF, apenas por preconceito, dificilmente compensa. Por oportuno, passa-se a observar uma obra habitacional construída pelo método LSF concluída (Figura 2).



Figura 2 - Construção em Light Steel Framing
Fonte: CARAZZAI, 2016

A excelência dos resultados do método de construção, como se verifica na Figura 2, vem consolidando a viabilidade dessa tendência no Brasil, desde que comprovada a resistência da obra como diz Casagrande (2016):

“O mercado de *steel frame* tem melhorado bastante nos últimos quatro anos, mas muitos clientes ainda precisam constatar que a obra é realmente resistente. Além de ser leve e de construção rápida, essa estrutura é resistente ao fogo e segue todas as normas da construção civil, com produtos homologados, a maioria deles já fabricada no Brasil”.

O Brasil tem se esforçado para a adequação do sistema *frame*, entretanto, o tradicionalismo pela alvenaria e o preconceito com o sistema pontuados neste item não são os únicos percalços da internalização do LSF, que por ser uma tendência importada, ainda que muito dos produtos já sejam fabricados em território nacional. Como alegado por Casagrande (2016), os que não são importados produzem custo elevado, não obstante, a mão de obra qualificada é escassa e há a preocupação com a manutenção da obra edificada.

Neste sentido vale ressaltar os impulsos conjuntos de vários profissionais e instituições para a fixação do LSF no país, que difundiram o objeto em três vertentes primordiais, a saber, a cadeia de produção, a normatização e o agente financiador. Segundo o IBDA (2016), a cadeia de produção versa sobre as empresas que possuem produtos que são aplicados, direta ou indiretamente no sistema de construção, a título exemplificativo tem-se o perfil de aço, os fechamentos interno e externo, parafusos, entre outros, em destaque das referidas empresas ressalta-se a Usiminas/Cosipa pela qualidade na fabricação de produtos empregados no LSF e no comprometimento de

desenvolver novas tecnologias para o sistema. No que tange a normatização vale citar o trabalho do Centro Brasileiro da Construção em Aço – CBCA (2016), que recentemente publicou o Manual de LSF para Arquitetos. Esse manual encontra-se disponível para *download* no site do CBCA. Para o desenvolvimento do agente financiador, foi publicado pela Caixa (2003) um manual de requisitos e condições mínimas para financiamento de obras no sistema, não sendo esse rol de atividades taxativo, uma vez que inúmeros foram os esforços para que o LSF se encontre no Brasil, nos moldes atuais.

Consoante disposição do CBCA (2012), existem três métodos de construção no sistema LSF, quais sejam, Método Stik, Método por Painéis e Método Modular. O método de construção Stik foi desenvolvido para ser utilizado em locais cuja pré-fabricação não seja viável. Desse modo, os perfis de aço leve são cortados no próprio canteiro de obras e os demais componentes da estrutura também são montados no local. O método por painéis implica na montagem local de painéis estruturais ou não estruturais pré-fabricados fora do canteiro, inclusive, até alguns materiais de fechamento já podem vir instalados da fábrica. Por fim, o método modular, que consiste na construção modular integral, ou seja, trata-se de construções inteiramente pré-fabricadas, entregues na obra por módulos, já com as devidas instalações elétricas, hidráulicas, sanitárias, até mesmo com Fechamentos e acabamentos.

Para a edificação no sistema LSF, seja qual for o método de construção escolhido, a obra passa por diversas etapas, a seguir deduzidas, segundo o IBDA (2016), conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Etapas das construções em LSF (continua)

Itens	Descrição
Fundação	O cálculo estrutural da obra, realizado por profissional qualificado, tem por uma das finalidades apontar a fundação adequada para o projeto que será construído, sendo o sistema de fundação raider, em geral, o mais utilizado no LSF. A fundação raider é executada sobre o isolamento hidrófugo, com as alimentações elétricas e hidráulicas já instaladas. Os painéis metálicos são fixados a essa função por intermédio de chumbadores que garantem a transferência da carga da edificação para a fundação e dessa por sua vez ao terreno.
Painéis	O LSF visa diminuir o desperdício de materiais complementares industrializados, bem como reduzir os resíduos da obra, para isso utiliza a modulação de perfis de 400mm a 600mm dividindo a carga da edificação entre eles. Os perfis metálicos consistem em chapas finas de aço e essa dimensão se justifica porque cada um é projetado para receber uma pequena parcela da referida carga, a título exemplificativo tem-se os fechamentos em placas cimentícias, OSB (<i>Oriented Strand Board</i>), placas de gesso acartonado, entre outros. O ideal é que esses painéis sejam pré-fabricados o que otimiza a velocidade da obra e diminui o desperdício. A forma geométrica de resistência e sistema de fixação entre as peças dos painéis bem como a disposição dos montantes dentro da própria estrutura, fazem com que eles estejam aptos à absorver e transmitir cargas verticais e horizontais sendo os elementos estruturais mais utilizados para garantir a estabilidade estrutural dos painéis e, consecutivamente da edificação do sistema os contraventamentos e as placas de fechamento estruturais.
Lajes e coberturas	O mesmo conceito utilizado no item anterior, de divisão de cargas entre os perfis é exercido nos elementos que suportam as lajes e coberturas. Esses elementos trabalham bi-apoiados de modo que a transferência das cargas devem ser contínuas, logo não há elementos de transição até as fundações. Cabe ressaltar que existem dois tipos de laje, úmidas e secas, as primeiras têm em sua composição formas de aço, a título exemplificativo têm-se as telhas galvanizadas que são preenchidas com concreto e tela eletrossoldada. As lajes secas podem ser compostas por painéis de madeira (OSB ou outros) ou placas cimentícias, apoiadas sobre perfis metálicos estruturais (vigas de entrepiso).

Quadro 1 - Etapas das construções em LSF (conclusão)

Itens	Descrição
Isolamentos	Anteriormente o conceito de isolamento baseava-se na utilização de materiais com grande massa e espessura. Com o avanço tecnológico dos produtos e processos de cálculo, consegue-se mensurar a real necessidade do isolamento e quantificar o material isolante necessário. Várias são as maneiras de conservação energética em uma construção, entre elas conter infiltrações de água e passagem de vento, evitar penetração e formação de umidade, adequado projeto de circulação de ar dentro da edificação ou, ainda, reduzir as perdas térmicas entre o meio interno e externo. Alguns sistemas de isolamento, Barreira de água e vento; Barreira de vapor; Áticos ventilados; Isolantes térmicos; Seladores; Acondicionamento Acústico.
Fechamento e acabamentos	<p>Para os fechamentos internos das paredes o gesso acartonado é o material mais indicado. Podem-se encontrar no mercado brasileiro 3 tipos diferentes de placa de gesso:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Placas comuns, utilizadas em áreas secas, apresentam o cartão na cor natural; • Placas resistentes a umidade, também chamadas de placas verdes, são indicadas para ambientes úmidos; • Placas resistentes ao fogo, utilizadas quando há a necessidade de proteção passiva, são diferenciadas pela cor vermelha do cartão envelopador do gesso. <p>Para os fechamentos externos são encontrados no Brasil revestimentos desenvolvidos especialmente para o sistema <i>Light Steel Framing</i>, como a Placa Cimentícia, que é aplicada diretamente sobre a estrutura e depois pintada, e o Vinílico, que consiste em um material composto de PVC de fácil instalação que dispensa manutenção, que é verticalizado no presente trabalho.</p>

2.2 -Tipos de fechamento vertical externo

A pesquisa do levantamento dos atuais sistemas utilizados para o fechamento externo resultou na identificação de dois tipos: a alvenaria tradicional e os painéis pré-fabricados. É importante ressaltar que grande parte das construções em estruturas em aço utilizam preferencialmente sistemas de construção industrializados, devido à rápida montagem, sendo assim são abordadas, a seguir, alternativas tecnológicas mais usuais que vêm sendo disponibilizadas e comercializadas

para o fechamento vertical dos edifícios. Cita-se os mais comuns e os novos metálicos com suas características que se relacionam diretamente ao desempenho de cada tipo. Para a pesquisa utiliza-se dois tipos metálicos.

2.3 -Painéis pré-fabricados de concreto

Os painéis de concreto possuem peso elevado e normalmente possuem grandes dimensões. Esses fatores fazem com que, em sua montagem, sejam empregados equipamentos especiais como guindastes ou gruas e é necessário que o canteiro de obra possua espaço suficiente para a disposição dos equipamentos. Os painéis de concreto podem ser de três tipos:

- a) Painéis-cortina: painéis de fechamento externo recobrimdo toda a estrutura, e que não possuem função estrutural;
- b) Painéis com função estrutural.
- c) Painéis de vedação: são aqueles que não recobrem toda a estrutura.

Os painéis tipo cortina e os painéis de vedação são os mais usuais nos edifícios de estrutura em aço. Podem apresentar geometria e dimensões variadas, que devem ser definidas no projeto. As dimensões mais utilizadas variam na altura de 1,20m a 3,00m e o comprimento pode ser de até três vezes a altura. A espessura é dimensionada em função do comprimento e varia entre 9mm e 160mm.

Os painéis pré-fabricados em concreto apresentam as seguintes características:

- a) Massa superficial: em média de 250kg/m²;
- b) Apresentam bom desempenho no isolamento acústico;
- c) Apresentam bom desempenho térmico, quando combinado com painel interno em gesso acartonado;
- d) A estanqueidade deve ser assegurada com a adoção de juntas seladas entre os painéis e entre painéis e caixilhos;
- e) Apresentam boa resistência ao fogo.

Podem receber como acabamento a adição de agregados coloridos e de pigmentos inorgânicos estáveis quando expostos à alta temperatura e à radiação ultravioleta. Podem também receber revestimento em granito, mármore e materiais cerâmicos assentados no processo de fabricação.

2.4 Painéis GFRC ou GRC (Glassfibre Reinforced Cement)

Os painéis GFRC ou GRC (*Glassfibre Reinforced Cement*) são os fabricados com a adição de fibra de vidro à matriz cimentícia, com a intenção de diminuir o peso. Possuem elevada resistência à compressão e a fibra de vidro garante maior resistência à tração, à flexão e aumenta a capacidade de absorção dos impactos. É um painel que permite moldagem, apliques e formas diversas, de acordo com o projeto arquitetônico. O painel GRC disponível no mercado brasileiro é constituído por duas lâminas de 10mm ligadas entre si por uma manta de fibra de lã de vidro. Apresentam as seguintes características:

- a) Massa superficial: varia com o tamanho do painel, mas em média possui $\frac{1}{4}$ do peso de um painel equivalente em concreto (de 50 a 70kg/m);
- b) Apresentam elevada resistência mecânica;
- c) Apresentam bom isolamento acústico e térmico;
- d) São resistente ao fogo;
- e) A estanqueidade deve ser garantida com o uso de material selante nas juntas;
- f) Devido ao fato de serem mais leves são mais fáceis de serem transportados e montados.

Como acabamento, podem receber pigmentos e agregados coloridos que devem ser estáveis sob alta temperatura e radiação ultravioleta, sendo que não é recomendado utilizar revestimento cerâmico ou granito, uma vez que tais materiais possuem retração, capacidade de absorção de umidade e dilatação térmica diferentes do material base do painel, o que pode resultar em deformações ou fissuras.

2.5 Painéis de concreto celular autoclavado

O concreto celular autoclavado é composto a partir de uma reação entre cimento, cal, areia e pó de alumínio, que após cura e alta pressão originam o silicato de cálcio. Os painéis de concreto celular podem ser assentados no sistema de painel de vedação (deixando a estrutura aparente) e no sistema de fachada “cortina”. Apresentam as seguintes características:

- a) Massa superficial: 75 kg/m² e mais o peso do revestimento;
- b) Apresentam bom isolamento térmico;
- c) Apresentam bom desempenho acústico (média de 40dB);
- d) Os painéis são conectados entre si por meio de um encaixe fêmea-fêmea, e a estanqueidade é obtida pelo preenchimento do encaixe com argamassa líquida (*grout*) e posterior aplicação de argamassa de acabamento;

- e) Apresentam boa resistência ao fogo;
- f) Devido ao fato de serem leves, são de fácil manuseio e dispensam equipamentos especiais de montagem;
- g) Pode ser oferecido com furação interna para passagem de tubulação;
- h) Podem ser facilmente cortados para adaptações e ajustes de obras.

Os painéis podem receber acabamentos como pintura, textura ou serem revestidos em granito, pedras ou cerâmica, todos executados na fábrica. É importante observar que o painel de concreto celular, devido ao fato de ser um material com grande absorção de umidade, precisa receber um acabamento para garantir a estanqueidade. No processo de pintura ou aplicação de textura devem ser utilizados materiais mais resistentes ou hidrofugantes.

2.6 Placa cimentícia

A placa cimentícia é constituída por uma mistura homogênea de cimento e quartzo reforçada por fios sintéticos (como uma manta de fibra de vidro) ou por fibras vegetais (como a celulose). As fibras garantem a elasticidade da placa e aumentam sua resistência à flexão e ao impacto. Possuem dimensões padrão de acordo com o fornecedor, normalmente com 1,20m de largura por 2,40m de altura, podendo ter espessura entre 4mm e 15mm.

É um painel leve e as placas são aparafusadas a uma estrutura auxiliar que, por sua vez, é fixada à estrutura principal do edifício. Apresentam as seguintes características:

- a) Massa superficial: Entre 13 e 17kg/m²;
- b) São impermeáveis, com baixo teor de absorção de umidade;
- c) Apresentam boa resistência aos impactos;
- d) Apresentam boa resistência ao fogo;
- e) São bons isolantes térmicos;
- f) A estanqueidade é garantida pelo preenchimento da junta com selante flexível (polissulfetobi-componente);
- g) São maleáveis, podendo fazer superfície e curva.

As placas cimentícias podem ser utilizadas ao natural, receber pintura de acabamento ou serem revestidas com material cerâmico, pedras e granitos. Porém, esses procedimentos não são feitos durante o processo de fabricação.

2.7 Fechamento Metálico

Os painéis metálicos para fechamento surgiram na década de 1840 em Boston e em Nova York quando os edifícios receberam fachadas de ferro fundido com o objetivo de proteger as edificações contra incêndio, que naquele tempo alastravam-se rapidamente devastando as malhas das cidades. No cenário atual, com a necessidade de melhorar a produtividade e a qualidade para se tornar compatível com a concorrência da construção civil no mercado, surgia introdução de novos conceitos de materiais, e entre eles a construção em aço.

Os painéis metálicos são mais uma opção para os fechamentos verticais. Estão disponíveis no mercado brasileiro os seguintes tipos de painel: o painel perfilado, o painel compósito, o painel *rainscreen* e o painel de telhas metálicas.

2.7.1 Painéis perfilados

Os painéis perfilados são compostos por chapas metálicas perfiladas em aço galvanizado, aço inoxidável ou alumínio. Normalmente as chapas são fixadas em estruturas auxiliares metálicas. Esses painéis são mais utilizados em edifícios baixos, principalmente os industriais, e não são uma solução adequada para o fechamento dos níveis inferiores dos edifícios urbanos, uma vez que não atendem aos requisitos de grandes impactos e atos de depreciação.

As chapas de aço galvanizado têm entre 3mm e 6mm de espessura, com largura até 1,20m e o comprimento de até 20m. As chapas de aço podem receber revestimento orgânico em PVC ou receber pintura. A pintura pode ser com esmalte vítreo ou pintura eletrostática.

As chapas de alumínio também têm entre 3mm e 6mm de espessura, com largura até 1,20m e o comprimento de até 20m. Podem receber anodização, ou acabamentos com flúor-carbono e acrílicos.

As chapas de aço inoxidável têm entre 1mm e 2mm de espessura, largura entre 1,00m e 1,30m e comprimento de 20m e 30m. Podem ser lisas, texturizadas ou coloridas. As chapas, após receberem o acabamento, são cortadas, dobradas ou soldadas, ou podem receber um enrijecimento metálico adicional colocado na face posterior do painel. A quantidade e disposição dos enrijecedores aliados à espessura da chapa são responsáveis pela rigidez final do painel. Os painéis podem receber um material de isolamento térmico e acústico, que normalmente é colocado no local e, internamente, podem ter uma outra chapa de aço ou de outro material como o gesso acartonado. Esse material de isolamento pode ser lã de rocha ou lã de vidro. Nas figuras 3, 4 e 5 apresenta-se imagens de fachadas em perfil perfilado.

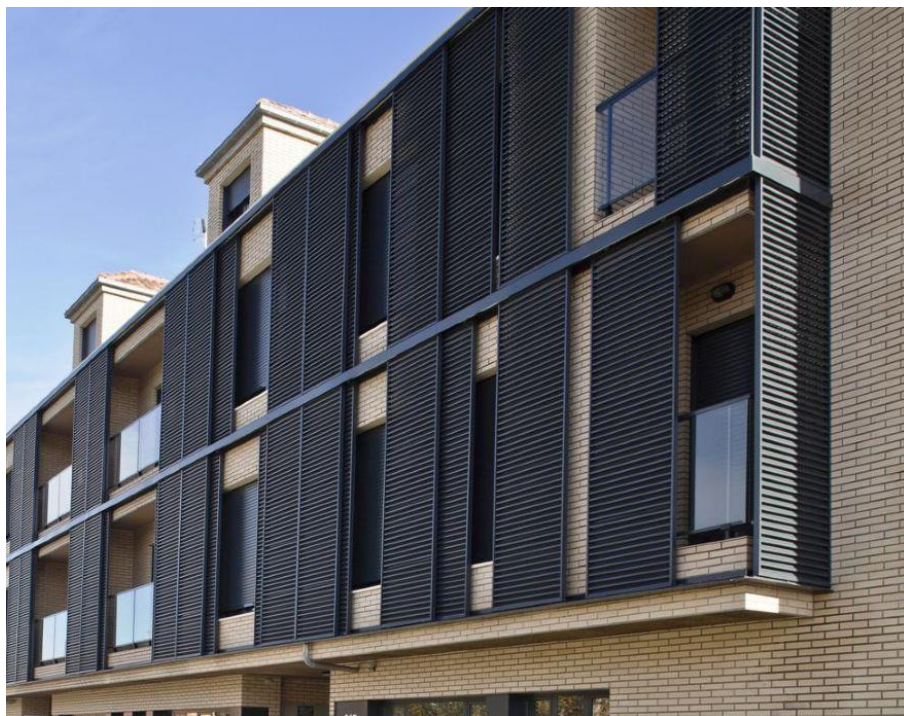


Figura 3 - Fachada com brises corrediços em painel perfilado-ESPANHA
Fonte: CIERRESELHOGAR, 2019



Figura 4 - Fachada em painel perfilado-ESPANHA
Fonte: CIERRES DEL HOGAR, 2019



Figura 5 - Vista interna em painel perfilado-ESPANHA
Fonte: CIERRES DEL HOGAR, 2019

2.7.2 Painéis compósitos

Os painéis compósitos são formados por duas lâminas metálicas e uma camada interna de material leve, que geralmente é um isolante termo-acústico e podem ser do tipo “painel sanduíche” ou painel integrado. Normalmente, são em alumínio: painel ACM (*Aluminium Composite Material*) e são os mais indicados para o fechamento dos edifícios altos, pois são leves e apresentam alto grau de sofisticação tecnológica o que, infelizmente, eleva o seu custo e restringe sua utilização. (Figuras 6, 7 e 8)

A espessura da camada interna determina o grau de isolamento termo-acústico do painel e a sua rigidez. Segundo Silva e Silva (2003), os materiais utilizados na camada interna podem ser:

- a) Lã mineral: lã de vidro, rocha, carbono ou cerâmica;
- b) Colméia de papel;
- c) Lâminas de poliestireno;
- d) Espuma de poliuretano.

De acordo com Silva e Silva (2003), no caso de ser aplicada a espuma de poliuretano, o tipo de aplicação interfere na dimensão do painel. A espuma pode ser aplicada por meio do processo contínuo, que proporciona maior aderência do material, ou por aplicação horizontal ou vertical. Se a espuma é aplicada na horizontal, a dimensão do painel é determinada pela forma de transporte e pelo sistema de fixação, podendo o painel atingir a dimensão da chapa utilizada. Já na aplicação vertical, é necessário controlar a densidade o que limita a altura do painel em 60cm. Nesse tipo de painel deve haver um fechamento com material hidrofugante para garantir a qualidade da espuma. O aço é um produto altamente resistente e de grande durabilidade. Os projetos que recorrem ao emprego do aço são principalmente os fechamentos de vedação e coberturas, sejam elas residenciais, industriais ou comerciais.



Figura 6 - Painel de ACM
Fonte: VINIL E CIA, 2019



Figura 7 - Fachada com envoltória em painel de ACM
Fonte: ACF ..., 2019



Figura 8 - Fachada com envoltória em painel de ACM
Fonte: ACF ..., 2019

2.7.3 Painel rainscreen

Os painéis metálicos ainda podem ser utilizados como fachadas tipo *rainscreen* (proteção de chuva), projetados com a finalidade de resistir à ação das intempéries e de agentes agressivos. O painel *rainscreen* resulta da combinação de painéis laminados por passagem de rolos e painéis laminados por pressão. O sistema consiste em uma chapa plana de alumínio de 4 a 6mm de espessura colocada à frente de um painel sanduíche laminado, de modo a formar uma cavidade (2 a 3cm) permanentemente ventilada entre as duas partes (MARSH, 1977; BROKES, 1998). Os painéis externos funcionam como um escudo que protege os painéis sanduíche da ação do meio externo. Esses, por sua vez, são responsáveis pelo desempenho termo-acústico do conjunto.

(Figuras 9 e 10)

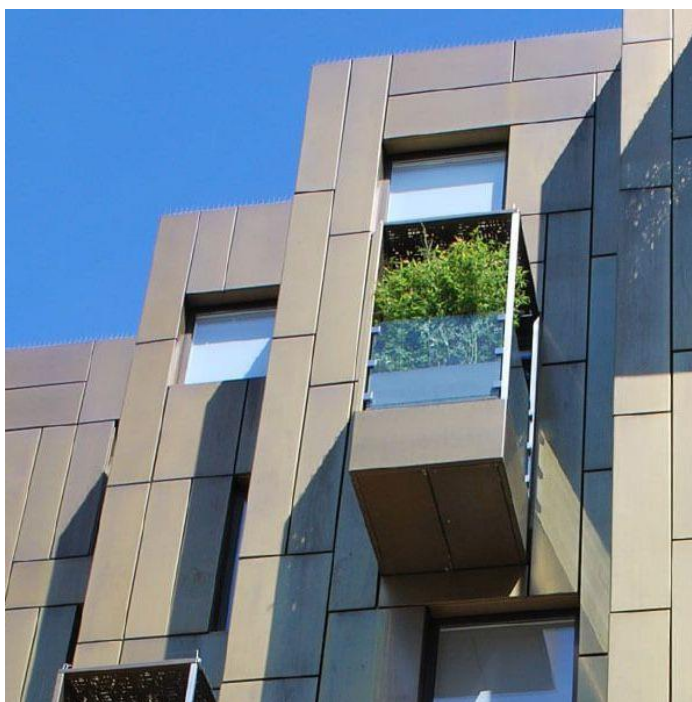


Figura 9 - Fachada ventilada em painel de rainscreen
Fonte: ACF ..., 2019



Figura 10 - O Revestimento Tile Hunter Douglas: rain screen
Fonte: ACF ..., 2019

2.7.4 Telhas de aço como painel de fechamento

Os fechamentos de painéis metálicos vêm substituir os tradicionais fechamentos de alvenaria, que apesar do baixo custo, têm o tempo de produção muito lento, assim como os antigos pilares de madeira deram lugar aos pilares metálicos. Com o abastecimento do mercado interno com bobinas de aço galvanizado, as siderúrgicas utilizaram as chapas corrugadas e criaram as telhas de aço. As

telhas de aço são um avanço para a utilização em painéis de fechamento lateral e em cobertura.

Os painéis de telha metálica com a utilização de telha de aço são uma forte tendência devido a diminuição do peso sem perder a resistência. Segundo as normas NBR 14.513 (ABNT, 2002) e NBR 14.514 (ABNT, 2008), existem dois modelos de telhas metálicas normatizadas no Brasil: (1) Telhas Trapezoidais: Chapas de aço revestidas conformadas a frio de perfil trapezoidal (Figura 11); (2) Telhas metálicas utilizadas como painel de fechamento (Figura 12).



Figura 11 - Telhas metálicas utilizadas como painel de fechamento(1)
Fonte: SILVA, 2016



Figura 12 - Telhas metálicas utilizadas como painel de fechamento(2)
Fonte: SILVA, 2016

Além das telhas de aço, existem também os painéis metálicos compostos por laminas metálicas (Figura 12), com isolamento térmico em configuração sanduíche ou integrada, que também são utilizados como alternativa de fechamento. Geralmente os painéis possuem largura padrão e são

montados por meio de parafusamento. São largamente utilizados no exterior, para o fechamento de edifícios altos e padrões elevados. Os modelos mais utilizados são o painel sanduíche de aço e de alumínio. Usados como fechamento interno e externo, os sistemas têm a dupla função de gerar conforto térmico e atenuar a propagação de sons. Os painéis metálicos termoacústicos (Figura 13), também chamados de painéis compostos, compósitos ou sanduíche, são formados por duas lâminas metálicas vinculadas entre si por meio de um material poroso com propriedades isolantes de espessuras variadas. Os elementos metálicos (Figura 14), informa Mota (2016) são geralmente de aço galvanizado (natural ou pintado); aço galvanizados (natural ou pintado); alumínio natural, stucco ou pintado; e aço inox. Para a composição do núcleo isolante, os materiais mais comuns são o poliestireno expandido (EPS ou isopor), o poliuretano (PUR), o polisocianurato (PIR), a lã de rocha basáltica (LDR) e a lã de vidro:

“Os painéis metálicos com poliuretano injetado possuem acabamento primoroso, com alto índice de isolamento térmica, bom resultado acústico e boa relação custo-benefício. No sistema com EPS, as chapas são coladas no isolante. O EPS possui índice de isolamento térmica menor que o poliuretano, e resultado acústico razoável. Trata-se de um produto mais em conta” (GRAHL JÚNIOR, 2016).

Para uma melhor adaptação às necessidades de cada projeto, pode-se variar a espessura das lâminas externas, o tipo e a densidade de isolamento, bem como a espessura do sistema. Demandas estéticas também podem ser atendidas com a definição do acabamento e da cor. Segundo Mota (2016) os principais fabricantes oferecem painéis com largura padronizada e comprimento de acordo com o projeto arquitetônico e a autoportância (capacidade de carga). Por questões de logística de transporte, os painéis têm comprimento limitado a 12m.

Um dos motivos da rápida instalação dos painéis termoacústicos é que eles são fixados com parafusos autobrocantes, que dispensam pré-furo na estrutura e também no painel. A recomendação dos fabricantes é que a instalação seja realizada por equipe especializada, utilizando equipamentos específicos para cada tipo de obra e condições do local.

Como vantagens esse material proporciona, além do conforto térmico e acústico, ótima vedação e estanqueidade. Augusto (2016) destaca como vantagens a rapidez na montagem do sistema, principalmente quando comparado a fechamentos de concreto, e a leveza do produto, o que significa alívio para a estrutura. Outras características favoráveis são a facilidade na manutenção e a resistência a intempéries. Ainda segundo Augusto (2016) os sistemas oferecem, também a vantagem da escolha do acabamento e da cor, principalmente quando a chapa é pré-pintada. Essa opção proporciona maior proteção ao produto, mesmo em ambientes com atmosfera mais agressiva. Resumindo suas vantagens são:

- Conforto térmico e acústico e ótima vedação;
- Rapidez na montagem, traduzida em menores custos;
- Facilidade na manutenção e durabilidade;
- Possibilidade de escolha de acabamentos e cor.

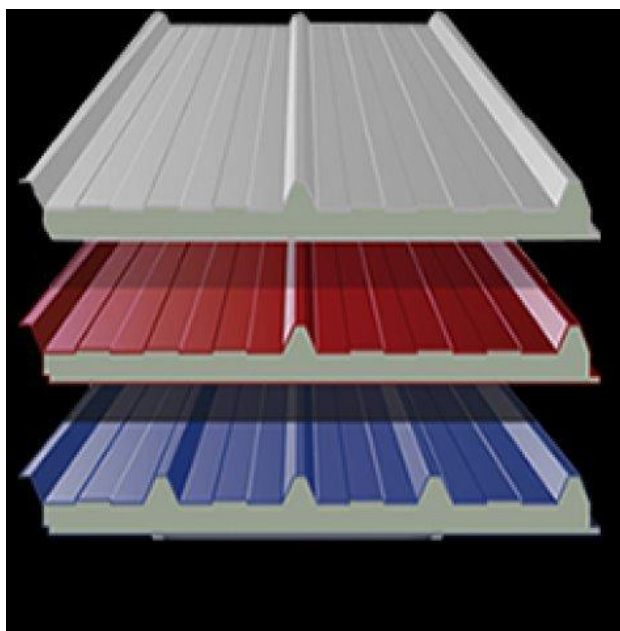


Figura 13 - Painéis metálicos termoacústicos
Fonte: OLX, 2019



Figura 14 - Painéis metálicos de lâminas metálicas
Fonte: SILVA, 2016



Figura 15 - Painéis metálicos termoacústicos
Fonte: SILVA, 2016

Porém, no Brasil, devido à falta de conhecimento sobre o emprego do aço e das estruturas metálicas, os materiais acabam não sendo especificados nos projetos e a utilização ainda é restrita a galpões industriais e comerciais.

O fechamento metálico comparado ao sistema tradicional de fechamento de alvenaria com blocos de concreto, possui muito mais vantagens, apesar do material para a execução de alvenaria não ser caro, há as questões tempo de execução, possíveis acidentes causados por trabalhos em altura, mão de obra de baixa qualidade, custos com locação de andaimes e com revestimentos como chapisco, reboco e emboço. Esse tipo de fechamento encaixa-se no grupo das fachadas leves. É importante se conhecer esses tipos de fechamento para se poder aplicar com novas tecnologias as nossas edificações como mostrado nas figuras 15, 16 e 17.



Figura 16 - Residência em painéis metálicos
Fonte: SILVA, 2016



Figura 17 - Painéis metálicos de lâminas metálicas
Fonte: SILVA, 2016

2.8 - Importância dos sistemas de fechamento na construção industrializada em aço

Diante do avanço da construção civil, apresenta-se a construção em aço com todas as suas interfaces entre seus componentes, como também a sua compatibilização com outros sistemas de construção de uma obra. Os sistemas de fechamento industrializados tornam-se importantes elementos de construção e estão sendo introduzidos no mercado nacional e no cotidiano das obras. As estruturas de aço são formadas por conjuntos de peças para garantir o desempenho proposto

pelo fabricante. A habilidade de entender esse processo de montagem, e ser capaz de aperfeiçoá-lo podem garantir as vantagens apresentadas de forma integral pela construção industrializada, tais como a eficiência de construção, flexibilidade, elevada resistência mecânica, viabilizar um retorno acelerado do capital investido, redução do volume de desperdício, entre outras. A construção industrializada nacional necessita do domínio da técnica de construção apropriada para o seu uso. Por exemplo, os novos sistemas de fechamentos disponíveis enfrentam problemas referentes à carência de desenvolvimento tecnológico, do conhecimento de suas características e de mão de obra especializada, o que ocasiona na resistência quanto à sua utilização entre os profissionais da construção e no mercado consumidor (BASTOS; SOUZA, 2007).

Na utilização do aço como sistema estrutural de uma obra recomenda-se que também sejam utilizados componentes padronizados e modulados para uma industrialização completa da construção, o que inclui os painéis e elementos de fechamento industrializados tornando a obra mais limpa e rápida de ser feita. Esses componentes de construção deveriam estar devidamente associados ao processo de produção da edificação industrializada, porém os sistemas de fechamento tradicionais em alvenaria ainda são aplicados. Tal procedimento leva a uma semi-industrialização da construção, utilizando o sistema de forma desfavorável, pois os sistemas industrializados e o convencional demandam velocidades de execução diferentes e a compatibilização das interfaces de construção, de solução não tão simples, pode comprometer a qualidade final e o desempenho da edificação (RIBAS, 2006; BASTOS; SOUZA, 2007).

As técnicas de construção estruturadas em aço utilizadas nas edificações residenciais, podem ser definidas em dois tipos de sistemas: o convencional e o pré-fabricado. O primeiro é composto basicamente por pilares e vigas em aço estruturais. Esse sistema permite a criação de grandes vãos com estruturas de dimensões pequenas, que são compostas de perfis em aço. Para os fechamentos e a cobertura podem ser utilizados diversos materiais, sendo necessário que sejam compatíveis com o processo de construção e com a estrutura em aço (CASTRO, 2005).

Os perfis podem ter seções com formatos variados e podem ser produzidos de quatro maneiras: laminados, quando são obtidos diretamente por laminação a quente; formados a frio, quando resultam da conformação a frio de chapas ou tiras de bobinas com pequenas espessuras; soldados, quando são obtidos por meio de corte, composição e soldagem de chapas planas laminadas; e tubulares, podendo ser produzidos por meio de calandragem de chapas planas com soldagem ou por extrusão (GUARNIER, 2009).

A outra técnica de construção em aço é o sistema de pré-fabricação. Esse tipo de construção se caracteriza pelo fornecimento de componentes pela indústria que são utilizados em um projeto e

montado diretamente na obra. Existem vários tipos de sistemas pré-fabricados, como é o caso do LSF citado anteriormente, utilizando contêiner, que são aproveitados e adaptados ao uso como estruturas de residências; das paredes de aço autoportantes, que consiste na disposição de painéis em chapas de aço galvanizadas formadas a frio e revestidas com gesso acartonado, placas cimentícias ou placas OSB (da expressão inglesa *Oriented Strand Board*, em português Painel de Tiras de Madeira Orientadas); e dos *kit's* metálicos, que são desenvolvidos pela indústria e visam o mercado de residências unifamiliares de baixa renda. Nesse último caso, a empresa fornece todos os componentes estruturais da edificação e um manual para a montagem pelo próprio comprador ou por um sistema de mutirão (CASTRO, 2005).

As duas técnicas em aço citadas, ou seja, sistema convencional e pré-fabricado, podem ser consideradas construções industrializadas, pois os elementos estruturais são fabricados na indústria e chegam à obra prontos para a montagem. Com isso o tempo de execução da obra se torna mais reduzido do que em um sistema convencional de alvenaria e concreto armado (OLIVEIRA, 2013).

Em todos os tipos de construção a definição e especificação do material de fechamento e envoltória, são fatores importantes para se alcançar o desempenho térmico.

2.9 Conforto térmico

Segundo Ferreira (2016) a definição do conforto térmico possui profundas implicações na maneira como se projeta e se opera uma edificação, assim como a quantidade de energia requerida para o seu condicionamento e o impacto resultante na qualidade do ambiente construído. Surgem assim dois grandes objetivos relacionados ao desempenho das edificações: assegurar o conforto térmico, por um lado, e limitar o consumo de energia, por outro.

Essa sensação de estar em conforto térmico está associada à sensação térmica na qual o ser humano se sente confortável e se deve ao metabolismo e do ritmo de trocas de calor entre o corpo humano e o meio ambiente. O homem por ser homeotérmico, necessita que sua temperatura interna deve se mantenha praticamente estável em torno de 37°C, independente das condições climáticas externas a ele, com uma tolerância mínima de variação sem que ocorram danos ao organismo.

O corpo humano produz energia por meio do processo de metabolismo, que converte os alimentos consumidos em forma útil de energia. Do total de energia produzida pelo metabolismo, em função da atividade desempenhada, apenas uma parte dessa energia é utilizada em trabalhos externos ao corpo, havendo a necessidade de dissipar o excedente na forma de calor. Tal energia é dissipada para o ambiente por meio de trocas térmicas entre o corpo humano e o seu entorno (RIVERO,

1985; FROTA; SCHIFFER, 2001). O que significa que o homem se sentirá em conforto quando as condições nas quais o balanço de todas as trocas de calor a que está submetido o corpo humano estiverem em equilíbrio e, somado a temperatura da pele e o nível de suor estiverem dentro de certos limites. A definição da norma ASHRAE 55 (ASHRAE, 2017, p. 3), o conforto térmico pode ser definido como “...um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa”. O nível de satisfação do usuário com o ambiente térmico depende também do tipo de atividade realizada no ambiente, tipo de vestimentas, número de ocupantes, sexo, idade e condições fisiológicas e psicológicas destes ocupantes.

Em 2004, essa norma adotou uma nova abordagem de análise chamada de modelo adaptativo, que é uma metodologia opcional ao modelo analítico, proposta para avaliação do desempenho térmico em edifícios naturalmente ventilados. Pois o desempenho térmico de uma edificação depende de muitas características da própria edificação tais como os materiais constituintes, número de pavimentos, orientação das fachadas, depende do local da obra (clima, topografia, etc.). Conclui-se que quando se trata de conforto térmico, a referência é uma condição média que atenda a maior parte dos usuários expostos à determinada condição.

2.10 Desempenho térmico

A partir da crise do petróleo na década de 1970 e principalmente da crise energética ocorrida no Brasil em 2001, identificou-se que a economia obtida por meio do racionamento de energia nos edifícios é aquela que apresenta a melhor relação de custo/benefício. Se, na etapa de concepção arquitetônica os princípios bioclimáticos forem incorporados, será permitido implantar sistemas passivos de condicionamento térmico, minimizando os efeitos climáticos indesejáveis.

A adoção dos conceitos de melhoria do desempenho energético no projeto de edifícios é capaz de se reverter em benefícios econômicos. Segundo os dados do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL (2006), a energia consumida nas edificações pode ser economizada em 30% podendo chegar a 50%, se as medidas de racionalização do uso da energia forem adotadas em fase de projeto (GOMES, 2007).

O grau de bioclimatismo que uma edificação alcança depende da filosofia arquitetônica utilizada, bem como de aspectos físicos, sociais, econômicos e culturais envolvidos em cada projeto (CAVALCANTI, 2013). A inadequação do edifício ao clima local pode proporcionar sensações de desconforto térmico em seus usuários, ocasionando a diminuição do rendimento das atividades executadas em seu interior, além do desperdício de energia (GIVONI, 1992).

É de vital importância para os indivíduos contar com qualidades ambientais nos espaços ocupados, de modo a permitir que sejam realizadas todas as atividades de forma saudável e confortável. Para isso, esses espaços precisam ser projetados em função do meio ambiente, garantindo condições de conforto que satisfaçam às necessidades psicofisiológicas dos usuários (FREIXANET, 2004).

Segundo Akutsu (1998), ao avaliar o desempenho térmico de edificações em condições de inverno, os métodos de cálculo podem ser simplificados, pois as trocas térmicas que ocorrem pela envoltória do edifício em regime permanente apresentam bons resultados. Em contraponto, esses métodos não são tão efetivos para condições de verão, devido às características dinâmicas de exposição ao clima, no caso do Brasil. O desempenho térmico de edificações não depende somente das características de clima, como também das dimensões dos ambientes, orientação das fachadas e das propriedades termofísicas dos materiais da envoltória.

Os fechamentos externos/envoltória possuem desempenhos térmicos diferentes em função da radiação solar incidente, pois parte do calor é absorvido pelo elemento de construção e parte é refletida. Essas propriedades são a absorptância, refletância, transmitância e emissividade e o desempenho da envoltória depende de valores da absorptância à radiação solar (α), refletância à radiação solar (ρ) e da transmitância à radiação solar (τ) do material. Um material de cor escura possui alta absorptância e baixa refletância, ou seja, absorve mais e reflete menos radiação solar em relação a um material de cor clara. (KUBO, 2017)

Como foi dito o clima influencia diretamente no desempenho térmico e as trocas de calor e de massa entre o meio externo e interno são reguladas pela envoltória. Além da composição das superfícies da edificação, a sua orientação solar também influencia em seu desempenho térmico, uma vez que a orientação regula a influência de dois fatores climáticos: a radiação solar incidente na envoltória e seus efeitos no aquecimento desta e dos ambientes internos da edificação, e a ventilação, associada à direção dos ventos dominantes e à orientação da edificação (GIVONI, 1976).

A ventilação natural em uma edificação pode ocorrer por dois processos distintos: por diferença de pressão, a ventilação cruzada, ou por diferença de temperatura, denominada de efeito chaminé. A ventilação em uma edificação pode ter três funções básicas: a de promover o conforto do usuário, facilitando a troca térmica entre este e o ambiente por meio da convecção de calor; manter a qualidade do ar; e o resfriamento das superfícies interiores por convecção de calor e de massa (MASCARÓ, 1991).

Segundo Ferreira (2016), os trabalhos referentes ao desempenho térmico de edificações residenciais desenvolvidos no Brasil, encontram certas limitações. Uma delas está associada à

sensação térmica do usuário para o caso brasileiro. A solução usualmente adotada tem sido a aplicação de normas internacionais, desenvolvidas para contextos climáticos bastante diferenciados do existente no Brasil, sendo, conseqüentemente, sua aplicabilidade ainda discutível, e que ainda requer estudos que confirmem sua aplicabilidade para o caso brasileiro (BARBOSA, 1997). E além disso são poucos os estudos realizados acerca dos parâmetros que influenciam o desempenho térmico de edificações no Brasil e os poucos existentes não contemplam boa parte do território brasileiro.

Os métodos atuais de avaliação de desempenho térmico de edificações com caráter prescritivo tendem a se basear quase que estritamente em parâmetros como a resistência térmica ou a transmitância térmica, isso também deve ser questionável pois esses parâmetros são válidos quando a avaliação se destina à edificações inseridas em climas frios ou temperados, com necessidade de aquecimento dos ambientes com objetivo principal de redução do consumo de energia, por meio da diminuição das perdas de calor para o ambiente externo, havendo a necessidade de limitação dos valores da resistência térmica e da estanqueidade ao ar dos caixilhos (AKUTSU, 1998).

O Brasil difere desses casos acima, pois para as condições climáticas brasileiras o mais crítico é alcançar o conforto térmico durante o verão, necessitando em alguns casos o uso de sistemas de condicionamento de ar para o resfriamento dos ambientes. Segundo Akutsu e Vittorino (1997), para tais condições os métodos tradicionais apresentam-se inadequados.

No caso de climas majoritariamente quentes como em boa parte do território brasileiro, em que boa parte das trocas de calor nas edificações ocorre por radiação, parâmetros como a ventilação e a radiação solar possuem relevância significativa para o conforto térmico. (FERREIRA, 2016)

Ao se basear apenas na resistência térmica dos fechamentos nos métodos de avaliação, a contribuição da ventilação e da radiação solar é desconsiderada, principalmente no desempenho térmico das edificações não condicionadas artificialmente. Neste tipo de edificação o foco não é mais o consumo de energia, mas sim o conforto térmico de seus ocupantes, dependente de variáveis como a temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do ar e a temperatura radiante média do ambiente (AKUTSU; VITTORINO, 1997).

A resistência térmica e a transmitância térmica, baseados na transferência de calor em estado estacionário, mostraram-se uma aproximação aceitável para o caso das edificações condicionadas artificialmente em climas com pequenos ganhos solares e com baixa amplitude térmica exterior em comparação com a diferença de temperatura média entre o exterior e o interior. Estes parâmetros não são apropriados para avaliar o desempenho térmico da envoltória de edificações

condicionadas naturalmente em climas com grande amplitude térmica. Outros parâmetros têm se mostrado mais apropriados, como, por exemplo, a capacidade térmica (BARRIOS; HUELSZ; RECHTMAN, 2011).

Akutsu (1998) propõe como método de avaliação de desempenho a simulação computacional, com a caracterização das condições de exposição ao clima por dias típicos de projeto, para a obtenção das temperaturas internas do ar, método também proposto pela norma NBR15.575 (ABNT, 2013). No estudo, a autora analisa a resposta térmica de uma edificação térrea unifamiliar, considerando as condições dinâmicas de exposição ao clima da cidade de São Paulo, zona bioclimática 3 segundo a parte 3 da norma NBR 15.220 (ABNT, 2005), e as correlaciona com os parâmetros que caracterizam as respostas térmicas da edificação. As temperaturas internas são comparadas com os limites de conforto estabelecidos pela norma ISO 7.730 (ISO, 2006), tendo a edificação que apresentar no mínimo 80% das horas anuais dentro da região de conforto. Nesse estudo os parâmetros considerados são a resistência térmica das paredes externas, a capacidade térmica destas, o valor médio da resistência térmica das paredes externas e das internas e o valor médio da capacidade térmica das paredes externas e internas. São avaliadas 30 tipos de paredes com diferentes propriedades referentes à resistência e à capacidade térmica, sendo fixados: os valores da absorvância ($\alpha=0,5$), dispositivos de sombreamento nas aberturas e as trocas de ar por hora em 1ren/h. Os resultados obtidos apontam não haver diferença significativa observada entre os dados considerando apenas as paredes externas e aqueles considerando as paredes externas e internas. Dessa forma a autora considera apenas os resultados para as paredes externas como forma de simplificação do trabalho, mostrando correlação entre os valores de resistência térmica das paredes e os valores máximos da carga térmica de aquecimento, o que corrobora com a utilização da resistência térmica como um elemento regulador e indicador de desempenho térmico de edificações em climas frios, onde há a necessidade de aquecimento. Porém, para o caso da edificação condicionada naturalmente, a maior correlação observada é para a capacidade térmica. Akutsu (1998) conclui que, para as condições climáticas de verão, é possível utilizar a capacidade térmica em substituição à resistência térmica como um indicador de desempenho térmico de edificações condicionadas naturalmente.

Mais um exemplo pesquisado no Brasil com relação à influência da envoltória no desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ocupadas e ventiladas naturalmente em Florianópolis foi pesquisada por Pereira e Ghisi (2009). Seus resultados permitiram concluir que a envoltória influencia sobre o desempenho térmico de edificações residenciais com tais características. Concluiu-se nesse estudo que propriedade que apresentou maior correlação com o

desempenho térmico foi a capacidade térmica e a pior correlação ocorreu para a transmitância térmica. Pode-se verificar que, para as condições do estudo, o mais indicado é adoção de fechamentos com maiores valores de capacidade e atraso térmicos.

Grigoletti e Sattler (2010), também no âmbito da avaliação de desempenho térmico de habitações de interesse social unifamiliares, desenvolveram uma análise para o clima de Porto Alegre (RS), zona bioclimática 3, e concluíram que a cobertura possui papel fundamental no desempenho térmico de edificações térreas. As principais estratégias para esse clima foram a captação da radiação solar durante os períodos frios e da inércia térmica da edificação. Para este tipo de edificação, a orientação mostrou-se pouco significativa.

Em relação ao desempenho térmico de edificações no Brasil a norma NBR 15.575 (ABNT, 2013) estabelece que a edificação deva possuir características que atendam as exigências de desempenho térmico, levando em consideração a região onde ela se encontra e suas características bioclimáticas que são definidas na norma NBR 15.220 (ABNT, 2005), que sugere diretrizes de construção para habitações unifamiliares de interesse social dotando uma carta bioclimática adaptada a partir da carta sugerida por Givoni (1992).

2.10.1 Normas específicas

Conforme já relatado, o conforto térmico do ocupante da edificação, bem como o consumo de energia para condicionamento dos ambientes estão diretamente relacionados com a temperatura do ambiente interno da edificação para as localidades dos climas temperados e frios. Já para os climas tropicais, que é o caso do Brasil, nem sempre a temperatura será a principal variável para ditar o conforto térmico. Uma forma de definir qual a condição de conforto a ser promovida na edificação é a partir das diretrizes estabelecidas pelas normas de desempenho térmico. O estabelecimento destas normas tem como principal objetivo a restrição de práticas inadequadas de projeto resultando em construções de edificações de baixo desempenho térmico e energético e ainda sugerir estratégias e medidas para se atingir conforto, a partir de um bom desempenho e eficiência energética.

As primeiras normas relativas ao desempenho de edificações foram elaboradas pela International Standardization Organization (ISO). A primeira norma sobre desempenho, a norma ISO 6.240 (ISO, 1980) – Performance standards in building – Contents and presentation, especifica conteúdos básicos a serem incluídos em padrões de desempenho para componentes da construção e para preparação de outros tipos de documentos. Depois, publicou-se a norma ISO 6.241 (ISO, 1984) – Performance standards in building – Principles for preparation and factors to be considered, como

um complemento à norma anterior. As categorias são: estabilidade, segurança contra incêndio, segurança em uso, estanqueidade à água e ao ar, higrotermia, pureza do ar, acústico, visual, tátil, antropodinâmico, higiene, adequação de espaços para usos específicos, durabilidade e economia (custo). (KUBO, 2017)

As normas internacionais de conforto térmico, aceitas e utilizadas na atualidade são a norma ISO 7.730 (ISO, 2006) e a norma norte americana ASHRAE 55 (ASHRAE, 2017), sendo estas normas aplicadas na maioria das edificações residenciais e comerciais. A norma ISO 7.730 (ISO, 2006) – Ergonomics of the Thermal Environment: analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD índices and local thermal comfort criteria apresenta métodos para prever a sensação térmica corrente e o grau de desconforto das pessoas expostas a ambientes térmicos moderados.

As normas internacionais são bases de referência quando o assunto é desempenho de edificações. Os principais normativos brasileiros relativos ao desempenho térmico, se baseiam no conteúdo e princípios nas normas ISO e são apresentados a seguir. A primeira norma brasileira relativa ao desempenho térmico surgiu em 2005 com a publicação da norma 15.220 (ABNT, 2005) – Desempenho térmico de edificações. A norma está dividida em cinco partes, sendo que a primeira parte apresenta as definições dos conceitos relacionados ao desempenho térmico, na segunda parte são apresentados os métodos de cálculo das grandezas envolvidas. A terceira parte define o zoneamento bioclimático brasileiro, composto por oito zonas bioclimáticas e suas diretrizes de construção. As recomendações de projeto apresentadas na norma NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c) são referentes ao desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social. Esses parâmetros são descritos na norma como sendo:

- tamanho das aberturas para ventilação;
- proteção das aberturas;
- fechamentos externos (tipo de parede externa e tipo de cobertura), com base na transmitância térmica, no atraso térmico e no fator solar.

A partir de tais parâmetros são propostas as diretrizes de construção para as oito zonas bioclimáticas. A segunda norma NBR 15.575 (ABNT, 2013a) – Edificações habitacionais - Desempenho, foi uma grande inovação para o desempenho de edificações no Brasil. Segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2013), a norma segue uma sequência de requisitos dos usuários da edificação baseados nas quatorze categorias da norma ISO 6.241 (ISO, 1984). Ela apresenta conceitos de vida útil, prazo de garantia, manutenibilidade, incumbência de

cada agente envolvido, durabilidade e estabelecidos níveis de desempenho: mínimo (M), intermediário (I) e superior (S), sendo o atendimento ao desempenho mínimo obrigatório e os demais níveis facultativos. A norma está dividida em seis partes: A primeira parte, de requisitos gerais, apresenta os objetivos, premissas e conceitos referentes às outras partes específicas e são definidos índices de referência para parâmetros de desempenho. As demais partes estão divididas em assuntos específicos de sistemas de estrutura, pisos, fechamentos e esquadrias, cobertura e sistemas hidrossanitários (ABNT, 2013b).

Esta norma propõe dois procedimentos para avaliação do desempenho térmico da edificação: simplificado (normativo) e medição *in-loco* (informativo). O procedimento simplificado, atende aos requisitos e critérios dos materiais de paredes de fachada e das coberturas (as envoltórias), por meio de seus índices de transmitância térmica (W/m^2K) e capacidade térmica (J/m^2K) apresentados na Parte 4: Requisitos para os sistemas de fechamentos verticais internas e externas e Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas da norma de desempenho (ABNT, 2013c; 2013d). No caso de resultados insatisfatórios, não atingindo o nível de desempenho mínimo, deve-se proceder com a avaliação de desempenho térmico por meio de um programa de simulação computacional, conforme critérios e métodos detalhados na primeira parte da norma de desempenho.

2.10.2 Estratégias bioclimáticas passivas

Para melhorar o desempenho térmico das edificações, as estratégias passivas devem estar adequadas ao clima em que as edificações estão inseridas, de forma a obter o melhor proveito das características climáticas favoráveis, da mesma forma que evita as indesejáveis. Há uma estreita relação entre o clima e o desempenho térmico de edifícios, o que justifica a relevância em compreender os conceitos e parâmetros climáticos, para se obter eficiência energética e bom desempenho das edificações. O clima de uma dada região pode ser entendido como um padrão de variações de vários elementos climáticos e suas combinações, características daquela localidade. Assim, o clima de um dado local é definido por uma série de fatores climáticos. Estes fatores são subdivididos em fatores astronômicos (distância do Sol, sua radiação e os movimentos da Terra), fatores geográficos ou estáticos (latitude, altitude, inclinação do terreno, revestimento do solo e posição dos continentes e mares) e fatores meteorológicos ou dinâmicos (circulação do ar atmosférico seja na forma de ventos, frentes frias, massas de ar entre outros). (BERNARDES, 1951)

A norma NBR 15.220 (ABNT, 2005) apresenta recomendações e indica estratégias de construção direcionando a adequação das estratégias passivas e viabilizando o projeto. Torna-se

responsabilidade dos arquitetos e profissionais da construção civil a adoção de sistemas passivos e estratégias benignas, que proporcionem maior conforto ambiental com maior economia. É uma questão de ética considerar o que a natureza oferece de forma gratuita. Ao invés de usar mais energia contra a energia que é oferecida, basta aproveitá-la (CORREA, 2001).

Diversos estudos vêm sendo desenvolvidos no intuito de investigar o potencial de utilização de componentes arquitetônicos como estratégias passivas para promoção de conforto aos usuários em edificações. Segundo Gomes (2007), dentre as estratégias que contribuem com o condicionamento térmico natural das edificações têm-se, a ventilação no verão, as proteções solares, o aquecimento solar e massa térmica no inverno, o uso de vegetação.

Seguem alguns elementos de construção que aproveitam os recursos naturais e conseqüentemente promovem maior eficiência energética nos edifícios para os climas brasileiros. Uma tipologia arquitetônica que promove ventilação natural no interior das edificações são os elementos vazados, ou cobogós (Figura 18 (a)), porém, de acordo com sua geometria, o ar pode ser direcionado de forma indesejada no ambiente. As pérgulas (Figura 18 (b)) proporcionam boa ventilação e iluminação naturais. As torres de vento (Figura 18 (c)) consistem em dispositivos situados acima do nível da cobertura das edificações, podendo atuar ora como captador de vento ora como extrator do fluxo de ar, variando conforme a sua configuração e a orientação de suas aberturas em relação à direção dos ventos incidentes (CHANDRA, 1989). O peitoril ventilado (Figura 18 (d)), criado pelos arquitetos Glauco Campelo e Delfim Amorim, e descrito por Holanda (1976) compreende em um dispositivo geralmente executado em concreto, sobreposto a uma abertura localizada no peitoril abaixo das janelas, que tem por finalidade atuar como fonte complementar do movimento de ar proporcionado pelas aberturas. Tal dispositivo pode ser de uso interessante para ambientes de trabalho, pois direciona o fluxo de ar para a altura das pessoas sentadas. O uso de chaminés solares (Figura 18 (e)) no incremento da ventilação natural para espaços internos em oito cidades brasileiras, localizadas em zonas bioclimáticas diferentes e para todos os casos, esse dispositivo tem apresentado resultados satisfatórios. As coberturas verdes são utilizadas há séculos como solução para regulação térmica das edificações, retardando a transferência de calor para o ambiente interno e, no inverno, retardando as perdas de calor dos ambientes internos para o exterior da edificação (MORAIS, 2004). A vegetação como estratégia bioclimática (Figura 18 (f)) é bastante conhecida de profissionais, tanto do meio acadêmico quanto da construção. Como elemento de fachada, a vegetação pode minimizar o ganho de calor, proporcionando uma melhor condição no conforto térmico das edificações. A eficiência do *shed* para ventilação e iluminação zenital veio a ser conseguida com maestria a partir da proposta para

o Hospital do Aparelho Locomotor Sarah Kubitshek em Salvador (Figura 18 (g)). Os pilotis (Figura 18 (h)) são elementos que apresentam algumas vantagens para o clima quente e úmido. Esse tipo de construção também reduz o nível de infiltração da umidade nas edificações, oferecendo uma área sombreada e protegida das chuvas com ótima circulação do ar, além de promover a circulação do ar no tecido urbano por baixo dos edifícios.

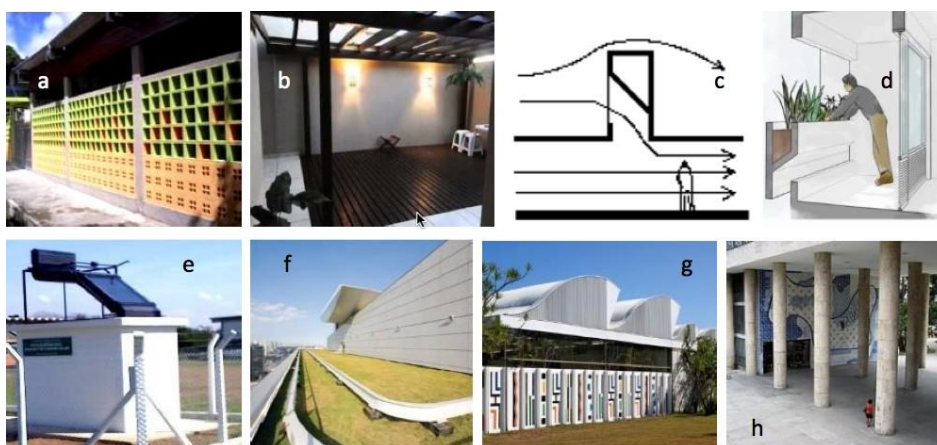


Figura 18 - Estratégias bioclimáticas passivas
Fonte: CAVALCANTI, 2013

3 METODOLOGIA

Na figura 19 é apresentado um fluxograma que resume a metodologia adotada para a aplicação da pesquisa. A análise é realizada a partir dos resultados da avaliação do desempenho térmico de um modelo arquitetônico (Figuras 20 e 21) utilizando-se fechamentos externos metálicos: os painéis ACM e as telhas sanduíches. Faz-se um estudo comparativo das temperaturas internas do ambiente com relação ao cumprimento das exigências de desempenho térmico segundo a norma NBR 15.575 (ABNT, 2013a) e ao cumprimento das exigências de conforto interno segunda a abordagem de conforto adaptativo.

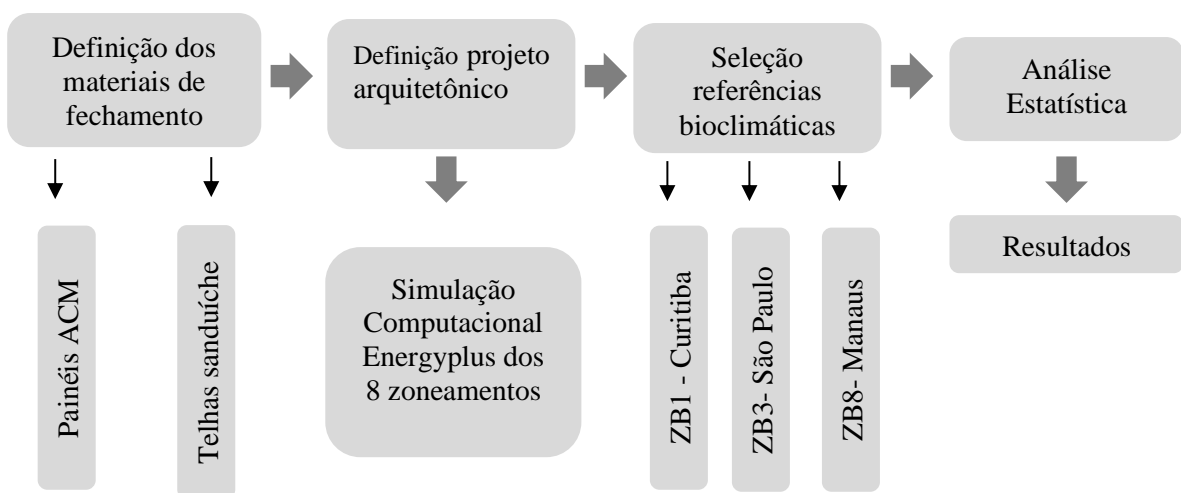


Figura 19 - Fluxograma resumo da metodologia aplicada

A partir deste estudo comparativo das temperaturas internas avalia-se estatisticamente a influência da absorvância, da taxa de ventilação natural e das propriedades termofísicas do fechamento externo utilizado. Nessa pesquisa é utilizada a abordagem de regressão linear simples para modelar a ação destes fatores em níveis que permitem uma mensuração contínua em seu intervalo de medida. É modelado apenas quando a absorvância for significativa e quando a interação entre todos os fatores (absorvância, taxa de ventilação e propriedades termofísicas) também for significativa, via análise de variância, sendo assim, pode-se prever o valor esperado da variável resposta, a partir de um valor observado da variável explicativa.

Em relação ao desempenho térmico de edificações no Brasil a norma NBR 15.575 (ABNT, 2013a) estabelece que a edificação deva possuir características que atendam às exigências de desempenho térmico, levando em consideração a região onde ela se encontra e suas características bioclimáticas que são definidas na norma NBR 15.220 (ABNT, 2005a), que sugere diretrizes de construção para habitações unifamiliares de interesse social (Tabelas 1 a

6), adotando uma carta bioclimática adaptada a partir da carta sugerida por Givoni (1992). Além disso, segundo esta norma deve-se considerar que o desempenho térmico da edificação depende do comportamento iterativo entre fachada, cobertura e piso. A avaliação deve ser feita para um dia típico de projeto, de verão e de inverno. Caracterizando, um dia típico de verão é definido como um dia real caracterizado pelas seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar incidente em superfície horizontal para o dia mais quente do ano segundo a média do período dos últimos 10 anos. E um dia típico de inverno é definido como um dia real caracterizado pelas seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar incidente em superfície horizontal para o dia mais frio do ano segundo a média do período dos últimos 10 anos (ABNT, 2005a).

Para o critério mínimo de avaliação de desempenho térmico, via simulação computacional, os seguintes critérios devem ser atendidos: (a) exigências de desempenho no verão; (b) exigências de desempenho no inverno. Em relação ao verão o valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como, por exemplo, salas e dormitórios, sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas, outros equipamentos em geral), deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior. No caso do inverno os valores mínimos diários da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada devem ser sempre maiores ou iguais à temperatura mínima externa acrescida de 3^oC (Tabelas 5 e 6).

Tabela 1 - Transmitância térmica de paredes externas

Transmitância Térmica (U) W/m ² .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,5	α ^a ≤ 0,6	α ^a > 0,6
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5
α ^a é a absorptância à radiação solar da superfície da parede.		

Fonte: NBR 15.575 (ABNT, 2013a)

Tabela 2 - Capacidade térmica de paredes externas

Capacidade térmica (CT) kJ/m ² .K	
Zona 8	Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem exigência	≥ 130

Fonte: NBR 15.575 (ABNT, 2013a)

Tabela 3- Áreas mínimas de aberturas para ventilação

Nível de desempenho	Aberturas para ventilação (A) % da área do piso ^a		
	Zonas 1 a 6 Aberturas médias	Zona 7 Aberturas pequenas	Zona 8 Aberturas grandes
Mínimo	$A \geq 8$	$A \geq 5$	$A \geq 15$

^a Nas zonas 1 a 6 as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio.

Fonte: NBR 15.575 (ABNT, 2013a)

Tabela 4 - Critérios de coberturas quanto à transmitância térmica

Transmitância térmica (U) W/m ² .K				
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8 ^{a)}	
$U \leq 2,3$	$\alpha^{b)} \leq 0,6$	$\alpha^{b)} > 0,6$	$\alpha^{b)} \leq 0,4$	$\alpha^{b)} > 0,4$
	$U \leq 2,30$	$U \leq 1,5$	$U \leq 2,3$ FV	$U \leq 1,5$ FV

^{a)} Na zona bioclimática 8 também estão atendidas coberturas com componentes de telhas cerâmicas, mesmo que a cobertura não tenha forro.

^{b)} α é a absorvância à radiação da superfície da cobertura.

NOTA: O fator de ventilação (FV) é estabelecido na ABNT NBR 15220-2

Fonte: NBR 15.575 (ABNT, 2013a)

Tabela 5 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de 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	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} - 2^{\circ}\text{C})$	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} - 1^{\circ}\text{C})$
S	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} - 4^{\circ}\text{C})$	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} - 2^{\circ}\text{C})$ e $T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} + 1^{\circ}\text{C})$

$T_{i,máx}$ 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 no exterior da edificação, em graus Celsius;
 $T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;
 $T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no exterior da edificação, em graus Celsius.
 NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3: 2005.

Fonte: NBR 15.575 (ABNT, 2013a)

Tabela 6 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno

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

$T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;
 $T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no exterior da edificação, em graus Celsius.
 NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3: 2005.

Fonte: NBR 15.575 (ABNT, 2013a)

É utilizado o programa de simulação computacional *EnergyPlus* para a determinação do desempenho térmico do modelo arquitetônico proposto, que considera a resposta global da edificação, observando-se as etapas relevantes no processo de avaliação do desempenho térmico de uma edificação que englobam principalmente a caracterização da edificação,

caracterização e configuração do sistema de fechamento vertical e horizontal, caracterização do perfil de ocupação, caracterização das condições típicas de exposição ao clima, e também a caracterização das exigências humanas de conforto térmico.

Neste trabalho apresenta-se um estudo dos impactos das decisões do projetista no desempenho térmico de habitação naturalmente ventilada evidenciando-se a influência de diferentes opções de projeto no conforto térmico do usuário, utilizando-se o programa computacional *EnergyPlus*, para avaliar o desempenho térmico da edificação.

O procedimento de avaliação de desempenho térmico de uma edificação naturalmente ventilada fornece a resposta global do projeto arquitetônico proposto em relação às interações térmicas e de massa entre ambiente interno e ambiente externo (AKUTSU, 1998), contemplando as seguintes etapas:

- i) caracterização da edificação e seu perfil de ocupação;
- ii) caracterização e configuração dos fechamentos e estratégias bioclimáticas incorporadas no desenho;
- iii) caracterização das condições climáticas;
- iv) caracterização das exigências humanas de conforto térmico;
- v) simulação computacional das interações térmicas e de massa entre o ambiente externo e interno.
- vi) avaliação da distribuição interna da temperatura e umidade.

3.1 Caracterização da edificação e seu perfil de ocupação

O modelo pesquisado é uma residência de alto padrão, com dois pavimentos, com aproximadamente 162m² por pavimento, com envoltória em dois tipos de materiais metálicos diferentes a serem comparados seus desempenhos térmicos com os requisitos da norma NBR 15.575 (ABNT, 2013a). A edificação é composta pelos seguintes ambientes, sala de estar/jantar integradas com cozinha, no pavimento térreo, segundo pavimento com três quartos sendo um deles suíte com closet, e duas varandas uma frontal e outra fundos. Os ambientes utilizados para comparação de desempenho térmico no estudo são aqueles de permanência prolongada (dormitório e sala), sendo o quarto localizado no segundo pavimento e a sala no primeiro pavimento (Figuras 22 e 23).

Nas Figuras 20 e 21, o projeto se apresenta para o sistema de construção convencional de alvenaria. É feita adaptação para o sistema de construção LSF e fechamentos metálicos. Nas

demais figuras apresentam-se os desenhos complementares que compõem o projeto arquitetônico, sendo eles: planta baixa dos dois pavimentos, térreo e primeiro pavimento, corte transversal e fachada (Figuras 22 a 25). Sabe-se que os fechamentos internos e o mobiliário também influenciam na inércia térmica global da edificação, ou seja, a capacidade térmica de todos os elementos internos deve ser considerada. As paredes internas também podem amortecer as variações da temperatura exterior. Mas como se trata de um estudo comparativo, esses elementos não são alterados.



Figura 20 - Modelo estudado
Fonte – Próprio autor



Figura 21 - Modelo estudado
Fonte – Próprio autor

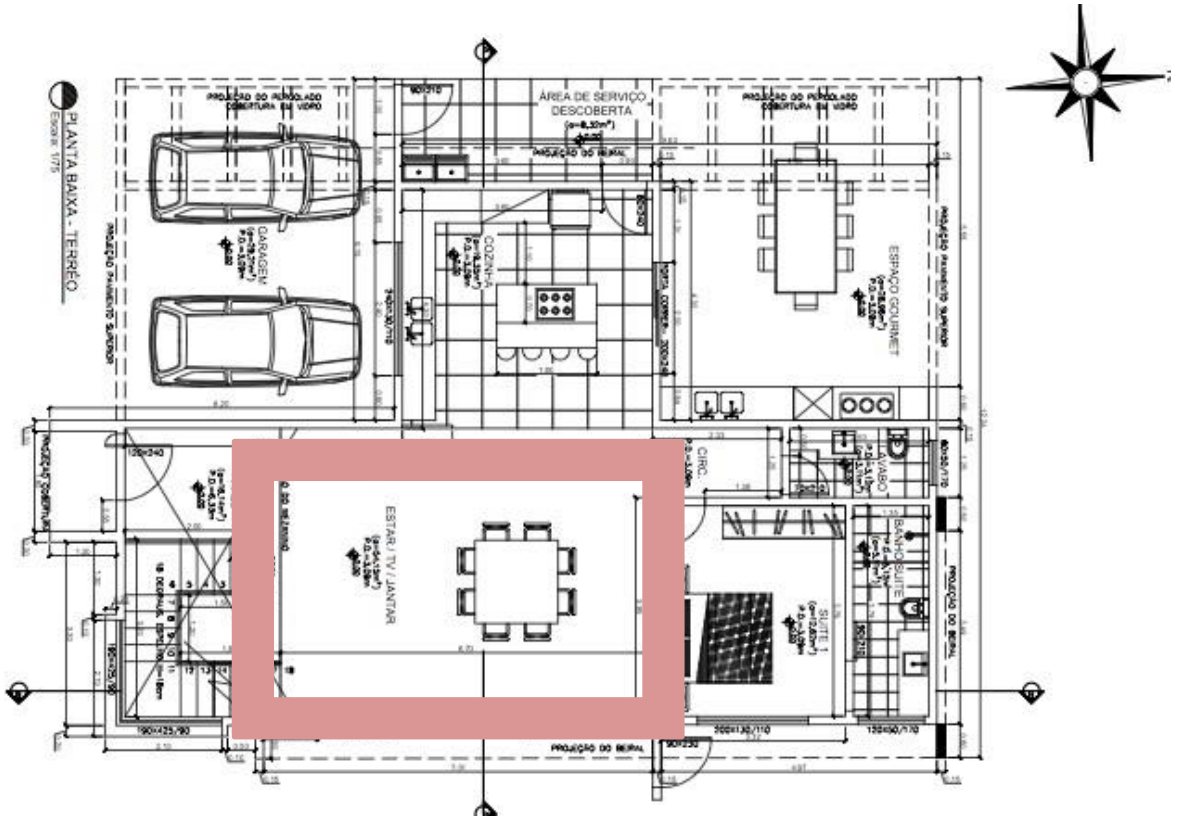


Figura 22 - Planta baixa térreo do Modelo estudado
Fonte – Próprio autor

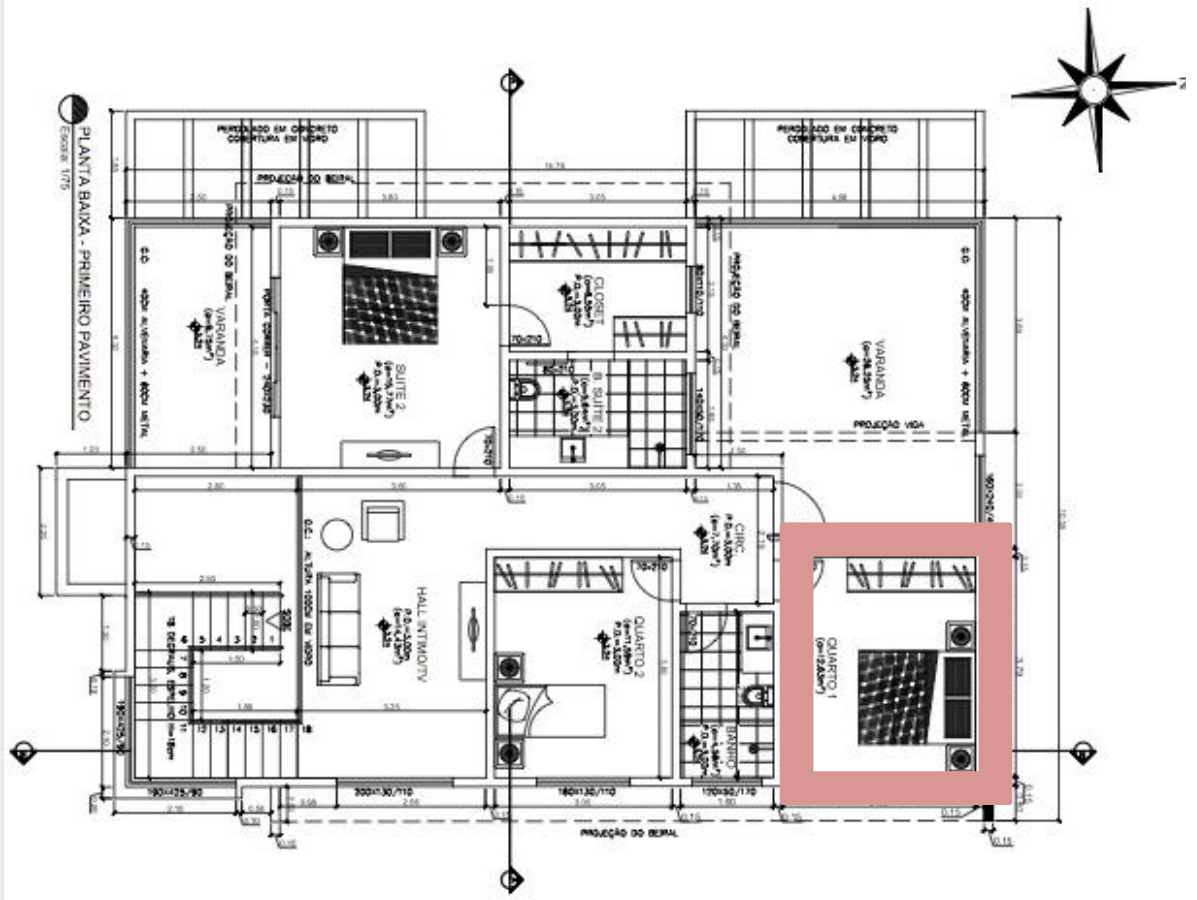


Figura 23 - planta baixa primeiro pavimento do Modelo estudado
Fonte – Próprio autor

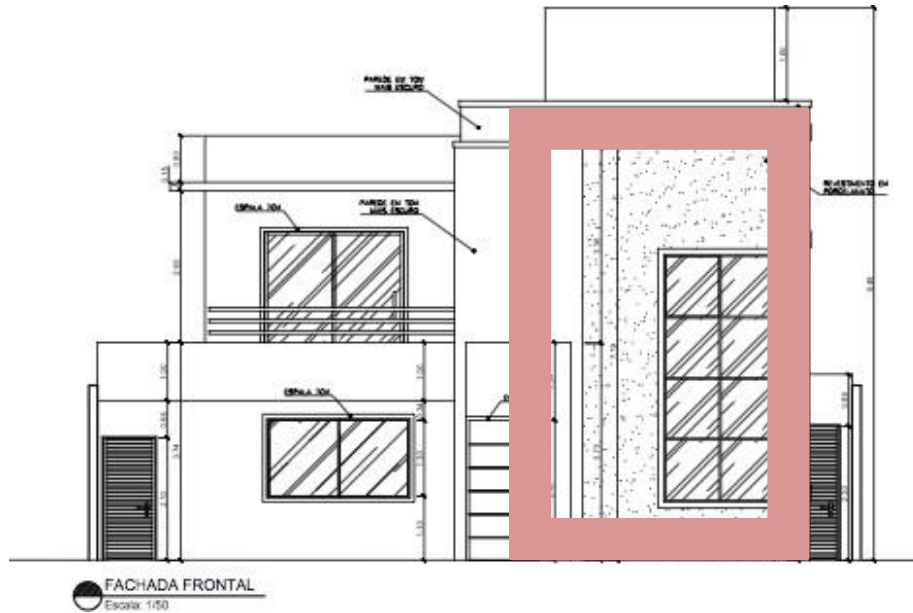


Figura 24 - Fachada do Modelo estudado
Fonte – Próprio autor

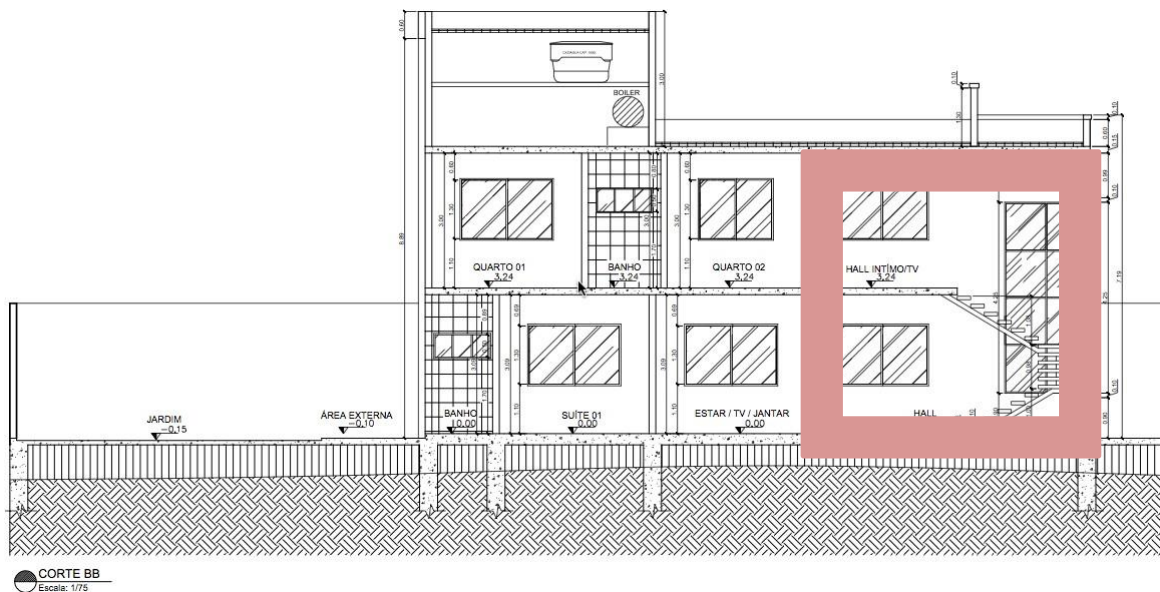


Figure 25 - Corte BB do Modelo estudado
Fonte – Próprio autor

3.2 Caracterização e configuração do sistema de fechamento

Os materiais pesquisados nesse trabalho são painéis ACM (*Aluminium Composite Material*) e telhas sanduíches. Eles são descritos nas tabelas 7 e 8 e compõem o sistema de fechamento com painéis compósitos ACM formados por duas lâminas metálicas em alumínio e uma camada

interna de material leve, neste caso utiliza-se o poliestireno extrudado. As telhas sanduíches formadas por duas lâminas metálicas em aço galvanizado e uma camada interna de material leve, neste caso utiliza-se o EPS. Tem-se ainda piso cerâmico, cobertura em telha cerâmica, portas de compensado e janelas de vidro. Na Tabela 9 apresenta-se as espessuras e as propriedades termofísicas dos materiais que compõem os fechamentos e na Tabela 10 os dados referentes ao vidro utilizado.

Tabela 7- Sistemas de fechamento A

Fechamento	Material
Fechamento externo	Painéis ACM (alumínio + poliestireno + alumínio)
Fechamento interno	Alvenaria (reboco + tijolo + reboco)
Cobertura	Telha cerâmica e laje de concreto
Piso	Piso cerâmico sobre concreto
Portas	Compensado
Janelas	Vidro

Tabela 8 - Sistemas de fechamento B

Fechamento	Material
Fechamento externo	Telha sanduíche (aço + EPS + aço)
Fechamento interno	Alvenaria (reboco + tijolo + reboco)
Cobertura	Telha Cerâmica e laje de concreto
Piso	Piso cerâmico sobre concreto
Portas	Compensado
Janelas	Vidro

Tabela 9 – Espessura e propriedades termofísicas dos materiais dos fechamentos

Material	Espessura (m)	Condutividade (W/mK)	Massa Específica (kg/m³)	Calor Específico (J/kgK)
Concreto Piso	0,075	1,75	2.400	1.000
Piso cerâmico	0,003	1,05	2.000	920
Concreto Laje	0,1	1,75	2.400	1.000
Argamassa	0,002	1,15	2.000	1.000
Aço galvanizado	0,05	55	7.800	460
Alumínio	0,00021	230	2.700	880
Poliestireno extrudado	0,00258	0,035	30	1420
EPS	0,03	0,04	30	1420
Compensado	0,035	0,15	550	2.300
Telha cerâmica	0,001	1,05	2.000	920
Tijolo cerâmico	0,01	1,05	2.000	920

Fonte: ABNT (2005a).

Tabela 10 – Espessura, condutividade térmica e propriedades referentes à radiação do vidro

Material	Espessura (m)	Condutividade (W/mK)	Transmitância Solar em incidência normal	Refletância Solar	Transmitância visível em incidência normal	Refletância visível em incidência normal	Emissividade hemisférica infravermelha
Vidro	0,003	0,90	0,0837	0,075	0,898	0,081	0,84

3.3 Caracterização das condições climáticas

São utilizados como referência climática para a realização das simulações computacionais os dados representativos de cada Zona Bioclimática (Figura 26) conforme estabelecido pela norma NBR 15.220 (ABNT, 2005c). Esta norma fornece informações sobre a localização geográfica de algumas cidades brasileiras e os dados climáticos correspondentes aos dias típicos de projeto de verão e de inverno.

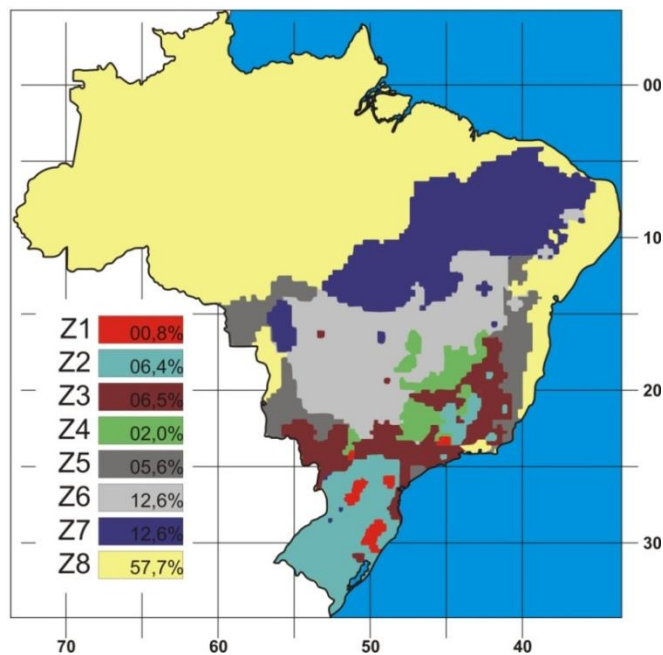


Figura 26 - Zoneamento bioclimático Brasileiro
Fonte: ABNT, 2005d.

A simulação é realizada considerando uma cidade representativa de cada uma das oito Zonas Bioclimáticas, sugeridas pela norma NBR 15.220 (ABNT, 2005c), conforme mostrado na Tabela 11. O estudo é feito para os dias típicos de verão e inverno conforme estabelecido pela norma 15.575 (ABNT, 2013a), Tabelas 12 e 13. Os dados climáticos para as cidades representativas das Zonas Bioclimáticas 2 e 5 são gerados com dados climáticos da base do INMET (2012).

Tabela 11 - Zonas bioclimáticas e respectivas cidades simuladas

ZONA BIOCLIMÁTICA		Latitude	Longitude	Altitude
1	Curitiba (PR)	S 25° 42'	W 49° 27'	924 m
2	São Lourenço (MG)	S 22° 10'	W 45° 01'	953 m
3	São Paulo (SP)	S 23° 50'	W 46° 62'	792 m
4	Brasília (DF)	S 15° 78'	W 47° 93'	1.160 m
5	Vitória da Conquista (BA)	S 14° 88'	W 40° 79'	875 m
6	Campo Grande (MS)	S 20° 45'	W 54° 62'	530 m
7	Cuiabá (MT)	S 15° 55'	W 56° 12'	151 m
8	Manaus (AM)	S 3° 13'	W 60° 02'	72 m

Fonte: ABNT, 2013a

Tabela 12 - Dados de dias típicos de verão das cidades simuladas

ZONA BIOCLIMÁTICA		T _{emáx} diária (°C)	Amplitude diária de temperatura (°C)	T _{ebulbo} úmido (°C)	Radiação solar (Wh/m ²)	Nebulosidade (décimos)
1	Curitiba (PR)	31,4	10,2	21,3	4.988	8
2	São Lourenço (MG)	31,8	11,7	21,6	5.307	8
3	São Paulo (SP)	31,9	9,2	21,3	5.180	6
4	Brasília (DF)	31,2	12,5	20,9	4.625	4
5	Vitória da Conquista (BA)	31,7	10,3	21,0	5.030	8
6	Campo Grande (MS)	33,6	10	23,6	5.481	6
7	Cuiabá (MT)	37,8	12,4	24,8	4.972	6
8	Manaus (AM)	34,9	9,1	26,4	5.177	7

Fonte: ABNT, 2013a; CPTEC, 2009; INMET, 2012

Tabela 13 - Dados de dias típicos de inverno das cidades simuladas

ZONA BIOCLIMÁTICA		T _{emín} diária (°C)	Amplitude diária de temperatura (°C)	T _{ebulbo} úmido (°C)	Radiação solar (Wh/m ²)	Nebulosi- dade (décimos)
1	Curitiba (PR)	0,7	11,6	11,0	3.211	6
2	São Lourenço (MG)	2,6	16,6	14,0	3.595	7
3	São Paulo (SP)	6,2	10,0	13,4	4.418	6
4	Brasília (DF)	10,0	12,2	14,8	4.246	3
5	Vitória da Conquista (BA)	10,7	9,7	15,1	4.110	7
6	Campo Grande (MS)	13,7	11,5	17,3	4.250	4
7	Cuiabá (MT)	11,4	14,3	20,1	4.163	4
8	Manaus (AM)	21,4	7,9	25,0	4.523	7

Fonte: ABNT, 2013a; CPTEC, 2009; INMET, 2012

As simulações computacionais são realizadas para as oito zonas bioclimáticas, mas os resultados parciais são mostrados apenas para as zonas bioclimáticas ZB1, ZB3 e ZB8, uma vez que constituem zonas representativas de três condições climáticas distintas: clima extremo de inverno, clima mediano e clima extremo de verão, respectivamente (APÊNDICE A).

3.4 Caracterização das exigências humanas de conforto térmico

Segundo De Dear e Brager (2002) resultados experimentais têm mostrado que as respostas às condições térmicas dos ambientes, ventilados naturalmente, dependem em parte das condições climáticas externas e são diferentes das respostas em relação a um espaço mecanicamente condicionado, em função de experiências térmicas diferentes, adaptação na vestimenta, disponibilidade de controle de entrada de ar e mudanças nas expectativas dos ocupantes. A avaliação do nível de conforto do ambiente é feita utilizando o conceito de conforto adaptativo, calculando-se a temperatura de neutralidade, de acordo com a temperatura média mensal externa, considerando ambientes ventilados naturalmente por meio da seguinte equação:

$$T_n = 0,31\bar{T}_e + 17,8 \quad (1)$$

onde T_n é a temperatura neutra (°C) e \bar{T}_e é a temperatura média mensal externa (°C).

A partir da obtenção da temperatura neutra (T_n), são estabelecidos os limites máximos e mínimos para obtenção do intervalo de conforto. Assim são definidos intervalos que garantem a aceitabilidade das condições térmicas para 80% e 90% de ocupantes do edifício. Por comparação à equação da temperatura neutra, os limites do intervalo de conforto são estabelecidos para uma variação de 2,5°C em torno da temperatura neutra, para 90% da população satisfeita, e para uma variação de 3,5°C em torno da temperatura neutra, para 80% da população satisfeita. Sendo assim, toda ocorrência de temperaturas operativas² internas que extrapolem os limites estabelecidos caracterizam-se como horas em desconforto.

De acordo com o adendo A da norma ASHRAE 55 (ASHRAE, 2017), a utilização de limites para 80% de população satisfeita devem ser utilizados para aplicações típicas, que é o caso adotado neste estudo. Os limites para 90% da população satisfeita devem ser utilizados quando um padrão elevado de conforto é esperado.

3.5 Parâmetros da simulação computacional

² Segundo a Norma ASHRAE 55 (ASHRAE, 2017) a temperatura operativa é a temperatura uniforme de um recinto preto imaginário, no qual uma pessoa trocaria a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que no recinto não uniforme real. Com velocidade do ar inferior a 0,4m/s, é aproximadamente igual a média aritmética da temperatura do ar e da temperatura radiante média do recinto.

O *EnergyPlus* é um programa de simulação computacional de edificações baseado nas características e capacidades dos programas BLAST e DOE-2 (Figura 27), e permite avaliar o desempenho térmico global da construção em relação às condições climáticas locais.

Na simulação considera-se a habitação como um todo, adotando cada ambiente como uma zona térmica. Para efeito da avaliação do desempenho são analisados os dados obtidos para a sala e para o dormitório, conforme método detalhado na norma NBR 15.575 (ABNT, 2013a), de forma a considerar as piores condições de exposição para cada ambiente nas condições de verão e inverno, ou seja, janela dos dormitórios e salas voltadas para oeste no dia típico de verão e para o sul no dia típico de inverno.

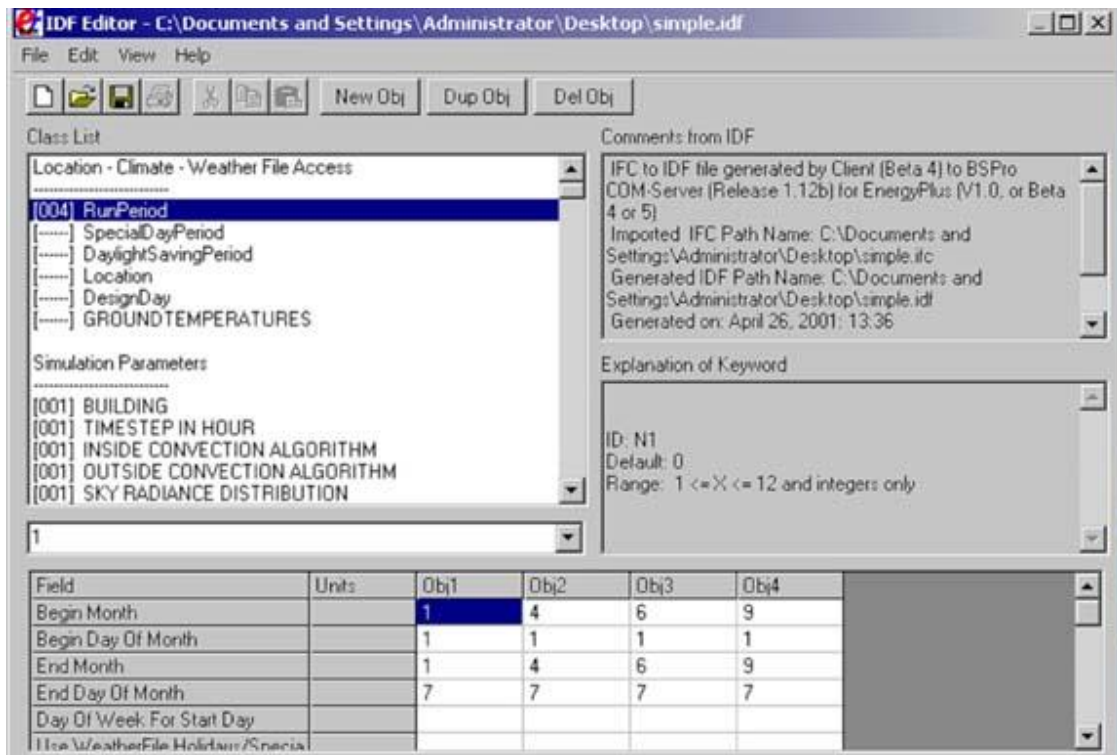


Figure 27 – *Energyplus*
Fonte: Próprio autor

Segundo Kubo (2017) na avaliação do desempenho térmico pelo método da simulação computacional verifica-se o atendimento aos requisitos e critérios da edificação como um todo. Na Figura 28 ilustra-se o fluxograma das principais ações e dos principais dados de entrada que fazem parte de tais *softwares* de simulação termo energética de edificações.

Simulam-se todos os recintos da edificação, considerando as trocas térmicas entre os seus ambientes e avaliam-se os resultados dos recintos dormitórios e salas, considerando as condições apresentadas a seguir: (a) na entrada de dados, considerar que os recintos adjacentes, de outras unidades habitacionais, separados, portanto, por paredes de geminação ou entrepisos,

apresentam a mesma condição térmica do ambiente que está sendo simulado; (b) a edificação deve ser orientada conforme a implantação. A unidade habitacional dessa edificação escolhida para a simulação deve ser a mais crítica do ponto de vista térmico; (c) caso essa orientação da edificação não esteja definida, esta deve ser posicionada de tal forma que a unidade a ser avaliada tenha a condição mais crítica do ponto de vista térmico.



Figure 28 - Principais características de programas de simulação computacional
Fonte: Adaptado de AKUTSU, 1998.

Como condição crítica do ponto de vista térmico, a norma NBR 15.575 (ABNT, 2013a) recomenda que:

- a) verão: janela do dormitório ou da sala voltada para oeste e a outra parede exposta voltada para norte. Caso não seja possível, o ambiente deve ter pelo menos uma janela voltada para oeste;

- b) inverno: janela do dormitório ou da sala de estar voltada para sul e a outra parede exposta voltada para leste. Caso não seja possível, o ambiente deve ter pelo menos uma janela voltada para sul;
- c) obstrução no entorno: considerar que as paredes expostas e as janelas estão desobstruídas, ou seja, sem a presença de edificações ou vegetação nas proximidades que modifiquem a incidência de sol e/ou vento. Edificações de um mesmo complexo, por exemplo, um condomínio pode ser considerado, desde que previstas para habitação no mesmo período. Essa informação deve constar na documentação de comprovação de desempenho;
- d) obstrução por elementos construtivos previstos na edificação: dispositivos de sombreamento (exemplos: para-sóis, marquises, beirais) devem ser consideradas na simulação. Adotar uma taxa de ventilação do ambiente de 1 ren/h. A taxa de renovação da cobertura deve ser a mesma, de 1 ren/h.

A absorvância à radiação solar das superfícies expostas deve ser definida conforme a cor e as características das superfícies externas da cobertura e das paredes expostas, conforme orientações a seguir: (a) cobertura: valor especificado no projeto, correspondente, portanto, ao material declarado para o telhado ou outro elemento utilizado que constitua a superfície exposta da cobertura; (b) parede: assumir o valor da absorvância à radiação solar correspondente à cor definida no projeto. Caso a cor não esteja definida, simular para três alternativas de cor: cor clara (0,3); cor média (0,5); cor escura (0,7).

Segundo a norma NBR 15.575 (ABNT 2013a), a edificação que não atender aos critérios estabelecidos para verão deve ser simulada novamente considerando-se as seguintes alterações:

- ventilação: configuração da taxa de ventilação de cinco renovações do volume de ar do ambiente por hora (5,0 ren/h) e janelas sem sombreamento;
- sombreamento: inserção de proteção solar externa ou interna da esquadria externa com dispositivo capaz de cortar no mínimo 50 % da radiação solar direta que entraria pela janela, com taxa de uma renovação do volume de ar do ambiente por hora (1,0 ren/h);
- ventilação e sombreamento: combinação das duas estratégias anteriores, ou seja, inserção de dispositivo de proteção solar e taxa de renovação do ar de 5,0 ren/h.

3.6 Modelo estatístico utilizado

O planejamento estatístico fatorial conforme visto em Pimentel-Gomes e Garcia (2002),

permite realizar análises mais específicas dos dados obtidos numa dada análise de interesse por meio de modelagem das variáveis de resposta, ou seja, dos fatores a serem estudados. Além disso, pode-se empregar projetos fracionados, o que possibilita trabalhar com diversas variáveis de controle, em níveis diferentes, sem tornar o experimento oneroso e diminuindo o tempo de execução dos experimentos.

Segundo a análise da confiabilidade e viabilidade da análise de fatores uma das premissas de uma análise fatorial é que exista estrutura de dependência clara entre as variáveis da matriz de covariância ou de correlação, sobre a hipótese nula de não interação entre os fatores em estudo. Nesse caso em estudo têm-se como variáveis de controle a absorvância, a taxa de ventilação natural, as propriedades termofísicas do fechamento vertical e a temperatura interna resultante como variável resposta a ser comparada com os requisitos da norma NBR 15.575 (ABNT, 2013a) e analisadas estatisticamente.

Para a confirmação estatística é usado o teste F ou a análise de variância (TURNER; THAYER, 2001) que visa destacar a existência de diferença significativa entre os diferentes tipos fatores ou a interação entre eles. Para comparação múltipla de média é usado o teste de Scott e Knott (1974) para verificar a diferença entre os fatores utilizados e um possível agrupamento em igualdade entre as médias.

A existência de tal estrutura significa que uma variável pode, dentro de certos limites, ser prevista pelas demais. Para verificar esse fato, podem-se calcular os coeficientes de correlação parcial entre os pares de variáveis, eliminado o efeito das demais variáveis. Espera-se que os valores obtidos sejam baixos e conclui-se que cada projeto de experimentos apresenta características próprias no que se refere aos materiais e técnicas empregados na obtenção dos dados, assim determina-se o melhor modelo estatístico a ser adotado para o experimento. O modelo teórico de regressão linear simples apresentado por Castanheira (2013) pode ser usado para esta estimação e sua expressão é definida por:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (2)$$

onde β_0 é o valor médio da variável resposta; β_1 é a taxa de variação média e ε é o erro aleatório com distribuição Normal(0, σ^2). Como medida de avaliação do modelo é apresentado o

coeficiente de determinação R^2 , onde esse indica a variação da variável resposta representada pela variável explicativa.

As análises estatísticas são feitas usando os *softwares* SISVAR (2011) e o R (2017), para a aplicação do teste F e ajuste do modelo linear adequado respectivamente. Para todas as análises no presente trabalho nos testes estatísticos utiliza-se um nível de significância $\alpha = 5\%$.

O SISVAR é um programa de análise estatística e planejamento de experimentos. Sua primeira versão foi lançada em 1996 para o sistema operacional DOS. A linguagem original de sua programação era o Pascal e o compilador era o Turbo Pascal 5.5 da Borland, atualmente é compilado no Delphi 7.0. Este *software* é uma poderosa ferramenta da informática que permite realizar cálculos estatísticos complexos, focados em planejamento de experimentos, e visualizar os seus resultados, em poucos segundos. Um aspecto desafiador do uso do SISVAR se refere a saber que teste estatístico usar para responder às suas questões de delineamentos de experimentos e interpretar corretamente os resultados do cálculo estatístico efetuado.

O R é um *software* livre para o ambiente estatístico computacional e gráfico. Ele compila e executa em uma ampla variedade de plataforma UNIX, desenvolvida em 1997. O *software* R possui um pacote definido como Scott-Knott, implementado por Jelihovschi, Faria e Allaman (2014), para casos em que os dados são balanceados. Em poucas palavras o teste de Scott-Knott é um algoritmo de agrupamento para comparações múltiplas onde uma das alternativas é aplicar o procedimento de agrupamento de características semelhantes importantes ou únicas para o fator em estudo. É eficiente nas aplicações em experimentos em que se quer comparar diferentes tratamentos. Seu intuito é separar as médias dos tratamentos em grupos homogêneos, assim minimizando a soma de quadrados e maximizando-a entre os grupos, sem sobrepô-los. Para isso, é necessário ordenar as médias para que suas respectivas classificações sejam possíveis, determinar o número de partições possíveis, com a finalidade de realizar essa maximização entre grupos.

Segundo Ramalho, Ferreira e Oliveira (2000), o procedimento de Scott-Knott utiliza a razão de verossimilhança para testar a significância de que n tratamentos podem ser divididos em dois grupos que maximizem a soma de quadrados entre grupos. Ainda segundo Silva (1998), a grande vantagem deste teste é a ausência de ambiguidade presente nos procedimentos de comparações múltiplas. As técnicas de análise multivariada avaliam, segundo Demérito (2002), simultaneamente, um conjunto de características, levando-se em consideração as correlações existentes entre elas, o que permite que interferências sobre o conjunto de características sejam feitas em um nível de significância conhecido.

4 RESULTADOS

No presente capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos. Os dados obtidos por simulação computacional têm duas abordagens. Na primeira abordagem são feitos gráficos comparativos entre os parâmetros analisados e a norma NBR 15.575 (ABNT, 2013a) para todas as 8 zonas bioclimáticas nos dias típicos de inverno e verão. Todos os gráficos comparativos gerados na pesquisa estão no Apêndice A. Na segunda abordagem é feita análise de variâncias, utilizando dois *softwares*, o SISVAR e a linguagem R, considerando apenas as zonas bioclimáticas ZB1, ZB3 e ZB8 (APÊNDICE A). Quando for significativo a interação entre dois ou mais parâmetros analisados é apresentado o desdobramento destes, e é expresso o modelo linear obtido da análise de variância. Em toda a análise é adotado um nível de significância de 5%.

4.1 Parâmetros analisados e a norma NBR 15.575 para todas as 8 zonas bioclimáticas.

Os parâmetros analisados são a absorvância, a taxa de ventilação e as propriedades termofísicas do fechamento - painéis ACM e painéis de telha sanduíches (termoacústicas) e também o horário (período). Para as simulações com o painel de ACM, observa-se pelos resultados mostrados na Tabela 14 que para todas as zonas bioclimáticas a temperatura neutra não é alcançada independentemente da cor e da taxa de ventilação. Para o fechamento em telha termoacústica, pode-se concluir a partir dos dados mostrados na Tabela 15 que apenas para a ZB4, um dos ambientes (fachada sul) para cor clara da telha (qualquer α) a temperatura neutra é alcançada. Para as demais zonas bioclimáticas, nas situações onde a temperatura neutra não é alcançada deve-se analisar as estratégias recomendadas para adequação.

Por meio dos dados mostrados nas Tabelas 14 e 15 verifica-se o quão distante da temperatura neutra se encontra o ambiente e assim deve-se definir qual medida a ser utilizada para melhorar o desempenho térmico da envoltória. Observa-se por estas análises que o fechamento em telha termoacústica mantém a temperatura estável independente das oscilações externas, enquanto o fechamento com os painéis ACM acompanham as oscilações externas, não correspondendo às expectativas de conforto e necessitando de tratamentos passivos para a melhora do desempenho térmico (APÊNDICE A).

Tabela 14 - Resposta painel ACM: comparativo das condições de conforto, para um dia típico de verão

VERÃO - T _{i,máx} (°C)													
Zona Bioclimática	T _n	$\alpha = 0,3$				$\alpha = 0,5$				$\alpha = 0,7$			
		Caso 1 sem sombr.; 1 ren/h		Caso 2 sem sombr.; 5 ren/h		Caso 1 sem sombr.; 1 ren/h		Caso 2 sem sombr.; 5 ren/h		Caso 1 sem sombr.; 1 ren/h		Caso 2 sem sombr.; 5 ren/h	
		Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1
1	25,8	28,6	30,1	28,7	30,2	28,8	30,2	29,0	30,4	29,5	30,6	29,4	30,7
2	25,7	29,4	30,8	29,4	30,8	30,5	31,6	30,5	31,6	31,6	32,4	31,6	32,4
3	26,2	29,4	30,7	29,4	30,7	29,9	31,0	29,9	31,0	30,4	31,4	30,4	31,3
4	25,4	27,0	28,8	27,1	28,7	27,5	29,1	27,6	29,1	28,0	29,5	28,0	29,5
5	25,9	29,2	30,5	29,2	30,5	30,0	31,2	30,0	31,2	30,9	31,9	30,9	31,9
6	26,6	30,9	32,3	30,9	32,3	31,5	32,7	31,5	32,7	32,0	33,1	32,1	33,1
7	27,5	34,0	35,7	34,0	35,7	34,6	36,1	34,6	36,1	35,1	36,5	35,1	36,5
8	27,1	33,4	34,5	33,3	34,5	34,5	35,5	34,4	35,4	35,7	36,5	35,6	36,5

Tabela 15 - Resposta telha termoacústica: comparativo das condições de conforto, para um dia típico de verão

VERÃO - T _{i,máx} (°C)													
Zona Bioclimática	T _n	$\alpha = 0,3$				$\alpha = 0,5$				$\alpha = 0,7$			
		Caso 1 sem sombr.; 1 ren/h		Caso 2 sem sombr.; 5 ren/h		Caso 1 sem sombr.; 1 ren/h		Caso 2 sem sombr.; 5 ren/h		Caso 1 sem sombr.; 1 ren/h		Caso 2 sem sombr.; 5 ren/h	
		Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1	Sala	Quarto 1
1	25,8	27,5	29,0	27,5	29,0	27,7	29,1	27,7	29,1	27,8	29,3	27,8	29,3
2	25,7	27,5	28,9	27,5	28,9	27,9	29,3	27,9	29,3	28,4	29,7	28,3	29,6
3	26,2	28,2	29,3	28,2	29,3	28,4	29,5	28,4	29,5	28,5	29,6	28,5	29,6
4	25,4	25,4	26,3	25,4	26,3	25,6	26,5	25,6	26,5	25,8	26,6	25,8	26,6
5	25,9	27,5	28,5	27,5	28,5	27,9	28,8	27,9	28,8	28,2	29,1	28,2	29,1
6	26,6	29,4	30,6	29,5	30,6	29,7	30,8	29,7	30,8	29,9	31,0	29,9	31,0
7	27,5	32,4	33,5	32,4	33,5	32,5	33,7	32,6	33,7	32,7	33,9	32,7	33,9
8	27,1	31,6	32,6	31,6	32,6	32,1	33,1	32,0	33,1	32,5	33,4	32,5	33,4

4.2 Análise de variância para a cidade de Curitiba – ZB1

A cidade de Curitiba representativa da ZB1 foi analisada para dia típico de inverno. Como pode ser observado nas Tabelas 16 e 17, o único parâmetro significativo ao nível de 5%, além do período do dia em que foi tomada a medida da temperatura, foi o tipo de fechamento usado,

todos os demais parâmetros analisados e suas interações não foram significativos para descrever a temperatura interna do ambiente. Sendo assim na Tabela 18 apresenta-se o teste de Scott-Knott utilizado para comparação múltipla de médias que detecta que o fechamento com painel ACM é o que apresenta uma temperatura ambiente média inferior àquela quando utilizado o fechamento em Telha termoacústica.

Tabela 16 -Análise de variância dos fatores em Curitiba (inverno)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F-calc	Valor-p
Período	3	206,81	68,93	37,54	0,00*
Renovações (Ren)	1	0,000301	0,000301	0	0,98
Absortância (Alfa)	2	4,533149	2,266575	1,234	0,29
Fechamento	1	8,63266	8,63266	4,702	0,03
Ren*Alfa	2	0,131947	0,065973	0,036	0,96
Ren*Fechamento	1	0,0936	0,093683	0,051	0,82
Alfa*Fechamento	2	1,105235	0,552618	0,301	0,74
Ren*Alfa*Fechamento	2	0,114089	0,057045	0,031	0,97
Erro	165	302,96028	1,836123		
Total	179	524,39042			

O valor-p seguido de (*), demonstra o fator significativo ao nível de 5%.

GL = Graus de liberdade; SQ = Soma de quadrados; QM = Quadrados médios e F-calc = calculado

Tabela 17 - Tabela de Análise de variância de fatores para Curitiba (Inverno), apenas os significativos

Tabela de análise de variância					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F-calc	Valor-p
Período	3	206,81	68,93	37,54	0,00*
Fechamento	1	8,63266	8,63266	4,702	0,03*
Erro	175	308,939	1,76536		
Total	179	524,39			

O valor-p seguido de (*), demonstra o fator significativo ao nível de 5%.

GL = Graus de liberdade; SQ = Soma de quadrados; QM = Quadrados médios e F-calc = calculado

Tabela 18 - Teste de comparações múltiplas para o parâmetro fechamento (Curitiba inverno)

TESTE DE SCOTT-KNOTT		
Tratamento	Média	Posição
ACM	7,42	a1
Termoacústica	7,86	a2

A letra "a" na coluna posição seguida de números maiores tem maior média de forma subsequente

Pelo teste F apresentado na Tabela 16, apenas o fator período se mostrou significativo, ou seja, diferentes períodos geram resultados médios diferentes na variável resposta. Pode ser

observado que além do fator período, também o fechamento se mostrou significativo, e segundo resultados mostrados na Tabela 18, pelo teste de comparações múltiplas o fechamento com Termoacústica apresenta uma média superior ao painel ACM.

4.3 Análise de Variância para a cidade de Manaus

A cidade de Manaus representativa da ZB8 foi analisada para dia típico de Verão conforme relatado anteriormente (Tabelas 14 e 15). Na Tabela 19 apresenta-se os parâmetros analisados e suas interações significativas ao nível de 5%. Nela tem-se o desdobramento da interação de absorvância com cada tipo de fechamento, e observa-se que o painel de ACM afeta a temperatura média interna do ambiente dependendo do valor da absorvância. Já o fechamento em telha termoacústica não altera o valor médio da temperatura, seja usado qualquer absorvância. O período do dia em que foi tomada a medida da temperatura, e os parâmetros absorvância, tipo fechamento utilizado e a interação entre o tipo fechamento utilizado e a absorvância foram significativos e os demais parâmetros não apresentaram significância estatística. Na tabela 20 apresenta-se a diferença de média dos fechamentos em telha termoacústica e painel ACM.

Tabela 19 - Tabela de Análise de variância de parâmetros para (Manaus - Verão), apenas os significativos

Tabela de análise de variância					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F-calc	Valor-p
Período	3	137,55863	45,85288	46,56	0,00*
Renovação (Ren)	1	0,08022	0,08022	0,081	0,7757
Absortância (Alfa)	2	25,854333	12,92717	13,13	0,00*
Fechamento	1	9,987556	9,987556	10,14	0,0017*
Ren*Alfa	2	0,01411	0,00706	0,007	0,9929
Ren*Fechamento	1	0,032	0,032	0,032	0,8572
Alfa* Fechamento	2	9,250778	4,625389	4,697	0,0104*
Erro	171	164,5907	0,962519		
Total	179	347,3242			

O valor-p seguido de (*), demonstra o fator significativo ao nível de 5%.

GL = Graus de liberdade; SQ = Soma de quadrados; QM = Quadrados médios e F-calc = calculado

Tabela 20 - Teste de comparações múltiplas para o tipo de fechamento (Manaus - Verão)

Teste de Scott-Knott (1974) para o FECHAMENTO/0.7		
Tratamento	Média	Posição
Termoacústica	32,00	a1
ACM	33,04	a2

A letra "a" na coluna posição seguida de números maiores tem maior média de forma subsequente

Apresenta-se a seguir os modelos de análise de regressão para os desdobramentos da absorvância para cada tipo de fechamento:

a) Fechamento em painel ACM: $\text{Temperatura} = 30,44 + 3,71 \times \text{Absorvância}$

O modelo estimado apresenta um $R^2=99,98\%$, e pode ser interpretado da seguinte maneira, sendo que quando se aumenta o valor da absorvância, tem-se um aumento médio esperado na temperatura interna do ambiente.

b) Fechamento em telha Termoacústica: $\text{Temperatura} = 31,35 + 0,93 \times \text{Absorvância}$

O modelo estimado apresenta um $R^2=99,83\%$, e pode ser interpretado da seguinte maneira, sendo que quando se aumenta o valor da absorvância, tem-se um aumento médio esperado na temperatura interna do ambiente.

É importante salientar que este modelo é apenas analítico, pois a interação nesse nível de desdobramento se mostrou não significativa, ou seja, não se tem uma diferença significativa na temperatura interna do ambiente, independentemente do valor da absorvância escolhido quando se usa o fechamento em telha termoacústica. São apresentados ao decorrer do trabalho os modelos lineares estimados apenas para as interações de desdobramentos significativos estatisticamente, ou seja, cujo valor $p < 0,05$.

O desdobramento da interação do tipo de fechamento dentro de cada nível da absorvância, apresentado na Tabela 21, mostra que apenas quando o valor da absorvância de 0,7 é utilizado tem-se uma diferença significativa na temperatura média interior do ambiente dependendo de cada tipo de fechamento utilizado. Sendo assim, quando feito o teste de comparação múltipla de médias de Scott-Knott, tem-se conforme mostrado na Tabela 22 que quando utilizado o fechamento em ACM, em conjunto com a absorvância de 0,7 a temperatura média fica mais amena (Figura 20).

Tabela 21 - Desdobramento da absorção dentro de cada nível de fechamento

Tabela de análise de variância					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F-calc	Valor-p
Absorção/ACM	2	33,010889	16,50544	17,15	0,000*
Absorção/Termoacústica	2	2,094222	1,047111	1,088	0.3355
Erro	171	164,5907	0,962519		

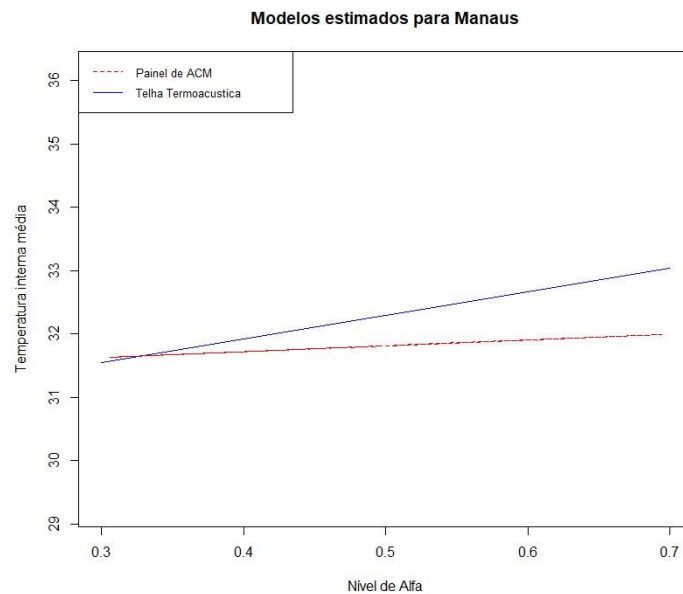
O valor-p seguido de (*), demonstra o fator significativo ao nível de 5%.

GL = Graus de liberdade; SQ = Soma de quadrados; QM = Quadrados médios e F-calc = calculado

Tabela 22 - Desdobramento de fechamento dentro de cada nível da absorção

Tabela de análise de variância					
ACM/Alfa 0,3	1	0,080667	0,080667	0,084	0,7726
ACM/Alfa 0,5	1	3,0375	3,0375	3,156	0,0774
ACM/Alfa 0,7	1	16,120167	16,12017	16,75	0,0001*
Erro	171	164,5907	0,962519		

O valor-p seguido de (*), demonstra o fator significativo ao nível de 5%.

**Figura 29 - Modelo estimado para Manaus**

4.4 Análise de Variância para a cidade de São Paulo (inverno)

Análise de variância para São Paulo no período do inverno se mostrou significativa para a diferença de temperatura média do interior do ambiente quando observados os parâmetros, período do dia em que a temperatura foi medida, tipo de fechamento utilizado e absorvância, os demais parâmetros e suas interações não se mostraram significativas estatisticamente a um nível de significância de 5%, como apresentado na Tabela 23.

Tabela 23 - Análise de variância dos parâmetros em São Paulo (inverno)

Tabela de Análise de Variância					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F-calc	Valor-p
Período	3	119,80088	39,93363	46,996	0,000*
Renovações (Ren)	1	0,104768	0,104768	0,123	0,7259
Absortância (Alfa)	2	11,343373	5,671687	6,675	0,00168*
Fechamento	1	35,76179	3,576179	4,209	0,0418*
Fechamento*Alfa	2	0,002578	0,001289	0,002	0,9985
Ren*Fechamento	1	0,003954	0,003954	0,005	0,9457
Alfa*Fechamento	2	3,799577	1,899788	2,236	0,1101
Ren*Alfa*Fechamento	2	0,000409	0,000204	0,000	0,9998
Erro	165	140,20342	0,849718		
Total	179	278,20342			

O valor-p seguido de (*), demonstra o fator significativo ao nível de 5%.

GL = Graus de liberdade; SQ = Soma de quadrados; QM = Quadrados médios e F-calc = calculado

Como pode-se observar na Tabela 24, a temperatura média do interior do ambiente sofre uma alteração significativa dependendo do tipo de fechamento utilizado, sendo assim, foi feito um teste de comparação múltipla de médias via Scott-Knott como apresentado na Tabela 25, mostrando que o uso do fechamento em painel ACM ocasiona uma temperatura média inferior comparada àquela quando usado o fechamento em telha termoacústica.

Tabela 24 - Análise de variância de parâmetros para São Paulo (Inverno), apenas os significativos

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F-calc	Valor-p
Período	3	119,80088	39,93363	47,938	0,0000*
Absortância	2	11,343373	5,671687	6,808	0,0014*
Fechamento	1	3,576179	3,576179	4,293	0,0398*
Erro	173	144,11471	0,833033		
Total	179	278,20342			

O valor-p seguido de (*), demonstra o fator significativo ao nível de 5%.

GL = Graus de liberdade; SQ = Soma de quadrados; QM = Quadrados médios e F-calc = calculado

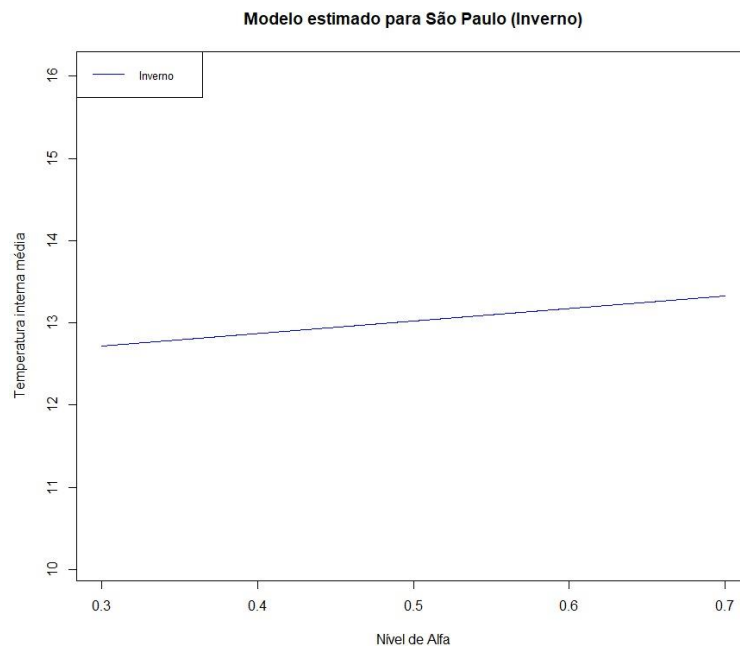
Tabela 25 - Teste de comparações múltiplas para o tipo de fechamento (São Paulo - Inverno)

Teste de Scott-Knott		
Tratamento	Média	Posição
ACM	12,87	a1
Termoacústica	13,15	a2

A letra "a" na coluna posição seguida de números maiores tem maior média de forma subsequente

Estabelece-se um modelo de regressão linear estimado para os diferentes níveis do parâmetro absorvância da forma que segue: $\text{Temperatura} = 12,25 + 1,54 \times \text{Absortância}$

Pode-se interpretar o modelo estimado sendo que ocorre um aumento na temperatura média interna do ambiente quando se aumenta os nível da absorvância e este modelo proposto apresenta um $R^2 = 99,98\%$. Na figura 30 apresenta-se o modelo de análise de regressão resultante para a ZB3 no inverno.

**Figure 30 - Modelo estimado para São Paulo (inverno)**

4.5 Análise de Variância para a cidade de São Paulo (Verão)

Apresentado na Tabela 26 a análise de variância para São Paulo no período do verão mostrou-se significativa quanto a diferença de temperatura média do interior do ambiente quando observados os parâmetros, período do dia em que a temperatura foi medida, tipo de fechamento

utilizado e absorvência, os demais parâmetros e suas interações não se mostraram significativas estatisticamente a um nível de significância de 5%. A temperatura média do interior do ambiente sofre uma alteração significativa dependendo do tipo de fechamento utilizado, como se pode observar na Tabela 27, sendo assim, foi feito um teste de comparação múltipla de médias via Scott-Knott como apresentado na Tabela 28, mostrando que o uso do fechamento em painel ACM ocasiona uma temperatura média inferior àquela quando usado o fechamento em telha termoacústica.

Tabela 26 - Análise de variância dos parâmetros em São Paulo (Verão)

Tabela de Análise de Variância					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F-calc	Valor-p
Período	3	99,4358	33,1453	51,256	0,0000*
Renovações (Ren)	1	0,01116	0,01116	0,017	0,8957
Absortância (Alfa)	2	4,54066	2,27033	3,511	0,0321*
Fechamento	1	2,92383	2,92383	4,521	0,0350*
Fechamento*Alfa	2	0,00092	0,00046	0,001	0,9993
Ren*Fechamento	1	0,00169	0,00169	0,003	0,9593
Alfa*Fechamento	2	1,47724	0,73862	1,142	0,3216
Ren*Alfa*Fechamento	2	0,00008	0,00004	0,000	0,9999
Erro	165	106,700	0,64667		
Total	179	215,091			

O valor-p seguido de (*), demonstra o fator significativo ao nível de 5%.

GL = Graus de liberdade; SQ = Soma de quadrados; QM = Quadrados médios e F-calc = calculado

Tabela 27 - Análise de variância de parâmetros para São Paulo (Verão), apenas os significativo

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F-calc	Valor-p
Período	3	99,435815	33,14527	53	0,0000*
Fechamento	1	2,923825	2,923825	4,675	0,0320*
Absortância	2	4,540659	2,270329	3,63	0,0285*
Erro	173	108,19075	0,62538		
Total	179	215,09105			

O valor-p seguido de (*), demonstra o fator significativo ao nível de 5%.

GL = Graus de liberdade; SQ = Soma de quadrados; QM = Quadrados médios e F-calc = calculado

Tabela 28 - Teste de comparações múltiplas para o parâmetro fechamento (São Paulo Verão)

Teste de Scott-Knott		
Tratamento	Média	Posição
ACM	28,15	a1
Termoacústica	28,41	a2

A letra "a" na coluna posição seguida de números maiores tem maior média de forma subsequente

Estabelece-se um modelo de regressão linear estimado para os diferentes níveis do parâmetro absorvância da forma que segue: $\text{Temperatura} = 28,00 + 0,98 \times \text{Absorvância}$

Pode-se interpretar o modelo estimado sendo que ocorre um aumento na temperatura média interna do ambiente quando se aumenta os nível do parâmetro absorvância, o modelo proposto apresenta um $R^2 = 99,97\%$. Na figura 31 apresenta-se o modelo de análise de regressão resultante para a ZB3 verão.

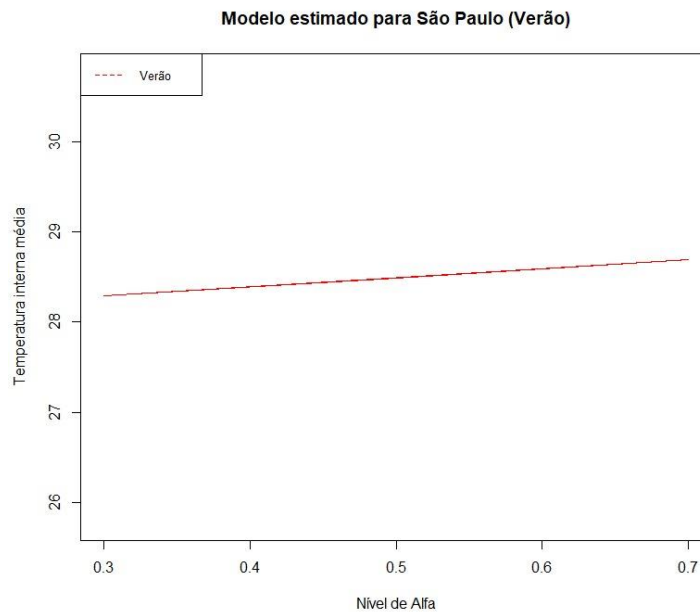


Figura 31 - Gráfico modelo estimado para São Paulo (verão)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho desenvolve-se uma análise do desempenho térmico de uma edificação residencial unifamiliar, com o objetivo de verificar o comportamento das envoltórias de dois novos tipos de fechamentos: em painéis ACM e com telhas sanduíches termoacústicas, atualmente muito utilizados na construção civil, em relação às principais variáveis de desempenho térmico indicadas pela norma como: absorvância, taxa de ventilação natural e propriedades termofísicas do fechamento. É feita análise computacional no *software EnergyPlus* para uma cidade representativa de cada uma das oito zonas bioclimáticas brasileiras, onde, em cada uma delas pode-se avaliar o desempenho térmico da envoltória. Em seguida é realizado um experimento fatorial triplo destas variáveis para três zonas específicas ZB1 (cidade de Curitiba), ZB3 (cidade de São Paulo) e ZB8 (cidade de Manaus) onde são observados os maiores problemas críticos que influenciam no comportamento térmico de edifícios residenciais unifamiliares. O estudo de caso adotado é uma residência unifamiliar, sendo analisados os ambientes de permanência prolongada (um dormitório e a sala).

- A estrutura do experimento fatorial é utilizada para a análise das piores condições de conforto obtidas dentre as condições avaliadas para cada localidade e para os dois ambientes de permanência prolongada da residência. Além disso, o impacto individual de cada uma das variáveis é analisado.
- Sob a análise estatística, o experimento fatorial, para as três cidades representativas, obteve alta capacidade de explicação da variável de saída a partir das variáveis analisadas. Percebe-se que o número de renovações do ar não é significativo para o modelo, gerando um questionamento quanto à recomendação da norma NBR 15.575 (ABNT, 2013a).
- Para as cidades de clima quente, os fatores de 1ª ordem que influenciam positivamente no conforto é a absorvância com cores claras, não fazendo diferença nas cidades de clima frio, sendo que a ventilação não tem relevância em nenhuma delas.
- Observa-se que os ambientes de permanência mais prolongada mostrados (quarto 1 e sala) apresentam desempenho térmico similares, independentemente da ZB avaliada, e os valores dos graus horas necessários para o resfriamento apresentam valores próximos.
- Com a relação à absorvância térmica observa-se que cores claras ($\alpha = 0,3$) são mais favoráveis ao desempenho térmico.

- Quanto à taxa de ventilação observa-se que as temperaturas internas se aproximam mais da temperatura externa para 5ren/h. Deste modo, quanto a temperatura externa é elevada a ventilação deve ser controlada.
- Quanto ao sombreamento, observa-se que a utilização deste fez com que as temperaturas internas se aproximassem mais da temperatura neutra.

Os resultados obtidos neste tratamento estatístico permitem a discussão a respeito de quais variáveis são sensíveis e, entre elas, que possuem maior influência no desempenho térmico da edificação para aquela cidade representativa da zona bioclimática. Estas análises permitem identificar quais são as recomendações para cada tipo de clima. Observa-se que o atendimento aos requisitos normativos não garante condições de conforto térmico para alguns contextos climáticos, principalmente no caso da norma NBR 15.575 (ABNT, 2013a). Com a relação à absorvância térmica observa-se que cores claras ($\alpha = 0,3$) são mais favoráveis ao desempenho térmico quando se utiliza o painel ACM. O fechamento com telha termoacústica não interfere no aumento ou diminuição da temperatura interna.

Espera-se que este trabalho contribua com as discussões acerca das normas de desempenho em vigor no Brasil, assim como contribuir para o estudo das variáveis que influenciam no desempenho e no conforto térmico na variabilidade climática brasileira, auxiliando para um melhor desempenho térmico com menor gasto de condicionamentos artificiais e gerando grandes economias energéticas.

Para trabalhos futuros recomenda-se:

- Aplicar o experimento fatorial para as coberturas metálicas juntamente com as envoltórias para edificações residenciais unifamiliares;
- Realizar o experimento fatorial das coberturas acrescentando novas variáveis, como a emissividade e a presença ou não de forro;
- Realizar os testes com diferentes tipos de dispositivo de sombreamento;
- Avaliar os valores limites das propriedades termofísicas para cada uma das localidades, a fim de estabelecer novos valores limites;
- Estudar intervenções para melhorar o desempenho térmico das edificações principalmente em condições de calor extremo.

REFERÊNCIAS

ACF Comunicação Visual, 2019. Disponível em: https://acfservicos.com.br/pt_BR/ Acesso em: 05 jan. 2019.

AKUTSU, M.; VITTORINO, F. A Tendência Atual dos Métodos de Avaliação do Desempenho Térmico e Energético de Edificações. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., Salvador, 1997. **Anais...** Salvador: ANTAC, 1997.

AKUTSU, M. **Método para a Avaliação do Desempenho Térmico de Edificações no Brasil**. 1998. 150 f. Tese (Doutorado em Arquitetura). São Paulo: Universidade de São Paulo, 1998.

AMERICAN SOCIETY FOR HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERING. **ANSY/ASHRAE 55**: Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14513**: Telhas de aço revestido de seção ondulada – Requisitos. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14513**: Telhas de aço revestido de seção trapezoidal. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-1**: Desempenho térmico de edificações parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5**: Edifícios habitacionais – Desempenho parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edifícios habitacionais – Desempenho parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: Edifícios habitacionais – Desempenho parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2013b.

AUGUSTO, M. Disponível em: <http://proestilo.com.br/sem-categoria/paineis-metalicos-oferecem-isolamento-termoacustico/>. Acesso em: 04 jul. 2016.

BARBOSA, M. J. **Uma Metodologia para Especificar e Avaliar o Desempenho Térmico de Edificações Residenciais Unifamiliares**. 1997, 307p. Tese (Doutorado em Engenharia de

Produção) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1997.

BARRIOS, G.; HUELSZ, G.; RECHTMAN, R. Wall/Roof Thermal Performance Differences Between Air-Conditioned and Non-Conditioned Rooms. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 1, p. 219-223, 2011.

BASTOS, M. A. R.; SOUZA, H. A. Da necessidade de informação e conhecimento para um consumo consciente: a visão crítica de usuários de edificações que incorporam técnicas e componentes construtivos inovadores. In: IX ENCONTRO NACIONAL E V ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO-ENCAC, 2007, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: ENCAC, 2007. v. 1. p. 181-190.

BERNARDES, L.M.C. **Clima do Brasil**. Boletim Geográfico, Rio de Janeiro, v. 9, n.103, p. 727 – 739, 1951.

BOX, G. E. P.; HUNTER, J. S.; HUNTER, W. G. **Statistics for experimenters**. In: Wiley Series in Probability and Statistics. Wiley Hoboken, NJ, USA, 2005.

BRITO, A. C.; AKUTSU, M.; VITTORINO, F. V.; AQUILINO, M. M. Sustentabilidade e conforto ambiental em edificações. **Revista Técnica**, v. 162, p. 62-65, 2010.

BRITO, A. C.; AKUTSU, M.; VITTORINO, F. V.; AQUILINO, M. M.; TRIBESS, A. Efeito da utilização de vedações internas leves na inércia térmica de edifício com sistema construtivo em concreto. In: XI ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11, 2011. **Anais ENCAC 2011**. CD-Rom, 2011.

BROOKES, A.J. **Cladding of buildings**. 3 ed., London: E & FN Spon, 1998. 180p

BRUNA, P. J. V. **Arquitetura, industrialização e desenvolvimento**. 2 ed. São Paulo: Ed. Perspectiva, 1976. 312 p.

CAIXA. Manual do FGTS utilização na moradia própria. 2003. Disponível em: http://www.caixa.gov.br/Downloads/fgts-moradia/MANUAL_DA_MORADIA_PROPRIA_01_01_2019.pdf. Acesso em: 05 jan. 2016.

CAMPARI, G. P. **Nosso Brasil**. A utopia dos arranha-céus sustentáveis. *Arquitextos*, São Paulo, n. 072, Portal Vitruvius (online), 2006. Disponível em: https://www.propec.ufop.br/uploads/propec_2016/teses/arquivos/tese164.pdf. Acesso em: 05 dez. 2019.

CAMPOS, H. C.; SOUZA, H. A. Avaliação Pós-Ocupação de Edificações estruturadas em aço, com foco em edificações em Light Steel Framing. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DA CONSTRUÇÃO METÁLICA, 4, 2010, São Paulo. **Anais...**São Paulo: CONSTRUMETAL 2010.

CARAZZAI, D. Disponível em: <https://topview.com.br/estilo/sustentavel-leveza/>. Acesso em: 05 mar. 2016.

CASAGRANDE, Arquitetura. Disponível em: <https://topview.com.br/estilo/sustentavel-leveza/>. Acesso em: 06 mar. 2016.

CASTANHEIRA, N. P. **Métodos quantitativos**. Editora Ibipex, 2013.

CRASTO, B. G. S. **Utilização de estruturas metálicas em edificações residenciais unifamiliares**. 2005. 206p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2005.

CASTRO, E. M. C. **Patologia dos edifícios em estrutura metálica**. 1999. 202f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1999.

CAVALCANTI, F. A. M. S. Paredes Trombe No Brasil, Análise Do Potencial De Utilização Para Aquecimento e Refrigeração. 2013.144p. Tese (Doutorado em Arquitetura) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo do Instituto de Arquitetura e Urbanismo - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013. DOI: 10.11606/T.102.2013.tde-30042014-095503

CBCA. Centro Brasileiro da Construção em Aço – 2012. Disponível em: <https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/noticias-detalhes.php?cod=7246>. Acesso em: 07 jan. 2014.

CBCA. Centro Brasileiro da Construção em Aço –, 2016. Disponível em: <http://www.cbca-acobrasil.org.br/construcao-em-aco-aco-nas-estatisticas.php>. Acesso em: 07 jan. 2014.

CBIC – CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Desempenho de Edificações Habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR/2013. Fortaleza, 2013.

CHANDRA, S. **Ventilative cooling**. In: COOK, J. (Ed.) *Passive cooling*. Cambridge: MIT, 1989.

CierresdelHogar, 2019. Disponível em: https://www.cierreshogar.com/cierres-del-hogar/descricao/painel-aluacero-veneziana_3115_1440_3417_0_1_in.html. Acesso em: 08 mar. 2019.

CORBUSIER, L. **Por uma arquitetura**. São Paulo: Ed. Perspectiva, 2011. 205p.

CORREA, C. B. **Arquitetura bioclimática**. Adequação do projeto de arquitetura ao meio ambiente natural. Portal Vitruvius. 04.07 2001.

CPTEC. Banco de dados climatológicos. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 10 nov. 2009.

CRAWLEY, D. B. *et al.* EnergyPlus: Energy Simulation Program. **ASHRAE Journal**. Atlanta: ASHRAE, v.42, p. 49-56, 2000.

DE DEAR, R. J.; BRAGER, G. S. Thermal Comfort in Naturally Ventilated Buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. **Energy and Buildings**, v. 34, n.6, p. 549-561, jul. 2002

DEMÉRITO C. G. B. **análise multidimensional para dados de cana -de -açúcar**. 2002.126p. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agrônoma) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering**. McGraw Hill, New York, 1972.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, C. **Análise de sensibilidade por meio de experimento fatorial de parâmetros de desempenho térmico de envoltórias de edificações residenciais: contribuição à revisão das normas brasileiras**. 2016, 434p. Tese (Doutorado em engenharia Civil) - Departamento de engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.

FREIXANET, V. A. F. **Clima y Arquitectura**. 1 ed., Azcapotzalco, Universidade Autônoma Metropolitana, 2004.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual do conforto térmico**. 5 ed. – São Paulo: Studio Nobel, 2001.

FULLER, B. **Concebendo uma nova indústria**. São Paulo: GFAU-USP, 1963a. 105p.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. London, Elsevier, 1976

GIVONI, B. Comfort climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 1. 1992

GOMES, A. P. **Avaliação do desempenho térmico de edificações unifamiliares em light steel framing**. 2007. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. 2007.

GOMES, A.; SOUZA, H. A.; MARTINS, G. C. A.; SPILARI, D. V. Utilização De Paredes Trombe Em Edificações Residenciais Na Cidade De Ouro Preto – Mg. In: X ENCONTRO NACIONAL E VI ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, **Anais...** ENCAC/ELACAC Natal. 2009.

GOULART, S. *et al.* Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico. Florianópolis: UFSC, 1994. **Relatório interno 02/94 - NPC**.

GRAHL JÚNIOR, M. A. Painéis metálicos oferecem isolamento termoacústico. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/paineis-metalicos-oferecem-isolamento-termoacustico/6413> Acesso em: 12 jul. 2016.

GRIGOLETTI, G. C.; SATTLER, M. A. Método de avaliação global de desempenho higrotérmico de habitações de interesse social para Porto Alegre - RS - Brasil. **Ambiente Construído** [online], v.10, n.2, 2010, p.101-114.

GUARNIER, C. R. F. **Metodologias de detalhamento de estruturas metálicas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. 2009.

HABITAÇÃO popular em steel frame. **Guia da Construção**, São Paulo, ano 63, n. 103, p. 6-11, fev. 2010.

HERMSDORFF, M. M. C. **A estrutura metálica como solução para a habitação de interesse social: uma avaliação pós-ocupação do conjunto habitacional Oswaldo Barbosa Penna II, Nova Lima – MG.** 2005. 181f. . Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

HOLANDA, A. Roteiro para construir no nordeste: arquitetura como lugar ameno nos trópicos ensolarados. Recife, MDU, UFPE, 1976.

IBDA. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento de Arquitetura, 2016. Disponível em: <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=29&Cod=84> Acesso em: 12 abr. 2016.

INMET- Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa. Disponível em: www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep. Acesso em: 12 set. 2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730:** Ergonomics of the thermal environment– Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Genebre, 2006.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 6240:** Performance standards in building — Contents and presentation. London. 1980

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 6241:** Performance Standards in building – Principles for their preparation and factors to be considered. 1984.

JELIHOVSCHI, E. G.; FARIA, J. C.; ALLAMAN, I. B. ScottKnott: a package for performing the Scott-Knott clustering algorithm in R. TEMA (São Carlos). v.15 n.1, São Carlos, jan./apr. 2014. <https://doi.org/10.5540/tema.2014.015.01.0003>.

JUNIOR, J. K. Construções de light steel frame. Disponível em: http://coral.ufsm.br/decc/ECC8058/Downloads/Construcoes_de_Light_Steel_Frame_Techne_n_112_2006.pdf. Acesso em: 03 ago. 2016.

KUBO, K. **A influência das variáveis do *design day*, consideradas na simulação com o *energyplus* e desconsideradas pela nbr15575/2013, nos resultados de desempenho térmico de edificações.** 2017, 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** PW Editores, São Paulo, 1997.

LBNL. **Energyplus** – Engineering Document. US Department of Energy, USA. P. 18-61, 2004.

LEITE, M. A. Construção de edificações pré-fabricadas em wood frame para habitação de interesse social no estado do Ceará: análise da viabilidade econômico-financeira, técnica e ambiental. 2017. 217 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil) –Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. 2017. <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/24091>.

MACHADO, R. C. **Aspecto da sustentabilidade ambiental nos edifícios estruturados em aço**. 2010. 232p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, MG. 2010.

MARSH, P. **Air and rain penetration of buildings**. 1 ed. New York: Longman Inc., 1977. 174 p.

MASCARÓ, L. R. **Energia na edificação- estratégias para minimizar seu consumo**. São Paulo: Ed. Projeto, 1991.

MILAN, G. S. *et al.* Sistema Light Steel Frame: um estudo de viabilidade financeira e mercadológica do sistema para construções residenciais. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 6, 2010, Niterói. **Anais eletrônicos...**Niterói: LATEC-UFF, 2010.

MITIDIARI FILHO, C. V.; GUELPA, D. F. V. **Avaliação de Desempenho de Sistemas Construtivos Inovadores Destinados a Habitações Térreas Unifamiliares – Desempenho Estrutural**. EPUSP, 11 p., São Paulo (Boletim Técnico). 1992.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. Geoffrey. **Introduction to linear regression analysis**. John Wiley & Sons, 2012.

MOTA, H. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/paineis-metalicos-oferecem-isolamento-termoacustico/6413>. Acesso em: 11 jul. 2016.

OLGYAY, V. **Design with Climate**. New Jersey: PrincetonUniversity Press, 1963.

OLIVEIRA, A. B. F. **Inserção De Sistemas Construtivos Industrializados De Ciclo Aberto Estruturados Em Aço No Mercado Da Construção Civil Residencial Brasileira**. 2013. 155P. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2013.

PEREIRA, C. D.; GHISI, E. A influência do envelope no desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ocupadas e ventiladas naturalmente. In: X ENCONTRO NACIONAL E VI ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2009, Natal. **Anais...** Natal 2009. CD-ROM.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. 2002.

PROCEL, Eletrobras. **Avaliação dos Resultados do Procel 2006**. Rio de Janeiro, 2007. 151 p.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D.F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. Lavras: UFLA, p.87-134, 2000.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. 2017

REZENDE, M.A. P.; ABIKO, A. K. **Inovação tecnológica nas edificações e introdução da estrutura metálica em Minas Gerais**. São Paulo: EPUSP, 2004. 22p. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil; BT/PCC/352)

RIBAS, R. A. J. **Avaliação das condições físico-constructivas e de desempenho de uma edificação estruturada em aço**. Estudo de caso: prédio da Escola de Minas da UFOP. 2006. 187f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006.

RIVERO, R. **Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural**. D.E. Luzzato e Universidade Federal do Rio de Grande do Sul. Porto Alegre, 1985.

ROCHA, Valente, Mário Diego; Travassos de Queiroz, Waldenei; Guimarães Pinheiro, João; Silva Monteiro, Luis Augusto da Modelo de predição para o volume total de Quaruba (*Vochysia inundata ducke*) via análise de fatores e regressão. **Revista Árvore**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, v. 35, n. 2, abril, 2011, pp. 307-317

VALENTE, M. D. R.; QUEIROZ, W. T.; PINHEIRO, J.; MONTEIRO, L. A. S. Modelo de predição para o volume total de Quaruba (*Vochysia inundata ducke*) via análise de fatores e regressão. **Revista Árvore** [online]. v.35, n.2, p.307-317. 2011.

SALES, U. C.; SOUZA, H. A.; NEVES, F. A. Construção Industrializada em aço: Estrutura metálica associada a fechamentos pré-fabricados. **Revista Engenharia, Ciência & Tecnologia**, Vitória-ES, v. 05, n. 01, p. 11-17, 2002.

SANT'ANNA, A.; VILLARI, A. C.; COSTA, D. Aproveite as vantagens de construir com aço. **Revista Arquitetura e Construção**, São Paulo, p. 80- 83, jul. 2004.

SANTIAGO, A. K. **O uso do sistema Light Steel Framing associado a outros sistemas construtivos como fechamento vertical externo não estrutural**. 2008. 153p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2008.

SANTIAGO, F. Financiamento de casas que fogem da alvenaria convencional. 2012. Disponível em: <http://casa.abril.com.br/materia/financiamento-de-casas-que-fogem-da-alvenaria-convencional>. Acesso em: 19 dez. 2013.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, p. 507-512, 1974.

SILVA, E. C. **Avaliação do poder e taxas de erro tipo I do teste Scott-Knott por método de Monte Carlo**. 1998. 54p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.

SILVA, G. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/paineis-metalicos-oferecem-isolamento-termoacustico/6413>. Acesso em: 10 jul. 2016.

SILVA, J. R. G.; VERGARA, S. C. Sentimentos, Subjetividades e Supostas resistências à mudança organizacional. **Revista RAE**. v. 43. N. 3, jul/set, 2003, p.:10- 21.

SILVA, M. G.; SILVA, V. G. **Painéis de Vedação**. In: Bibliografia Técnica para o Desenvolvimento da Construção em Aço, Núcleo de Excelência em Estruturas Metálicas e Mistas – NEXEM, 2003. 59p.

TURNER, J. R.; THAYER, J. F. **Introduction to analysis of variance: Design, analysis & interpretation**. Thousand Oaks, CA: Sage Publications. 2001.

UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. **Energy Simulation Software**– Energy Efficiency and Renewable Energy – Building Technologies Program. Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>. Acesso em: 05 mai. 2010.

VINIL E CIA, 2019. Disponível em: <http://www.vinilecia.com.br/>. Acesso em: 03 mar. 2019.

VITTORINO, F. Desempenho térmico e lumínico de edifícios habitacionais: discussão da proposta de normalização para habitações de até cinco pavimentos. In: **HABITAÇÃO: DESEMPENHO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA**, 2005, São Paulo. **Anais** do seminário Habitação: desempenho e inovação tecnológica. São Paulo: IPT, 2005. p. 7-16.

VON KRÜGER, P. G. **Análise de painéis de vedação nas edificações em estrutura metálica**. 2000. 167p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2000.

APÊNDICE A

Nas Tabelas A.1 a A.4 são apresentados os dados utilizados no experimento fatorial com as variáveis analisadas: ventilação por meio do número de renovações de ar por hora no ambiente (ren/h), absorvância com valores de acordo a norma NBR 15.575 (ABNT, 2013), tipo de fechamento (ACM – painel compósito e THERMOA – telhas termoacústicas), nos períodos M- manhã, T- tarde e N- noite, somente para o ambiente sala.

Tabela A.1 - Dados para experimento fatorial com as variáveis analisadas – inverno São Paulo – ambiente sala

ren/h	Absortância (adimensional)	Fechamento	Período	Temperatura (°C)
1	0,3	ACM	M	11,0
1	0,3	ACM	M	10,6
1	0,3	ACM	M	11,1
1	0,3	ACM	M	12,1
1	0,3	ACM	M	12,9
1	0,3	ACM	T	13,3
1	0,3	ACM	T	13,7
1	0,3	ACM	T	14,0
1	0,3	ACM	T	14,1
1	0,3	ACM	T	13,9
1	0,3	ACM	N	13,0
1	0,3	ACM	N	12,4
1	0,3	ACM	N	11,9
1	0,3	ACM	N	11,7
1	0,3	ACM	N	11,2
1	0,5	ACM	M	11,2
1	0,5	ACM	M	10,8
1	0,5	ACM	M	11,5
1	0,5	ACM	M	12,6
1	0,5	ACM	M	13,5
1	0,5	ACM	T	13,8
1	0,5	ACM	T	14,3
1	0,5	ACM	T	14,7
1	0,5	ACM	T	14,8
1	0,5	ACM	T	14,5
1	0,5	ACM	N	13,4
1	0,5	ACM	N	12,8
1	0,5	ACM	N	12,3
1	0,5	ACM	N	12,0
1	0,5	ACM	N	11,5
1	0,7	ACM	M	11,5

1	0,7	ACM	M	11,0
1	0,7	ACM	M	11,8
1	0,7	ACM	M	13,2
1	0,7	ACM	M	14,1
1	0,7	ACM	T	14,4
1	0,7	ACM	T	14,9
1	0,7	ACM	T	15,4
1	0,7	ACM	T	15,6
1	0,7	ACM	T	15,2
1	0,7	ACM	N	13,9
1	0,7	ACM	N	13,2
1	0,7	ACM	N	12,6
1	0,7	ACM	N	12,3
1	0,7	ACM	N	11,8
5	0,3	ACM	M	10,9
5	0,3	ACM	M	10,5
5	0,3	ACM	M	11,0
5	0,3	ACM	M	12,0
5	0,3	ACM	M	12,9
5	0,3	ACM	T	13,2
5	0,3	ACM	T	13,7
5	0,3	ACM	T	14,0
5	0,3	ACM	T	14,1
5	0,3	ACM	T	13,9
5	0,3	ACM	N	13,0
5	0,3	ACM	N	12,4
5	0,3	ACM	N	11,9
5	0,3	ACM	N	11,6
5	0,3	ACM	N	11,1
5	0,5	ACM	M	11,2
5	0,5	ACM	M	10,7
5	0,5	ACM	M	11,4
5	0,5	ACM	M	12,5
5	0,5	ACM	M	13,5
5	0,5	ACM	T	13,8
5	0,5	ACM	T	14,3
5	0,5	ACM	T	14,7
5	0,5	ACM	T	14,8
5	0,5	ACM	T	14,5
5	0,5	ACM	N	13,4
5	0,5	ACM	N	12,7
5	0,5	ACM	N	12,2
5	0,5	ACM	N	11,9
5	0,5	ACM	N	11,4
5	0,7	ACM	M	11,4

5	0,7	ACM	M	10,9
5	0,7	ACM	M	11,7
5	0,7	ACM	M	13,1
5	0,7	ACM	M	14,0
5	0,7	ACM	T	14,4
5	0,7	ACM	T	14,9
5	0,7	ACM	T	15,4
5	0,7	ACM	T	15,5
5	0,7	ACM	T	15,2
5	0,7	ACM	N	13,8
5	0,7	ACM	N	13,2
5	0,7	ACM	N	12,6
5	0,7	ACM	N	12,3
5	0,7	ACM	N	11,7
1	0,3	TERMOA	M	12,9
1	0,3	TERMOA	M	12,7
1	0,3	TERMOA	M	12,7
1	0,3	TERMOA	M	12,8
1	0,3	TERMOA	M	12,9
1	0,3	TERMOA	T	12,9
1	0,3	TERMOA	T	13,0
1	0,3	TERMOA	T	13,1
1	0,3	TERMOA	T	13,2
1	0,3	TERMOA	T	13,2
1	0,3	TERMOA	N	13,2
1	0,3	TERMOA	N	13,1
1	0,3	TERMOA	N	13,1
1	0,3	TERMOA	N	13,1
1	0,3	TERMOA	N	13,0
1	0,5	TERMOA	M	12,9
1	0,5	TERMOA	M	12,7
1	0,5	TERMOA	M	12,7
1	0,5	TERMOA	M	12,8
1	0,5	TERMOA	M	12,9
1	0,5	TERMOA	T	12,9
1	0,5	TERMOA	T	13,0
1	0,5	TERMOA	T	13,1
1	0,5	TERMOA	T	13,2
1	0,5	TERMOA	T	13,2
1	0,5	TERMOA	N	13,2
1	0,5	TERMOA	N	13,1
1	0,5	TERMOA	N	13,1
1	0,5	TERMOA	N	13,1
1	0,5	TERMOA	N	13,0
1	0,7	TERMOA	M	13,1

1	0,7	TERMOA	M	12,9
1	0,7	TERMOA	M	12,9
1	0,7	TERMOA	M	13,0
1	0,7	TERMOA	M	13,1
1	0,7	TERMOA	T	13,2
1	0,7	TERMOA	T	13,2
1	0,7	TERMOA	T	13,3
1	0,7	TERMOA	T	13,4
1	0,7	TERMOA	T	13,5
1	0,7	TERMOA	N	13,5
1	0,7	TERMOA	N	13,4
1	0,7	TERMOA	N	13,3
1	0,7	TERMOA	N	13,4
1	0,7	TERMOA	N	13,2
5	0,3	TERMOA	M	12,5
5	0,3	TERMOA	M	12,3
5	0,3	TERMOA	M	12,3
5	0,3	TERMOA	M	12,4
5	0,3	TERMOA	M	12,6
5	0,3	TERMOA	T	12,6
5	0,3	TERMOA	T	12,7
5	0,3	TERMOA	T	12,7
5	0,3	TERMOA	T	12,8
5	0,3	TERMOA	T	12,9
5	0,3	TERMOA	N	12,8
5	0,3	TERMOA	N	12,8
5	0,3	TERMOA	N	12,7
5	0,3	TERMOA	N	12,7
5	0,3	TERMOA	N	12,6
5	0,5	TERMOA	M	12,7
5	0,5	TERMOA	M	12,5
5	0,5	TERMOA	M	12,5
5	0,5	TERMOA	M	12,6
5	0,5	TERMOA	M	12,8
5	0,5	TERMOA	T	12,8
5	0,5	TERMOA	T	12,9
5	0,5	TERMOA	T	13,0
5	0,5	TERMOA	T	13,1
5	0,5	TERMOA	T	13,1
5	0,5	TERMOA	N	13,1
5	0,5	TERMOA	N	13,0
5	0,5	TERMOA	N	12,9
5	0,5	TERMOA	N	13,0
5	0,5	TERMOA	N	12,8
5	0,7	TERMOA	M	12,9

5	0,7	TERMOA	M	12,7
5	0,7	TERMOA	M	12,7
5	0,7	TERMOA	M	12,8
5	0,7	TERMOA	M	13,0
5	0,7	TERMOA	T	13,0
5	0,7	TERMOA	T	13,1
5	0,7	TERMOA	T	13,2
5	0,7	TERMOA	T	13,3
5	0,7	TERMOA	T	13,4
5	0,7	TERMOA	N	13,4
5	0,7	TERMOA	N	13,3
5	0,7	TERMOA	N	13,2
5	0,7	TERMOA	N	13,2
5	0,7	TERMOA	N	13,0

Tabela A.2 - Dados para experimento fatorial com as variáveis analisadas – verão São Paulo – ambiente sala

ren/h	Absortância (adimensional)	Fechamento	Período	Temperatura (°C)
1	0,3	ACM	M	26,6
1	0,3	ACM	M	26,2
1	0,3	ACM	M	26,6
1	0,3	ACM	M	27,4
1	0,3	ACM	M	28,3
1	0,3	ACM	T	28,6
1	0,3	ACM	T	29,0
1	0,3	ACM	T	29,2
1	0,3	ACM	T	29,4
1	0,3	ACM	T	29,2
1	0,3	ACM	N	28,4
1	0,3	ACM	N	27,9
1	0,3	ACM	N	27,5
1	0,3	ACM	N	27,2
1	0,3	ACM	N	27,0
1	0,5	ACM	M	26,7
1	0,5	ACM	M	26,3
1	0,5	ACM	M	27,0
1	0,5	ACM	M	27,8
1	0,5	ACM	M	28,6
1	0,5	ACM	T	28,9
1	0,5	ACM	T	29,4
1	0,5	ACM	T	29,7
1	0,5	ACM	T	29,9
1	0,5	ACM	T	29,7
1	0,5	ACM	N	28,7

1	0,5	ACM	N	28,2
1	0,5	ACM	N	27,7
1	0,5	ACM	N	27,4
1	0,5	ACM	N	27,0
1	0,7	ACM	M	26,9
1	0,7	ACM	M	26,5
1	0,7	ACM	M	27,0
1	0,7	ACM	M	28,1
1	0,7	ACM	M	29,0
1	0,7	ACM	T	29,3
1	0,7	ACM	T	29,8
1	0,7	ACM	T	30,2
1	0,7	ACM	T	30,3
1	0,7	ACM	T	30,1
1	0,7	ACM	N	29,0
1	0,7	ACM	N	28,5
1	0,7	ACM	N	27,9
1	0,7	ACM	N	27,7
1	0,7	ACM	N	27,1
5	0,3	ACM	M	26,5
5	0,3	ACM	M	26,2
5	0,3	ACM	M	26,5
5	0,3	ACM	M	27,4
5	0,3	ACM	M	28,3
5	0,3	ACM	T	28,6
5	0,3	ACM	T	29,0
5	0,3	ACM	T	29,3
5	0,3	ACM	T	29,4
5	0,3	ACM	T	29,2
5	0,3	ACM	N	28,4
5	0,3	ACM	N	27,9
5	0,3	ACM	N	27,4
5	0,3	ACM	N	27,2
5	0,3	ACM	N	26,8
5	0,5	ACM	M	26,7
5	0,5	ACM	M	26,3
5	0,5	ACM	M	26,7
5	0,5	ACM	M	27,7
5	0,5	ACM	M	28,6
5	0,5	ACM	T	28,9
5	0,5	ACM	T	29,4
5	0,5	ACM	T	29,7
5	0,5	ACM	T	29,8
5	0,5	ACM	T	29,6
5	0,5	ACM	N	28,7

5	0,5	ACM	N	28,2
5	0,5	ACM	N	27,6
5	0,5	ACM	N	27,4
5	0,5	ACM	N	26,9
5	0,7	ACM	M	26,8
5	0,7	ACM	M	26,4
5	0,7	ACM	M	26,9
5	0,7	ACM	M	28,1
5	0,7	ACM	M	29,0
5	0,7	ACM	T	29,3
5	0,7	ACM	T	29,8
5	0,7	ACM	T	30,2
5	0,7	ACM	T	30,3
5	0,7	ACM	T	30,1
5	0,7	ACM	N	29,0
5	0,7	ACM	N	28,4
5	0,7	ACM	N	27,9
5	0,7	ACM	N	27,6
5	0,7	ACM	N	27,1
1	0,3	TERMOA	M	27,7
1	0,3	TERMOA	M	27,6
1	0,3	TERMOA	M	27,6
1	0,3	TERMOA	M	27,7
1	0,3	TERMOA	M	27,9
1	0,3	TERMOA	T	27,9
1	0,3	TERMOA	T	28,0
1	0,3	TERMOA	T	28,0
1	0,3	TERMOA	T	28,1
1	0,3	TERMOA	T	28,2
1	0,3	TERMOA	N	28,2
1	0,3	TERMOA	N	28,1
1	0,3	TERMOA	N	28,0
1	0,3	TERMOA	N	27,9
1	0,3	TERMOA	N	27,8
1	0,5	TERMOA	M	27,9
1	0,5	TERMOA	M	27,7
1	0,5	TERMOA	M	27,7
1	0,5	TERMOA	M	27,9
1	0,5	TERMOA	M	28,0
1	0,5	TERMOA	T	28,0
1	0,5	TERMOA	T	28,1
1	0,5	TERMOA	T	28,2
1	0,5	TERMOA	T	28,3
1	0,5	TERMOA	T	28,3
1	0,5	TERMOA	N	28,3

1	0,5	TERMOA	N	28,3
1	0,5	TERMOA	N	28,2
1	0,5	TERMOA	N	28,0
1	0,5	TERMOA	N	27,9
1	0,7	TERMOA	M	28,0
1	0,7	TERMOA	M	27,9
1	0,7	TERMOA	M	27,9
1	0,7	TERMOA	M	28,0
1	0,7	TERMOA	M	28,1
1	0,7	TERMOA	T	28,2
1	0,7	TERMOA	T	28,2
1	0,7	TERMOA	T	28,3
1	0,7	TERMOA	T	28,5
1	0,7	TERMOA	T	28,5
1	0,7	TERMOA	N	28,5
1	0,7	TERMOA	N	28,4
1	0,7	TERMOA	N	28,4
1	0,7	TERMOA	N	28,2
1	0,7	TERMOA	N	28,1
5	0,3	TERMOA	M	27,7
5	0,3	TERMOA	M	27,5
5	0,3	TERMOA	M	27,5
5	0,3	TERMOA	M	27,7
5	0,3	TERMOA	M	27,8
5	0,3	TERMOA	T	27,9
5	0,3	TERMOA	T	27,9
5	0,3	TERMOA	T	28,0
5	0,3	TERMOA	T	28,2
5	0,3	TERMOA	T	28,2
5	0,3	TERMOA	N	28,2
5	0,3	TERMOA	N	28,1
5	0,3	TERMOA	N	28,0
5	0,3	TERMOA	N	27,9
5	0,3	TERMOA	N	27,7
5	0,5	TERMOA	M	27,8
5	0,5	TERMOA	M	27,7
5	0,5	TERMOA	M	27,6
5	0,5	TERMOA	M	27,8
5	0,5	TERMOA	M	27,9
5	0,5	TERMOA	T	28,0
5	0,5	TERMOA	T	28,1
5	0,5	TERMOA	T	28,2
5	0,5	TERMOA	T	28,3
5	0,5	TERMOA	T	28,4
5	0,5	TERMOA	N	28,3

5	0,5	TERMOA	N	28,3
5	0,5	TERMOA	N	28,2
5	0,5	TERMOA	N	28,0
5	0,5	TERMOA	N	27,9
5	0,7	TERMOA	M	28,0
5	0,7	TERMOA	M	27,8
5	0,7	TERMOA	M	27,8
5	0,7	TERMOA	M	27,9
5	0,7	TERMOA	M	28,1
5	0,7	TERMOA	T	28,1
5	0,7	TERMOA	T	28,2
5	0,7	TERMOA	T	28,3
5	0,7	TERMOA	T	28,5
5	0,7	TERMOA	T	28,5
5	0,7	TERMOA	N	28,5
5	0,7	TERMOA	N	28,4
5	0,7	TERMOA	N	28,3
5	0,7	TERMOA	N	28,2
5	0,7	TERMOA	N	28,0

Tabela A.3 - Dados para experimento fatorial com as variáveis analisadas – inverno Curitiba – ambiente sala

ren/h	Absortância (adimensional)	Fechamento	Período	Temperatura (°C)
1	0,3	ACM	M	5,5
1	0,3	ACM	M	5,1
1	0,3	ACM	M	5,5
1	0,3	ACM	M	6,5
1	0,3	ACM	M	7,6
1	0,3	ACM	T	8,0
1	0,3	ACM	T	8,4
1	0,3	ACM	T	8,8
1	0,3	ACM	T	8,9
1	0,3	ACM	T	8,7
1	0,3	ACM	N	7,8
1	0,3	ACM	N	7,1
1	0,3	ACM	N	6,5
1	0,3	ACM	N	6,3
1	0,3	ACM	N	5,7
1	0,5	ACM	M	5,7
1	0,5	ACM	M	5,2
1	0,5	ACM	M	5,7
1	0,5	ACM	M	6,9
1	0,5	ACM	M	8,0
1	0,5	ACM	T	8,3

1	0,5	ACM	T	8,8
1	0,5	ACM	T	9,2
1	0,5	ACM	T	9,4
1	0,5	ACM	T	9,2
1	0,5	ACM	N	8,1
1	0,5	ACM	N	7,4
1	0,5	ACM	N	6,8
1	0,5	ACM	N	6,5
1	0,5	ACM	N	5,9
1	0,7	ACM	M	5,9
1	0,7	ACM	M	5,4
1	0,7	ACM	M	6,0
1	0,7	ACM	M	7,3
1	0,7	ACM	M	8,4
1	0,7	ACM	T	8,8
1	0,7	ACM	T	9,3
1	0,7	ACM	T	9,8
1	0,7	ACM	T	10,0
1	0,7	ACM	T	9,8
1	0,7	ACM	N	8,5
1	0,7	ACM	N	7,7
1	0,7	ACM	N	7,1
1	0,7	ACM	N	6,7
1	0,7	ACM	N	6,1
5	0,3	ACM	M	5,4
5	0,3	ACM	M	5,0
5	0,3	ACM	M	5,4
5	0,3	ACM	M	6,5
5	0,3	ACM	M	7,6
5	0,3	ACM	T	8,0
5	0,3	ACM	T	8,4
5	0,3	ACM	T	8,8
5	0,3	ACM	T	8,9
5	0,3	ACM	T	8,7
5	0,3	ACM	N	7,8
5	0,3	ACM	N	7,1
5	0,3	ACM	N	6,5
5	0,3	ACM	N	6,2
5	0,3	ACM	N	5,7
5	0,5	ACM	M	5,6
5	0,5	ACM	M	5,1
5	0,5	ACM	M	5,6
5	0,5	ACM	M	6,8
5	0,5	ACM	M	7,9
5	0,5	ACM	T	8,3

5	0,5	ACM	T	8,8
5	0,5	ACM	T	9,3
5	0,5	ACM	T	9,5
5	0,5	ACM	T	9,2
5	0,5	ACM	N	8,1
5	0,5	ACM	N	7,3
5	0,5	ACM	N	6,7
5	0,5	ACM	N	6,4
5	0,5	ACM	N	5,9
5	0,7	ACM	M	5,8
5	0,7	ACM	M	5,3
5	0,7	ACM	M	5,9
5	0,7	ACM	M	7,2
5	0,7	ACM	M	8,4
5	0,7	ACM	T	8,8
5	0,7	ACM	T	9,3
5	0,7	ACM	T	9,7
5	0,7	ACM	T	10,0
5	0,7	ACM	T	9,7
5	0,7	ACM	N	8,4
5	0,7	ACM	N	7,7
5	0,7	ACM	N	7,0
5	0,7	ACM	N	6,7
5	0,7	ACM	N	6,1
1	0,3	TERMOA	M	7,3
1	0,3	TERMOA	M	7,1
1	0,3	TERMOA	M	7,1
1	0,3	TERMOA	M	7,2
1	0,3	TERMOA	M	7,3
1	0,3	TERMOA	T	7,4
1	0,3	TERMOA	T	7,4
1	0,3	TERMOA	T	7,5
1	0,3	TERMOA	T	7,6
1	0,3	TERMOA	T	7,7
1	0,3	TERMOA	N	7,7
1	0,3	TERMOA	N	7,6
1	0,3	TERMOA	N	7,5
1	0,3	TERMOA	N	7,5
1	0,3	TERMOA	N	7,4
1	0,5	TERMOA	M	7,5
1	0,5	TERMOA	M	7,3
1	0,5	TERMOA	M	7,3
1	0,5	TERMOA	M	7,4
1	0,5	TERMOA	M	7,5
1	0,5	TERMOA	T	7,6

1	0,5	TERMOA	T	7,6
1	0,5	TERMOA	T	7,7
1	0,5	TERMOA	T	7,8
1	0,5	TERMOA	T	7,9
1	0,5	TERMOA	N	7,9
1	0,5	TERMOA	N	7,8
1	0,5	TERMOA	N	7,7
1	0,5	TERMOA	N	7,7
1	0,5	TERMOA	N	7,6
1	0,7	TERMOA	M	7,7
1	0,7	TERMOA	M	7,5
1	0,7	TERMOA	M	7,4
1	0,7	TERMOA	M	7,5
1	0,7	TERMOA	M	7,7
1	0,7	TERMOA	T	7,7
1	0,7	TERMOA	T	7,8
1	0,7	TERMOA	T	7,9
1	0,7	TERMOA	T	8,0
1	0,7	TERMOA	T	8,1
1	0,7	TERMOA	N	8,1
1	0,7	TERMOA	N	8,0
1	0,7	TERMOA	N	7,9
1	0,7	TERMOA	N	7,9
1	0,7	TERMOA	N	7,8
5	0,3	TERMOA	M	7,2
5	0,3	TERMOA	M	7,0
5	0,3	TERMOA	M	6,9
5	0,3	TERMOA	M	7,1
5	0,3	TERMOA	M	7,2
5	0,3	TERMOA	T	7,3
5	0,3	TERMOA	T	7,4
5	0,3	TERMOA	T	7,4
5	0,3	TERMOA	T	7,6
5	0,3	TERMOA	T	7,6
5	0,3	TERMOA	N	7,6
5	0,3	TERMOA	N	7,5
5	0,3	TERMOA	N	7,4
5	0,3	TERMOA	N	7,4
5	0,3	TERMOA	N	7,3
5	0,5	TERMOA	M	7,3
5	0,5	TERMOA	M	7,1
5	0,5	TERMOA	M	7,1
5	0,5	TERMOA	M	7,2
5	0,5	TERMOA	M	7,4
5	0,5	TERMOA	T	7,4

5	0,5	TERMOA	T	7,5
5	0,5	TERMOA	T	7,6
5	0,5	TERMOA	T	7,8
5	0,5	TERMOA	T	7,8
5	0,5	TERMOA	N	7,8
5	0,5	TERMOA	N	7,7
5	0,5	TERMOA	N	7,6
5	0,5	TERMOA	N	7,6
5	0,5	TERMOA	N	7,4
5	0,7	TERMOA	M	7,5
5	0,7	TERMOA	M	7,3
5	0,7	TERMOA	M	7,2
5	0,7	TERMOA	M	7,4
5	0,7	TERMOA	M	7,5
5	0,7	TERMOA	T	7,6
5	0,7	TERMOA	T	7,7
5	0,7	TERMOA	T	7,8
5	0,7	TERMOA	T	8,0
5	0,7	TERMOA	T	8,0
5	0,7	TERMOA	N	8,0
5	0,7	TERMOA	N	7,9
5	0,7	TERMOA	N	7,8
5	0,7	TERMOA	N	7,8
5	0,7	TERMOA	N	7,6

Tabela A.4 - Dados para experimento fatorial com as variáveis analisadas – verão Manaus – ambiente sala

ren/h	Absortância (adimensional)	Fechamento	Período	Temperatura (°C)
1	0,3	ACM	M	30,1
1	0,3	ACM	M	29,7
1	0,3	ACM	M	30,3
1	0,3	ACM	M	31,4
1	0,3	ACM	M	32,2
1	0,3	ACM	T	32,5
1	0,3	ACM	T	32,9
1	0,3	ACM	T	33,2
1	0,3	ACM	T	33,3
1	0,3	ACM	T	32,9
1	0,3	ACM	N	32,0
1	0,3	ACM	N	31,5
1	0,3	ACM	N	31,0
1	0,3	ACM	N	31,0
1	0,3	ACM	N	30,3
1	0,5	ACM	M	30,5

1	0,5	ACM	M	30,1
1	0,5	ACM	M	30,8
1	0,5	ACM	M	32,3
1	0,5	ACM	M	33,1
1	0,5	ACM	T	33,5
1	0,5	ACM	T	34,0
1	0,5	ACM	T	34,3
1	0,5	ACM	T	34,3
1	0,5	ACM	T	33,8
1	0,5	ACM	N	32,6
1	0,5	ACM	N	32,1
1	0,5	ACM	N	31,6
1	0,5	ACM	N	31,3
1	0,5	ACM	N	30,8
1	0,7	ACM	M	31,0
1	0,7	ACM	M	30,4
1	0,7	ACM	M	31,4
1	0,7	ACM	M	33,2
1	0,7	ACM	M	34,1
1	0,7	ACM	T	34,4
1	0,7	ACM	T	35,0
1	0,7	ACM	T	35,5
1	0,7	ACM	T	35,5
1	0,7	ACM	T	34,7
1	0,7	ACM	N	33,4
1	0,7	ACM	N	32,8
1	0,7	ACM	N	32,2
1	0,7	ACM	N	31,8
1	0,7	ACM	N	31,2
5	0,3	ACM	M	30,0
5	0,3	ACM	M	29,7
5	0,3	ACM	M	30,2
5	0,3	ACM	M	31,3
5	0,3	ACM	M	32,2
5	0,3	ACM	T	32,5
5	0,3	ACM	T	32,9
5	0,3	ACM	T	33,2
5	0,3	ACM	T	33,2
5	0,3	ACM	T	32,8
5	0,3	ACM	N	31,9
5	0,3	ACM	N	31,4
5	0,3	ACM	N	31,0
5	0,3	ACM	N	30,7
5	0,3	ACM	N	30,3
5	0,5	ACM	M	30,4

5	0,5	ACM	M	30,0
5	0,5	ACM	M	30,7
5	0,5	ACM	M	32,2
5	0,5	ACM	M	33,1
5	0,5	ACM	T	33,4
5	0,5	ACM	T	33,9
5	0,5	ACM	T	34,3
5	0,5	ACM	T	34,3
5	0,5	ACM	T	33,7
5	0,5	ACM	N	32,6
5	0,5	ACM	N	32,0
5	0,5	ACM	N	31,5
5	0,5	ACM	N	31,2
5	0,5	ACM	N	30,7
5	0,7	ACM	M	30,8
5	0,7	ACM	M	30,3
5	0,7	ACM	M	31,3
5	0,7	ACM	M	33,1
5	0,7	ACM	M	34,0
5	0,7	ACM	T	34,3
5	0,7	ACM	T	34,9
5	0,7	ACM	T	35,4
5	0,7	ACM	T	35,4
5	0,7	ACM	T	34,6
5	0,7	ACM	N	33,3
5	0,7	ACM	N	32,6
5	0,7	ACM	N	32,0
5	0,7	ACM	N	31,7
5	0,7	ACM	N	31,1
1	0,3	TERMOA	M	31,2
1	0,3	TERMOA	M	31,1
1	0,3	TERMOA	M	31,0
1	0,3	TERMOA	M	31,2
1	0,3	TERMOA	M	31,4
1	0,3	TERMOA	T	31,4
1	0,3	TERMOA	T	31,5
1	0,3	TERMOA	T	31,5
1	0,3	TERMOA	T	31,6
1	0,3	TERMOA	T	31,6
1	0,3	TERMOA	N	31,6
1	0,3	TERMOA	N	31,6
1	0,3	TERMOA	N	31,5
1	0,3	TERMOA	N	31,4
1	0,3	TERMOA	N	31,3
1	0,5	TERMOA	M	31,6

1	0,5	TERMOA	M	31,4
1	0,5	TERMOA	M	31,4
1	0,5	TERMOA	M	31,6
1	0,5	TERMOA	M	31,7
1	0,5	TERMOA	T	31,8
1	0,5	TERMOA	T	31,8
1	0,5	TERMOA	T	31,9
1	0,5	TERMOA	T	32,0
1	0,5	TERMOA	T	32,0
1	0,5	TERMOA	N	32,0
1	0,5	TERMOA	N	32,0
1	0,5	TERMOA	N	31,9
1	0,5	TERMOA	N	31,8
1	0,5	TERMOA	N	31,6
1	0,7	TERMOA	M	31,9
1	0,7	TERMOA	M	31,8
1	0,7	TERMOA	M	31,7
1	0,7	TERMOA	M	31,9
1	0,7	TERMOA	M	32,0
1	0,7	TERMOA	T	32,1
1	0,7	TERMOA	T	32,2
1	0,7	TERMOA	T	32,3
1	0,7	TERMOA	T	32,4
1	0,7	TERMOA	T	32,5
1	0,7	TERMOA	N	32,5
1	0,7	TERMOA	N	32,4
1	0,7	TERMOA	N	32,3
1	0,7	TERMOA	N	32,2
1	0,7	TERMOA	N	32,0
5	0,3	TERMOA	M	31,1
5	0,3	TERMOA	M	31,0
5	0,3	TERMOA	M	31,0
5	0,3	TERMOA	M	31,2
5	0,3	TERMOA	M	31,3
5	0,3	TERMOA	T	31,4
5	0,3	TERMOA	T	31,4
5	0,3	TERMOA	T	31,5
5	0,3	TERMOA	T	31,6
5	0,3	TERMOA	T	31,6
5	0,3	TERMOA	N	31,6
5	0,3	TERMOA	N	31,6
5	0,3	TERMOA	N	31,5
5	0,3	TERMOA	N	31,3
5	0,3	TERMOA	N	31,2
5	0,5	TERMOA	M	31,5

5	0,5	TERMOA	M	31,3
5	0,5	TERMOA	M	31,3
5	0,5	TERMOA	M	31,5
5	0,5	TERMOA	M	31,6
5	0,5	TERMOA	T	31,7
5	0,5	TERMOA	T	31,7
5	0,5	TERMOA	T	31,8
5	0,5	TERMOA	T	32,0
5	0,5	TERMOA	T	32,0
5	0,5	TERMOA	N	32,0
5	0,5	TERMOA	N	31,9
5	0,5	TERMOA	N	31,8
5	0,5	TERMOA	N	31,7
5	0,5	TERMOA	N	31,6
5	0,7	TERMOA	M	31,8
5	0,7	TERMOA	M	31,6
5	0,7	TERMOA	M	31,6
5	0,7	TERMOA	M	31,8
5	0,7	TERMOA	M	31,9
5	0,7	TERMOA	T	32,0
5	0,7	TERMOA	T	32,1
5	0,7	TERMOA	T	32,2
5	0,7	TERMOA	T	32,3
5	0,7	TERMOA	T	32,4
5	0,7	TERMOA	N	32,4
5	0,7	TERMOA	N	32,3
5	0,7	TERMOA	N	32,2
5	0,7	TERMOA	N	32,1
5	0,7	TERMOA	N	31,9

Nas figuras A.1 a A.40 apresenta-se a evolução temporal da temperatura para as zonas bioclimáticas ZB1, ZB3 e ZB8, para um dia típico de inverno e verão, para os ambiente sala e quarto (Figuras 22 e 23) considerando a variação na absorvância, na taxa de renovação de ar e sem sombreamento.

Figura A.1 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB1, 1ren/h, ambiente Sala – Painéis ACM

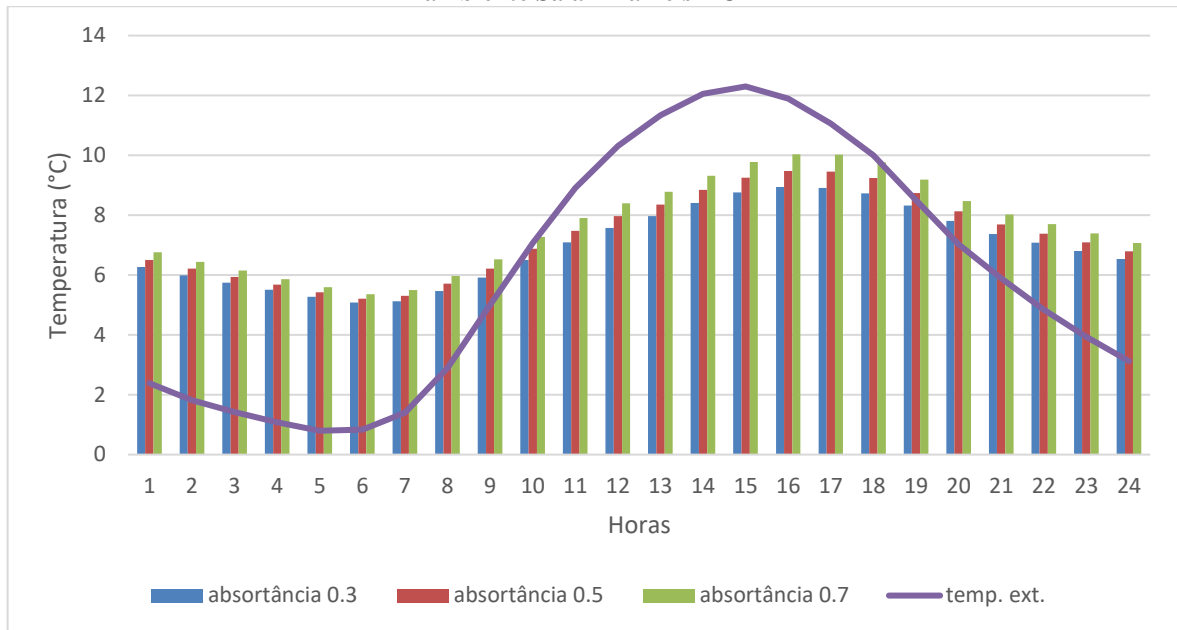


Figura A.2 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB1, 5ren/h, ambiente Sala – Painéis ACM

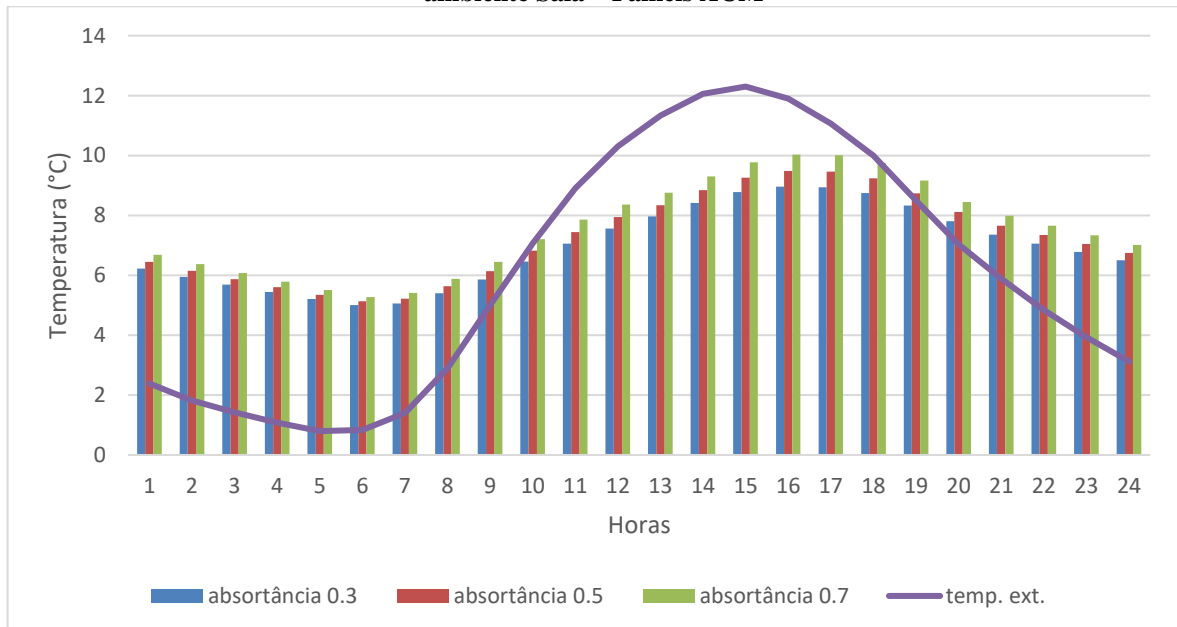


Figura A.3 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB1, 1ren/h, ambiente Quarto – Painéis ACM

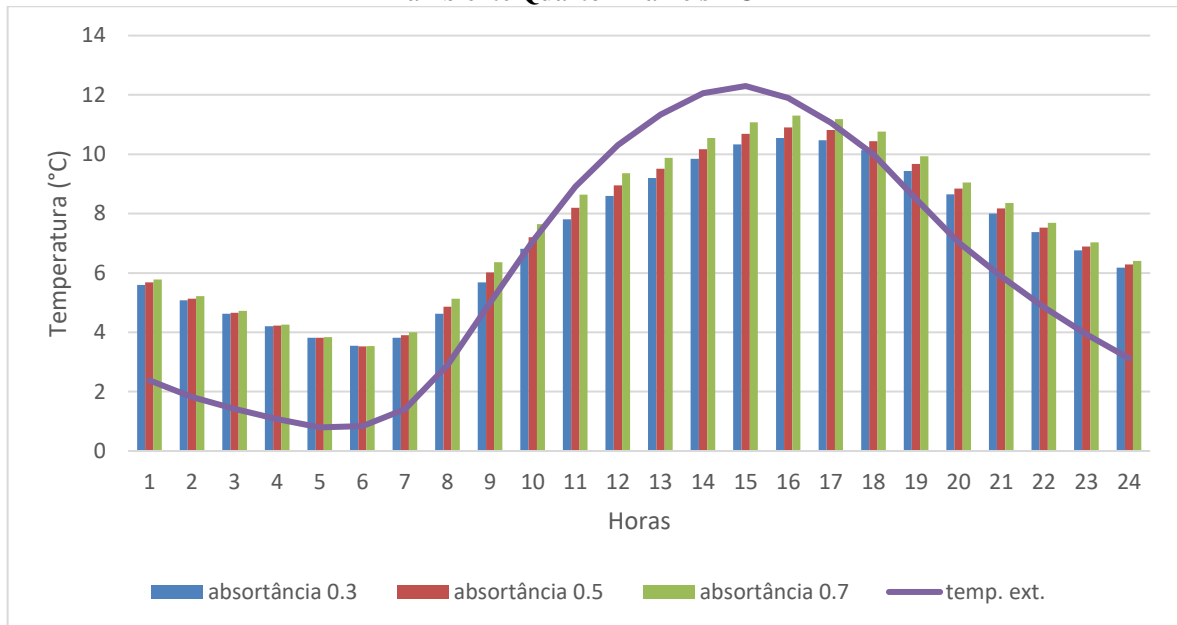


Figura A.4 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB1, 5ren/h, ambiente Quarto – Painéis ACM

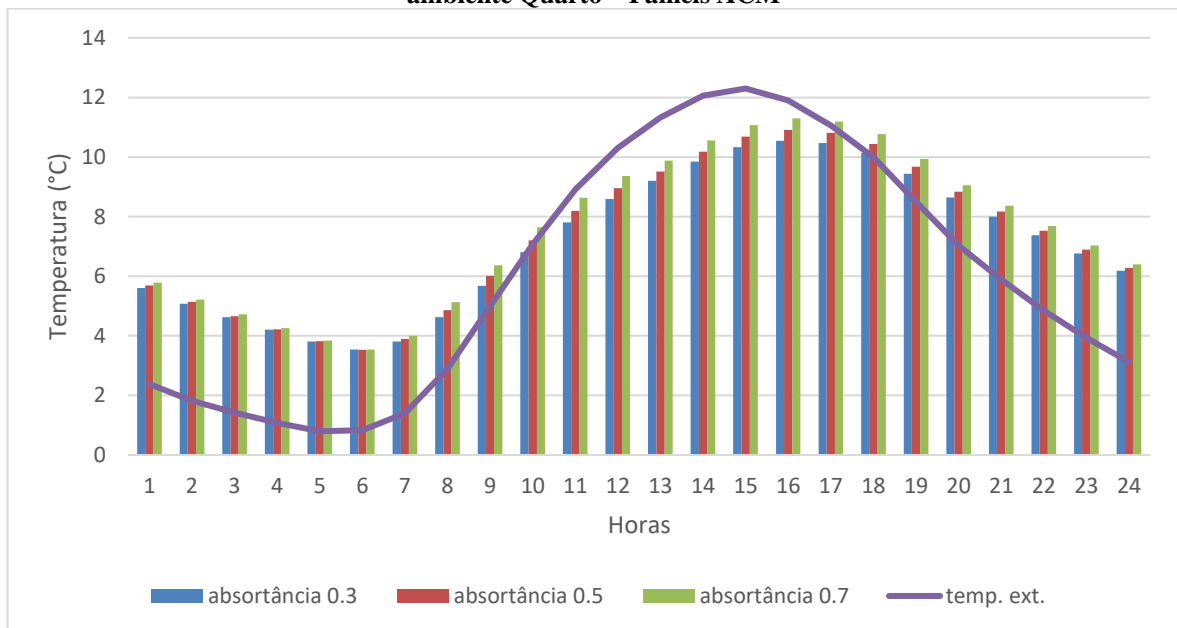


Figura A.5 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB1, 1ren/h, ambiente Sala – Painéis ACM

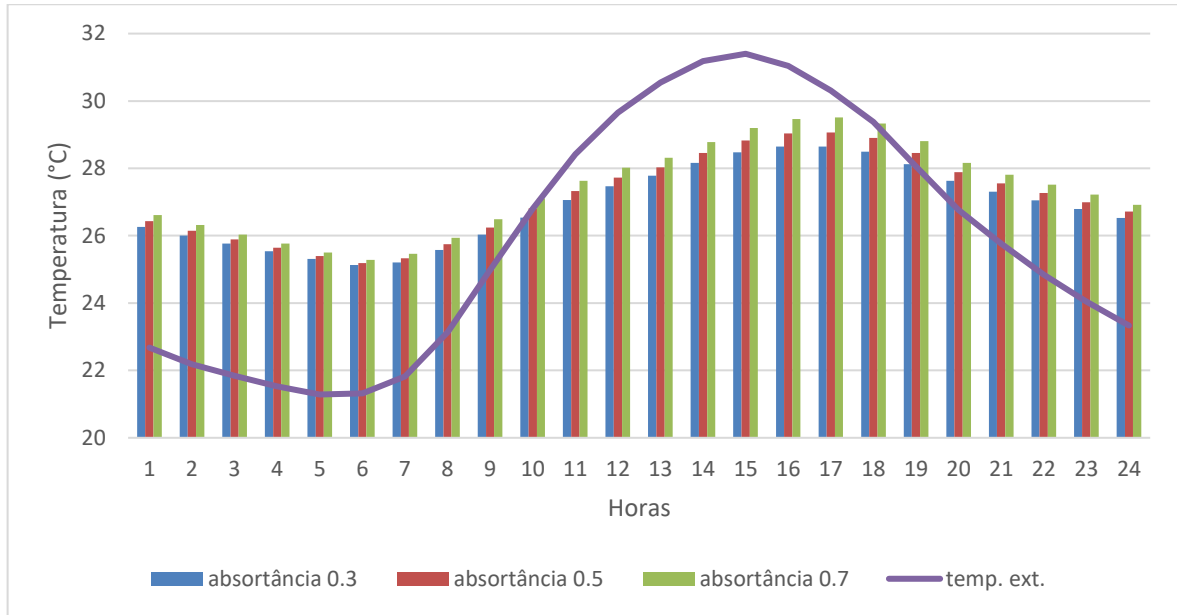


Figura A.6 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB1, 5ren/h, ambiente Sala – Painéis ACM

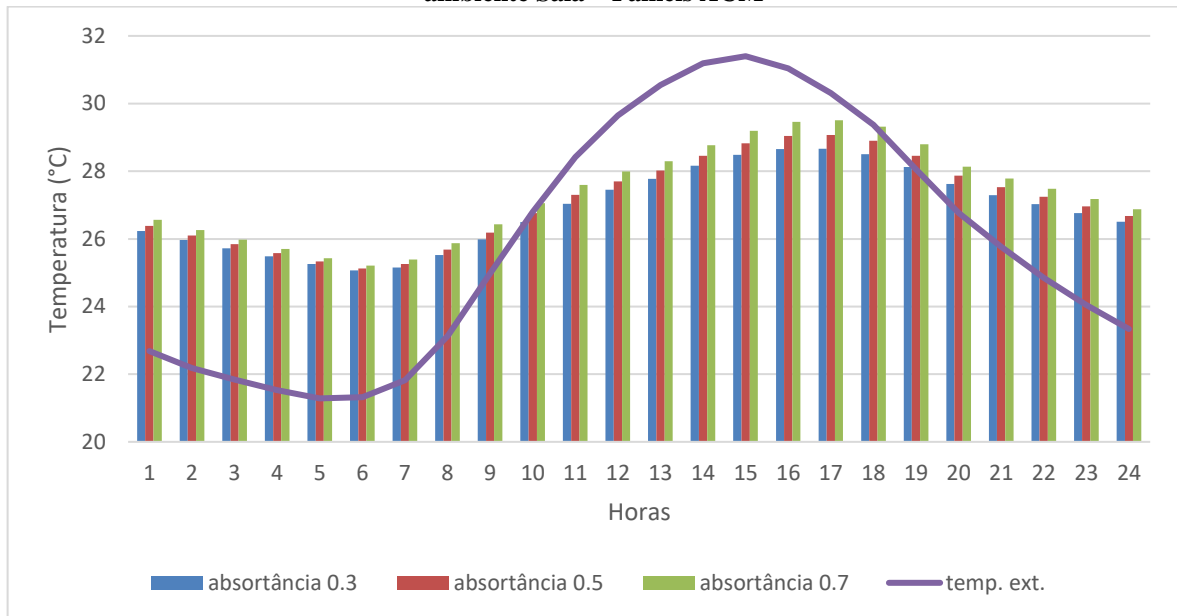


Figura A.7 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB1, 1ren/h, ambiente Quarto – Painéis ACM

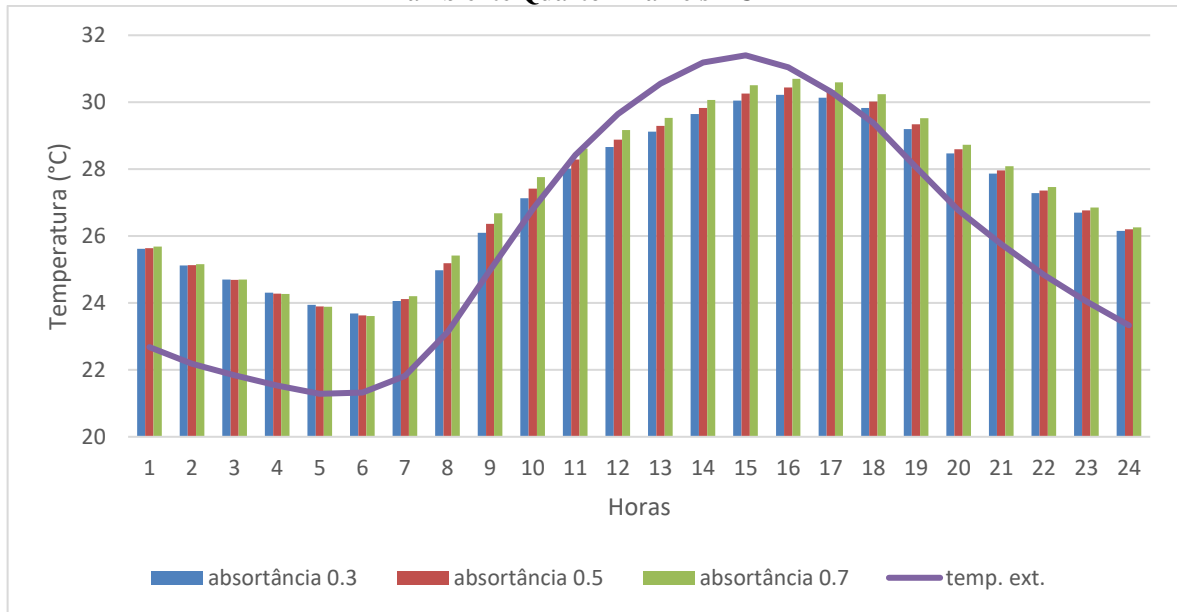


Figura A.8 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB1, 5ren/h, ambiente Quarto – Painéis ACM

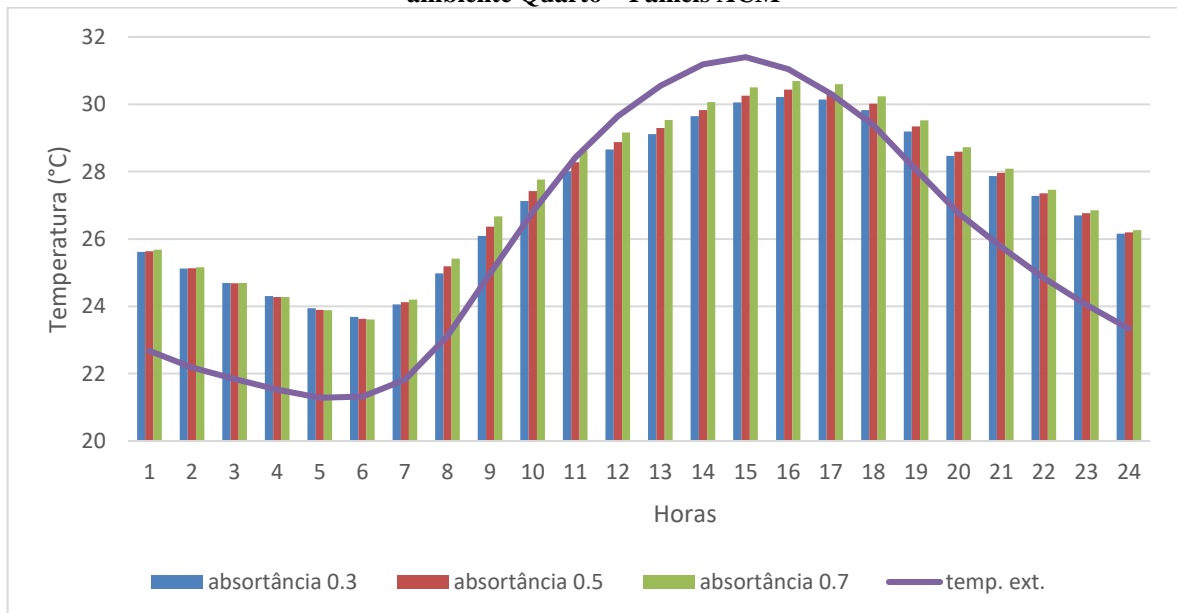


Figura A.9 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB3, 1ren/h, ambiente Sala - Painéis ACM

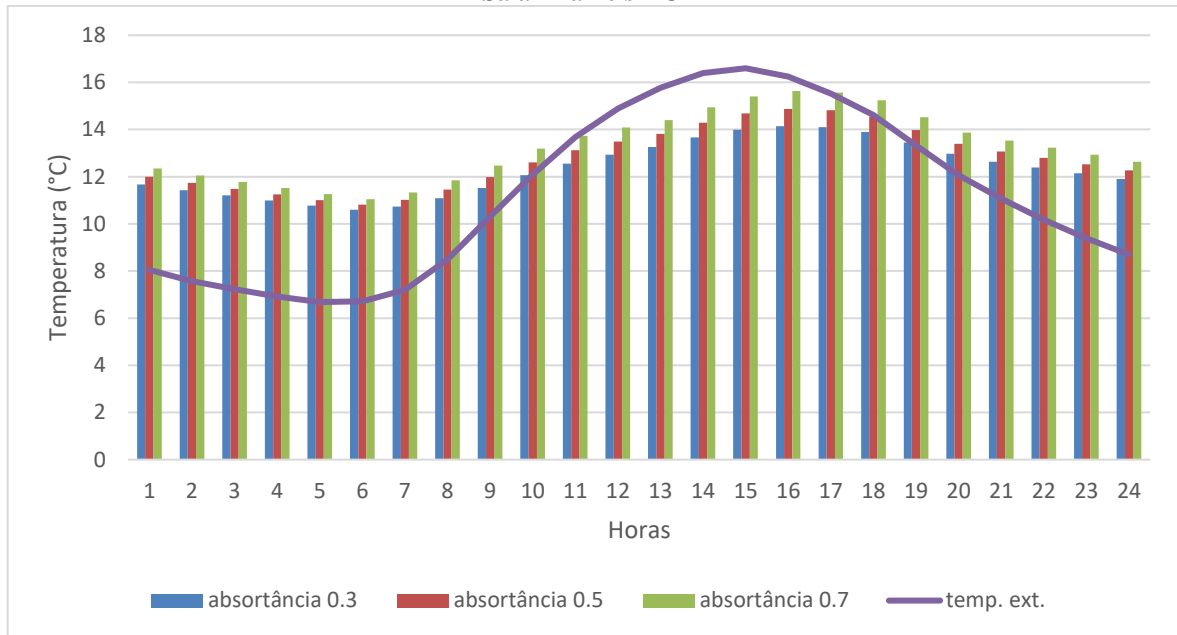


Figura A.10- Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB3, 5 ren/h, ambiente Sala - Painéis ACM.

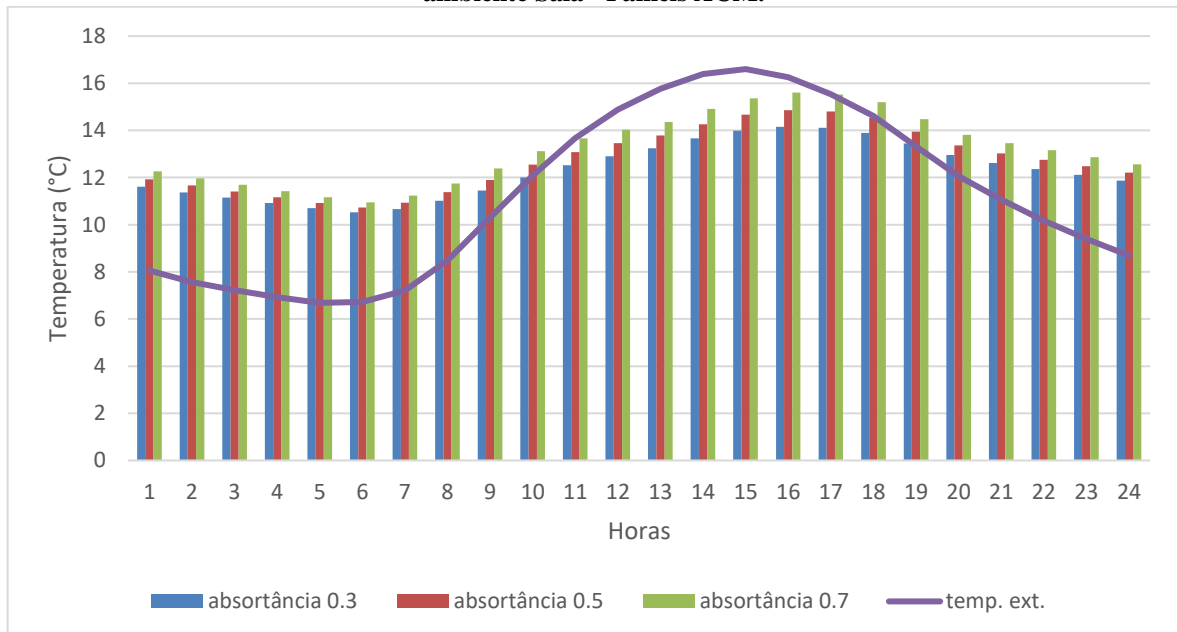


Figura A.11- Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB3, 1 ren/h, ambiente Quarto - Painéis ACM

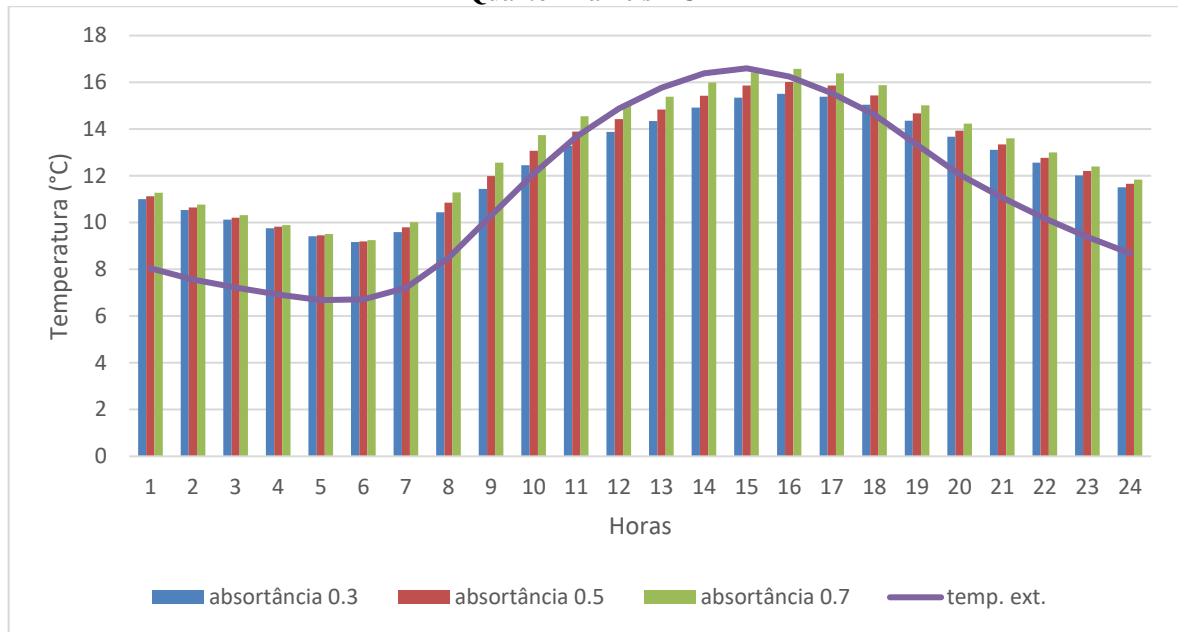


Figura A.12 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB3, 5 ren/h, ambiente Quarto - Painéis ACM

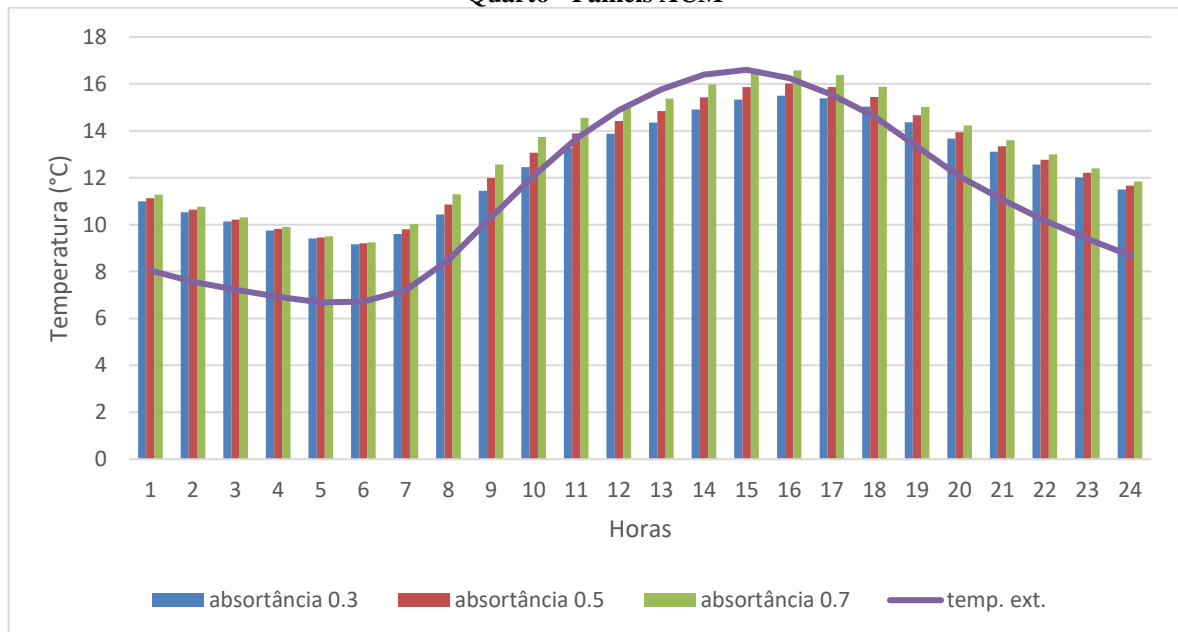


Figura A.13 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB3, 1ren/h, ambiente Sala - Painéis ACM

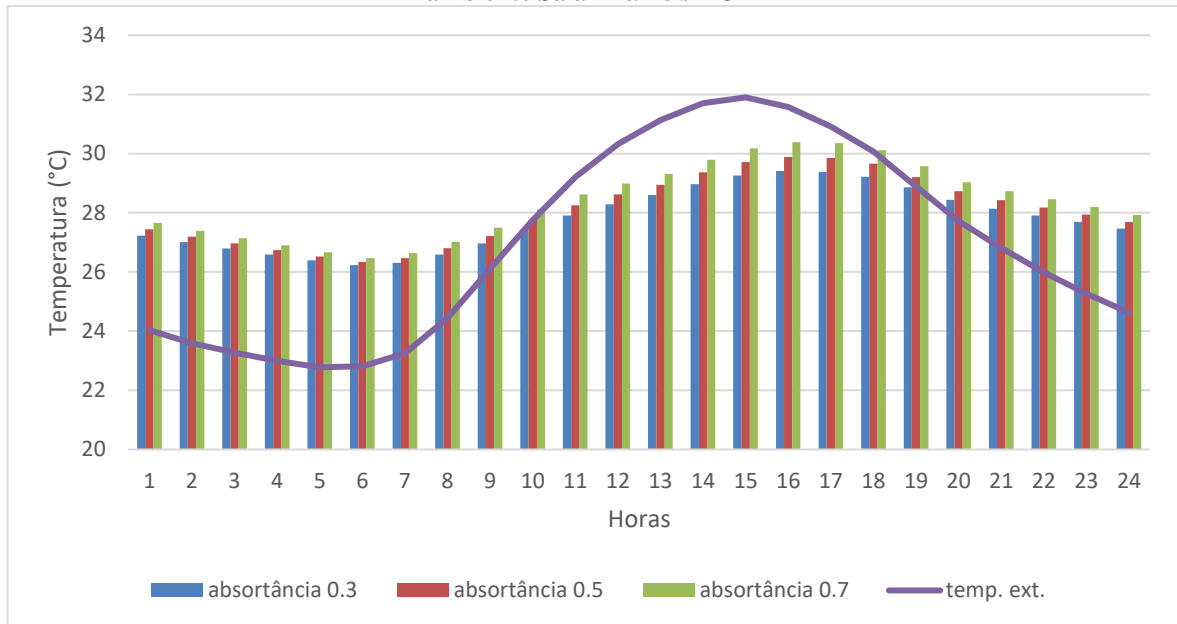


Figura A.14- Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB3, 5 ren/h, ambiente Sala - Painéis ACM.

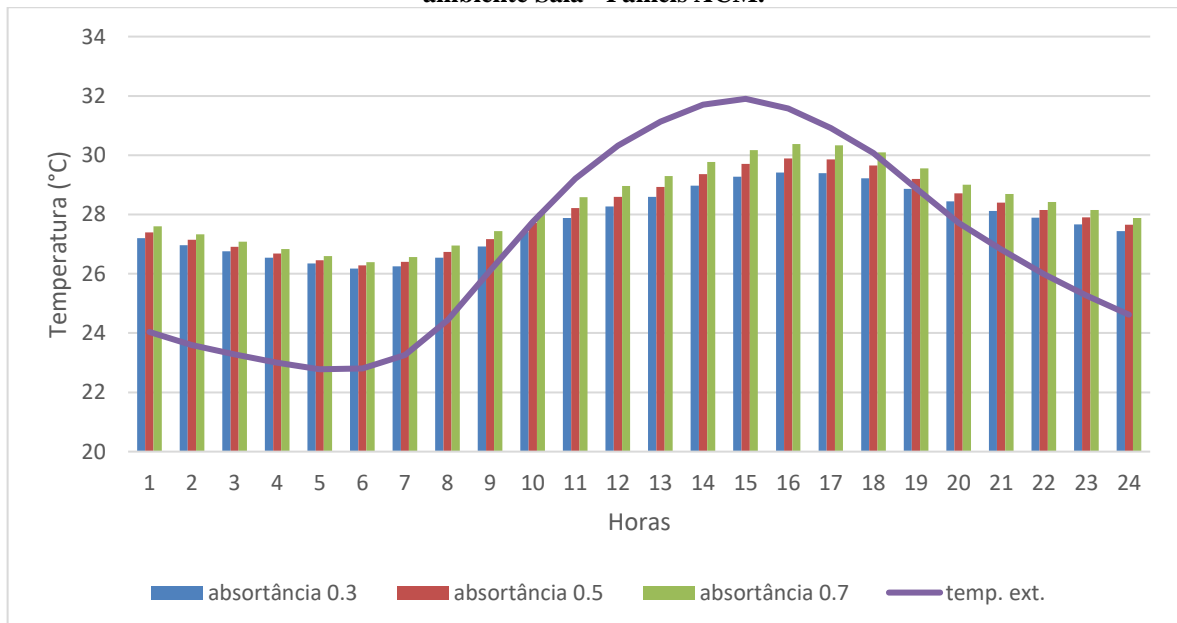


Figura A.15- Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB3, 1 ren/h, ambiente Quarto - Painéis ACM

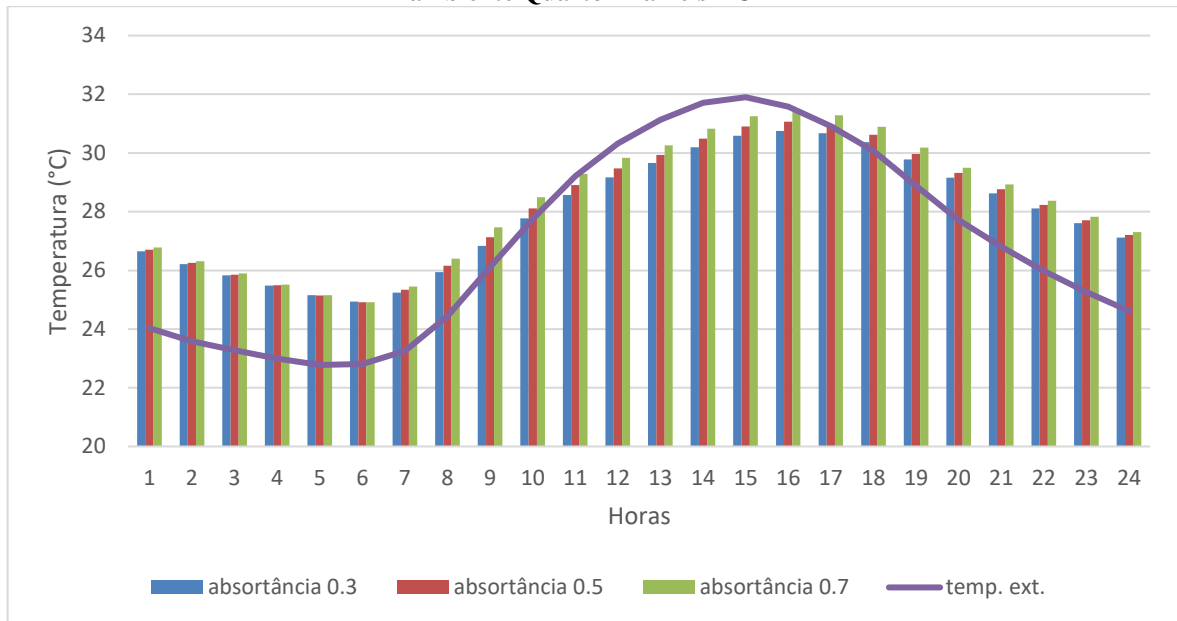


Figura A.16 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB3, 5 ren/h, ambiente Quarto - Painéis ACM

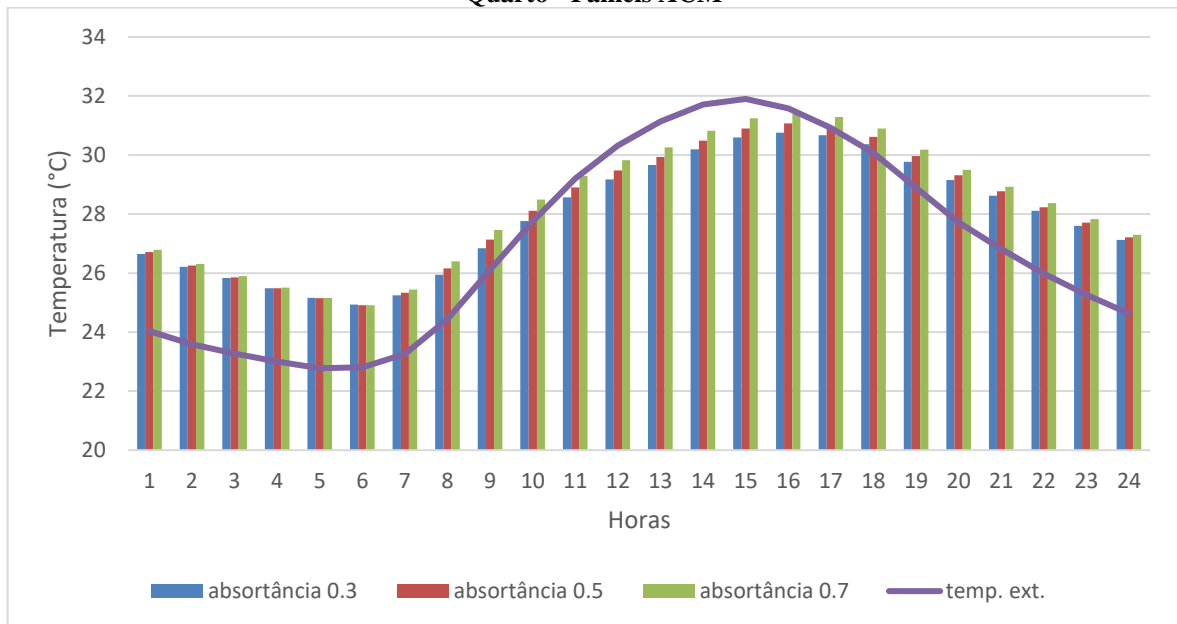


Figura A.17 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB8, 1ren/h, ambiente Sala - Painéis ACM

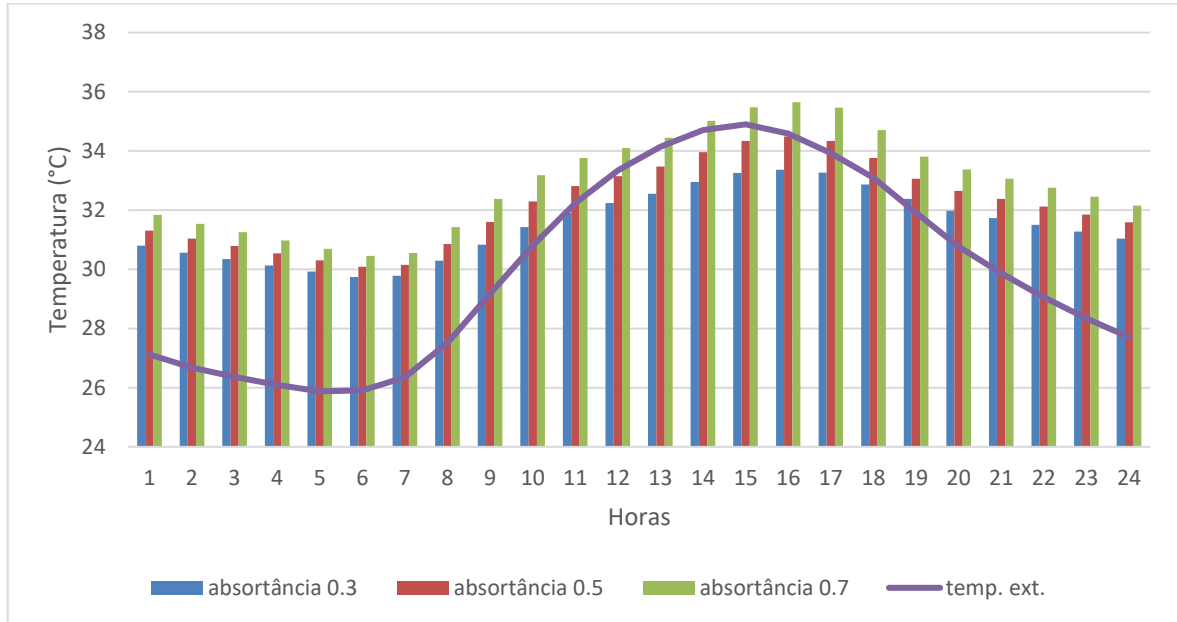


Figura A.18 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB8, 5ren/h, ambiente Sala - Painéis ACM

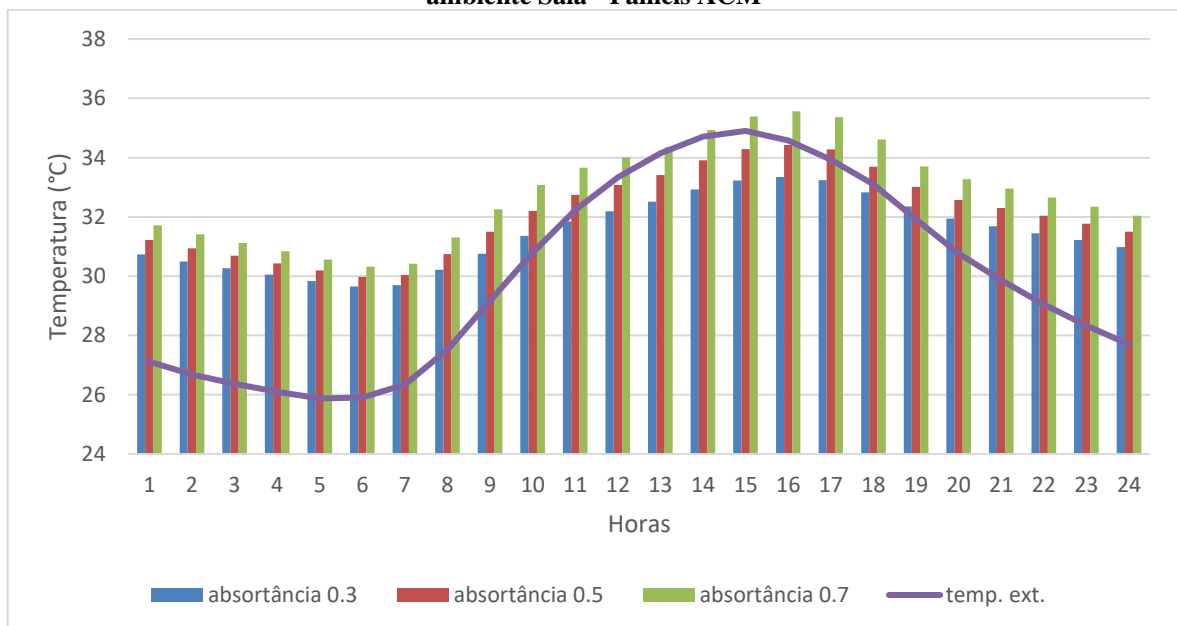


Figura A.19 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB8, 1 ren/h, ambiente Quarto - Painéis ACM

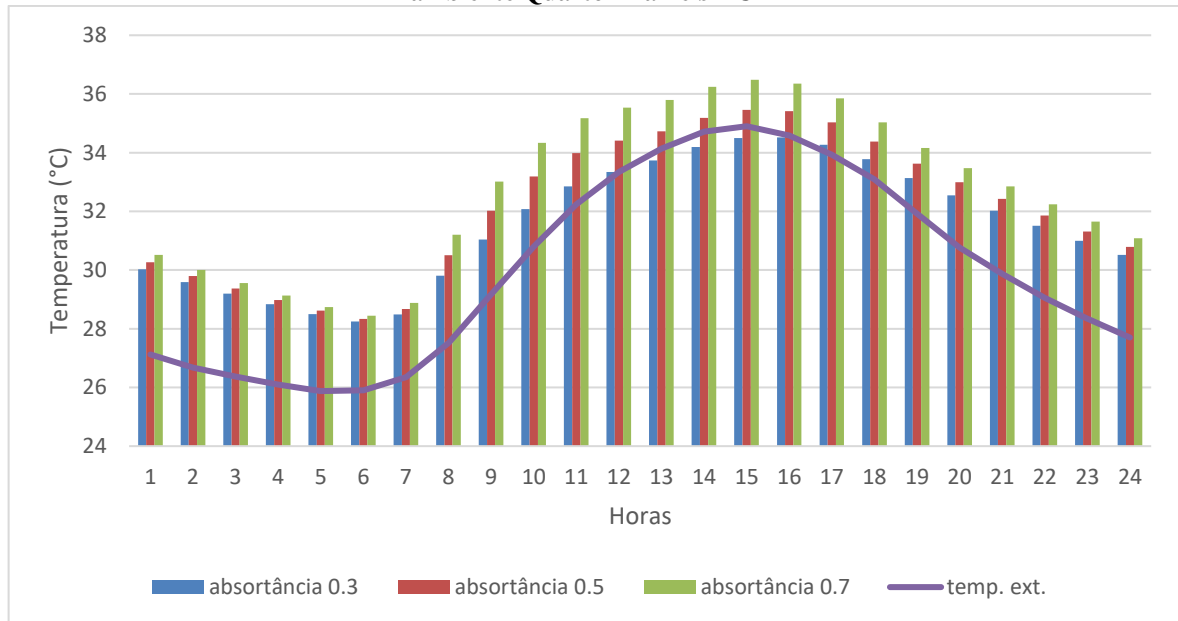


Figura A.20- Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB8, 5 ren/h, ambiente Quarto - Painéis ACM

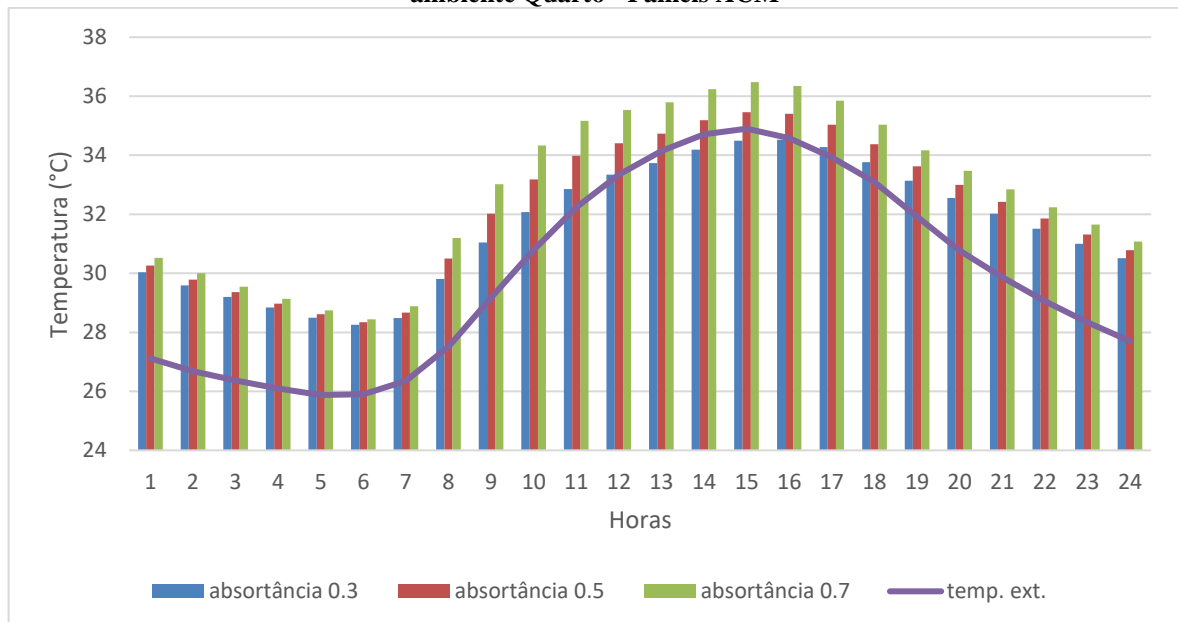


Figura A.21 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB1, 1ren/h, ambiente Sala – Painéis Telha Termoacústica

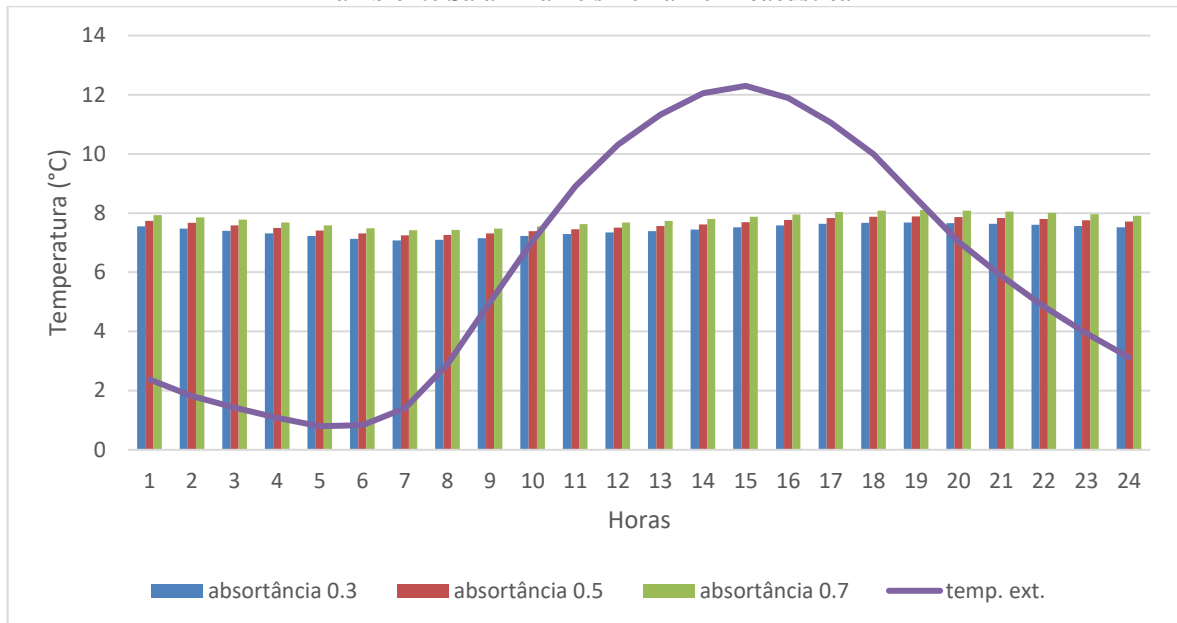


Figura A.22 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB1, 5ren/h, ambiente Sala – Painéis Telha Termoacústica

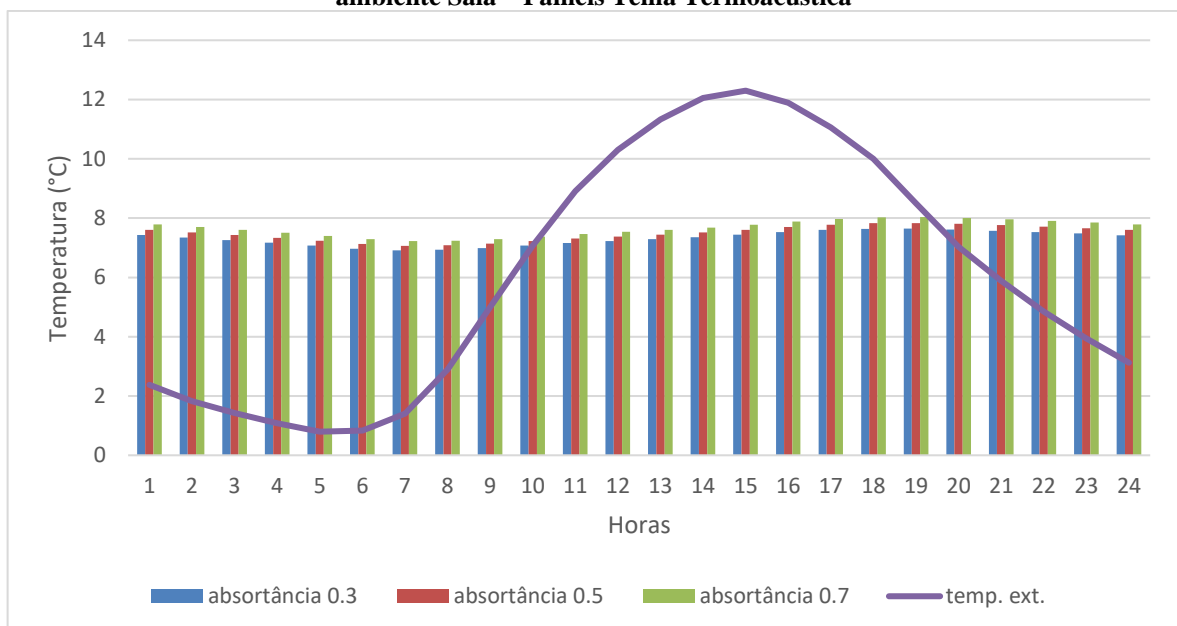


Figura A.23 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB1, 1ren/h, ambiente Quarto – Painéis Telha Termoacústica

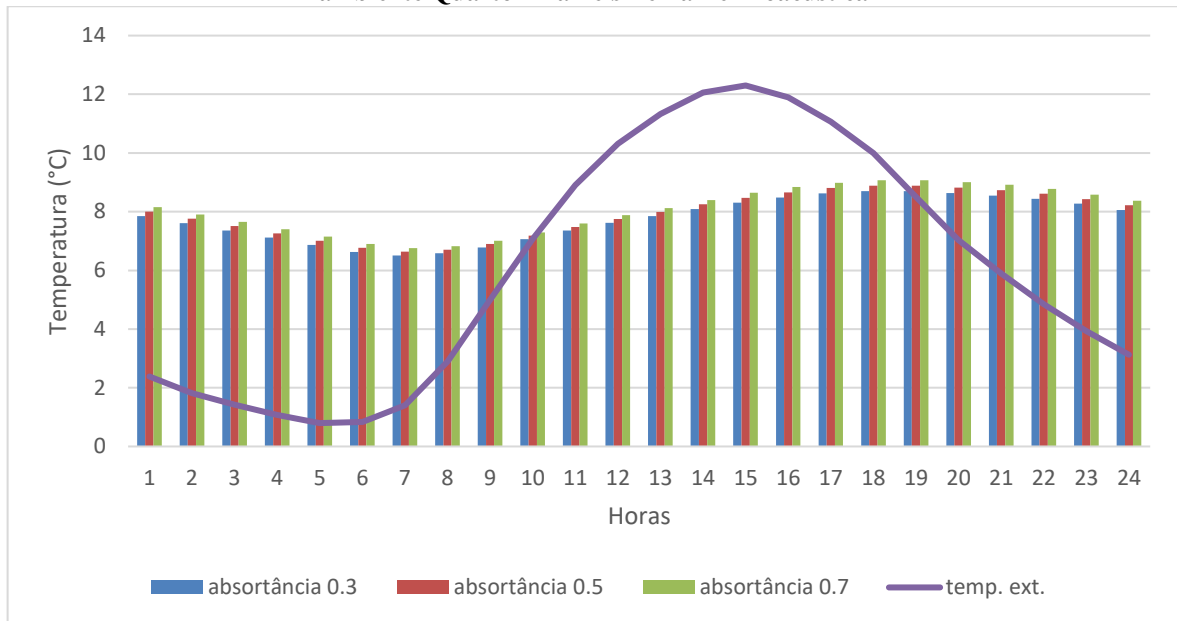


Figura A.24 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB1, 5ren/h, ambiente Quarto – Painéis Telha Termoacústica

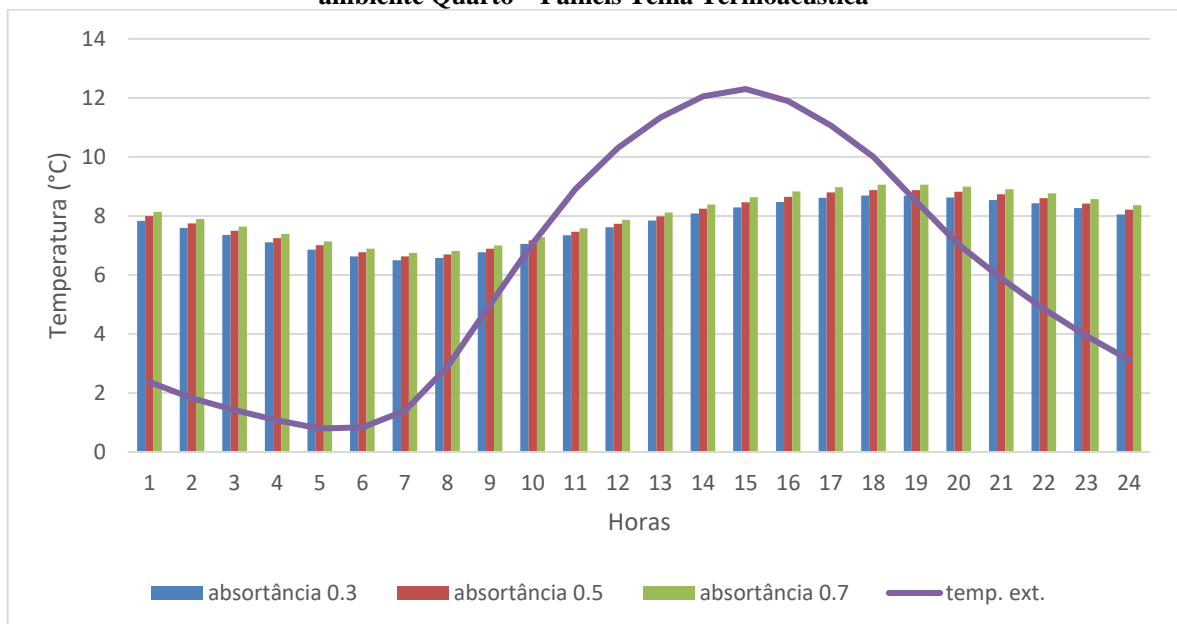


Figura A.25 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB1, 1ren/h, ambiente Sala – Painéis Telha Termoacústica

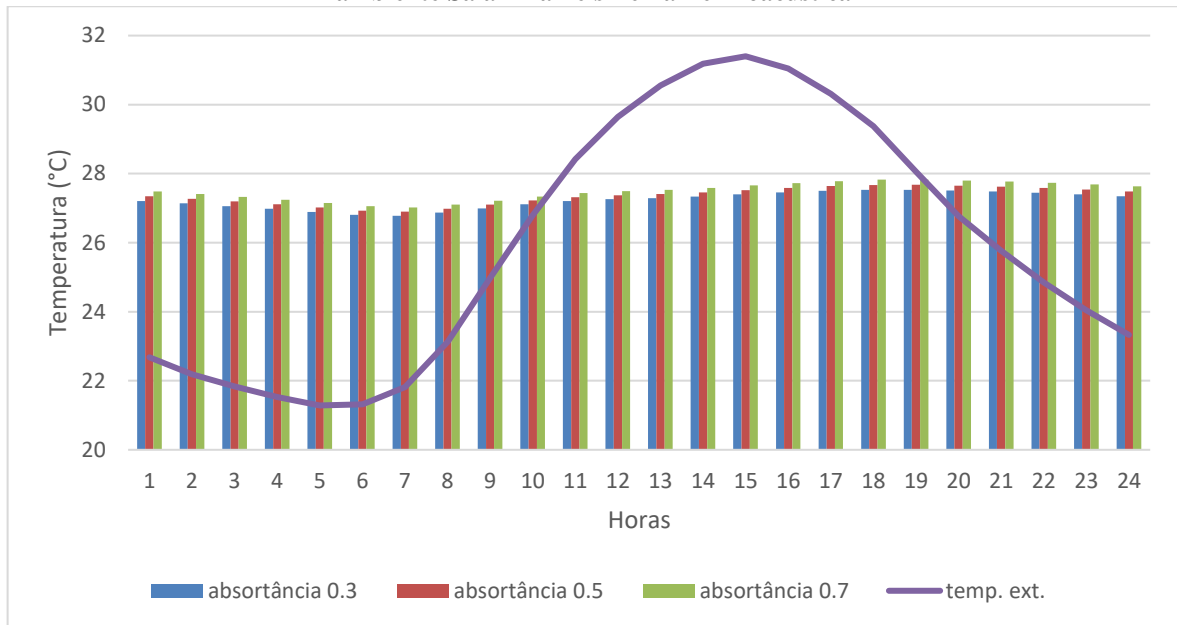


Figura A.26 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB1, 5ren/h, ambiente Sala – Painéis Telha Termoacústica

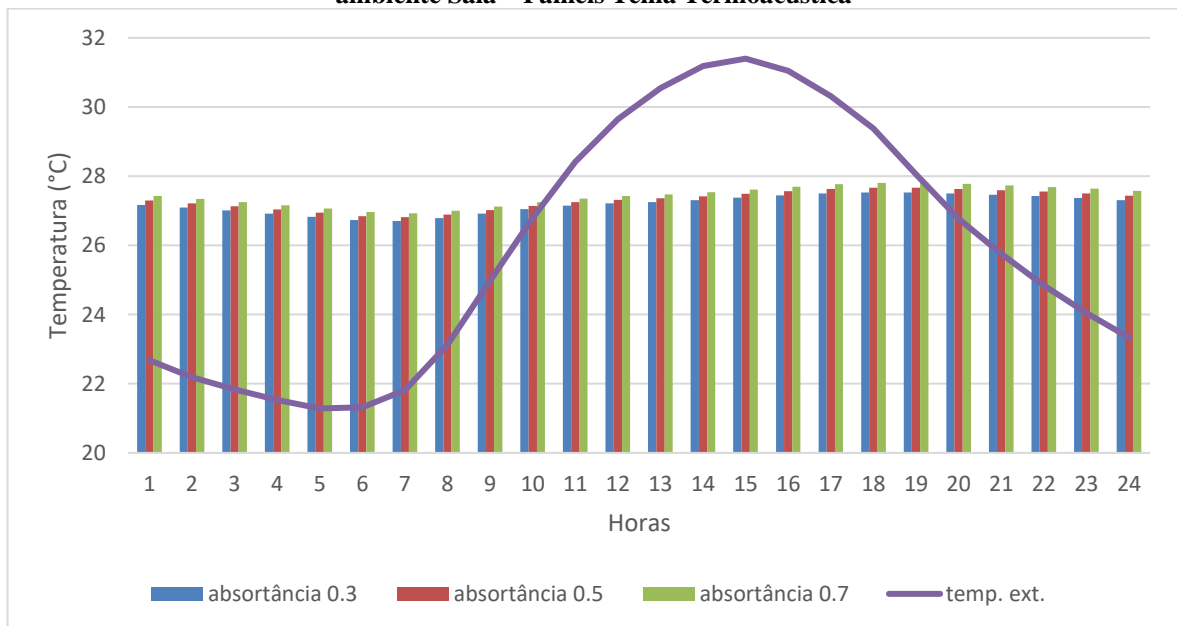


Figura A.27 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB1, 1ren/h, ambiente Quarto – Painéis Telha Termoacústica

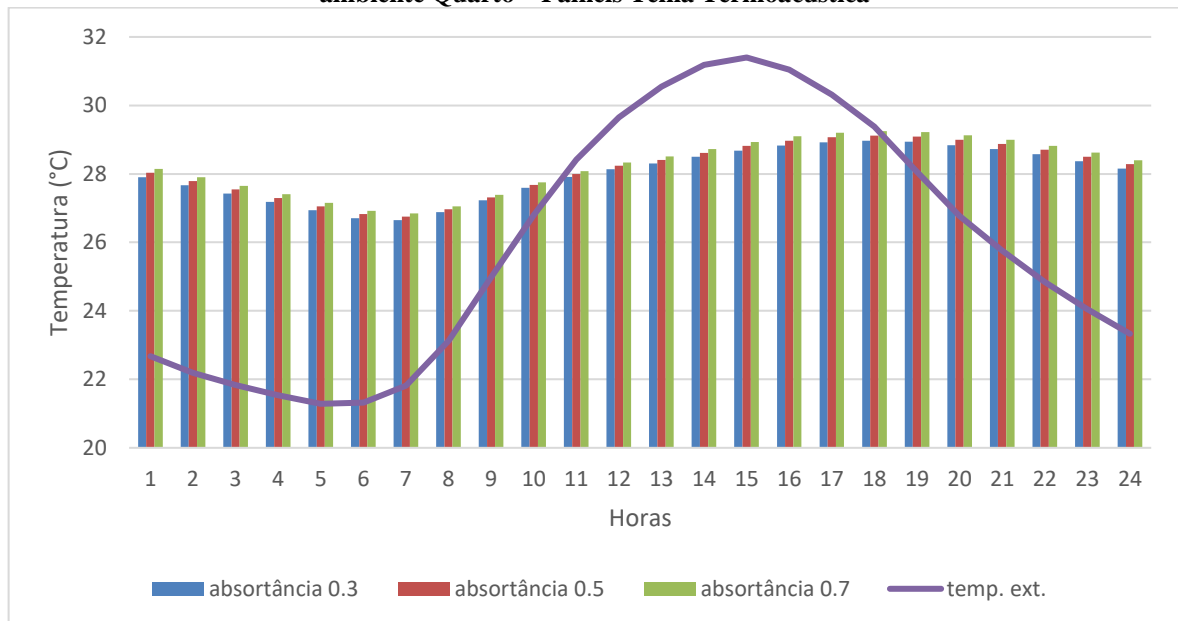


Figura A.28 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB1, 5ren/h, ambiente Quarto – Painéis Telha Termoacústica

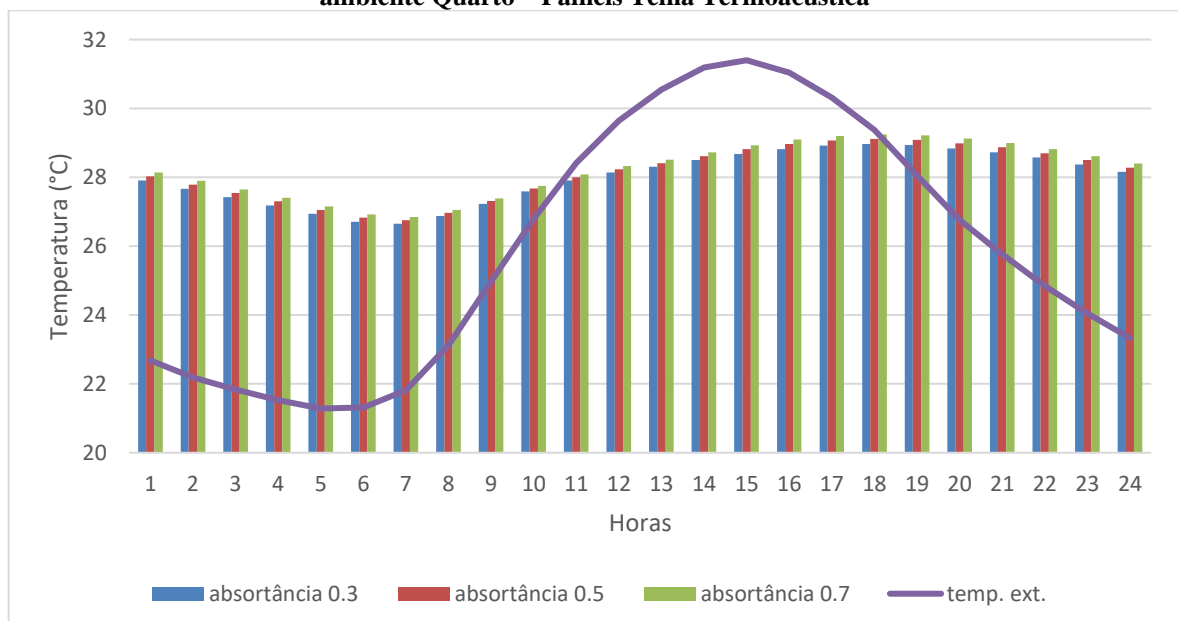


Figura A.29 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB3, 1ren/h, ambiente Sala - Painéis Telha Termoacústica

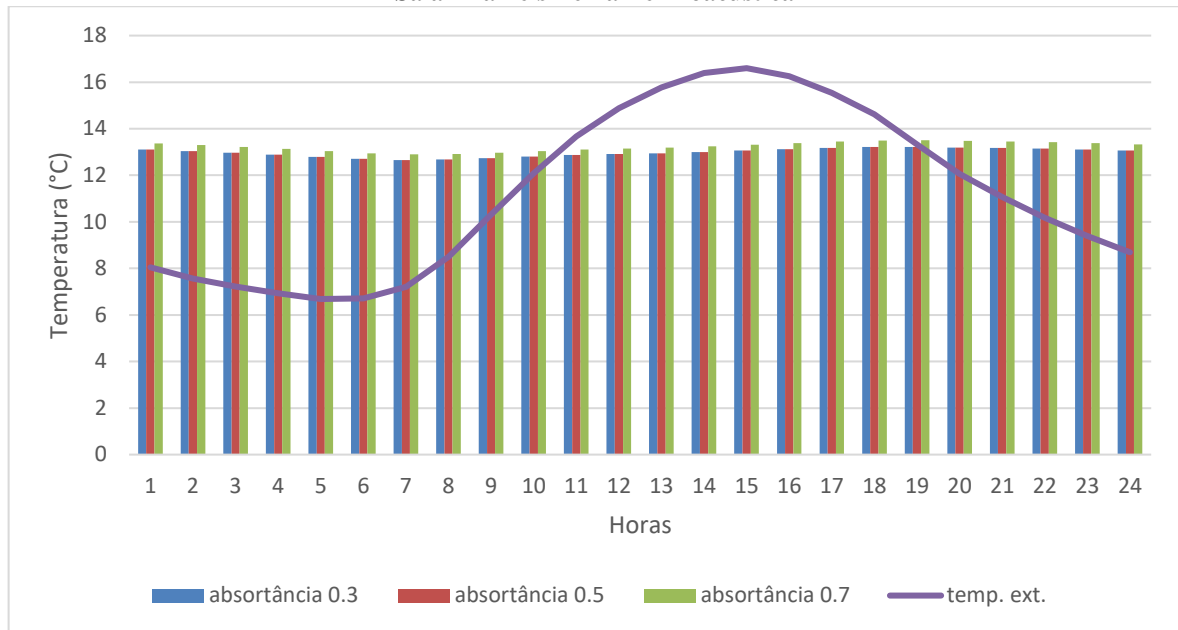


Figura A.30- Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB3, 5 ren/h, ambiente Sala - Painéis Telha Termoacústica

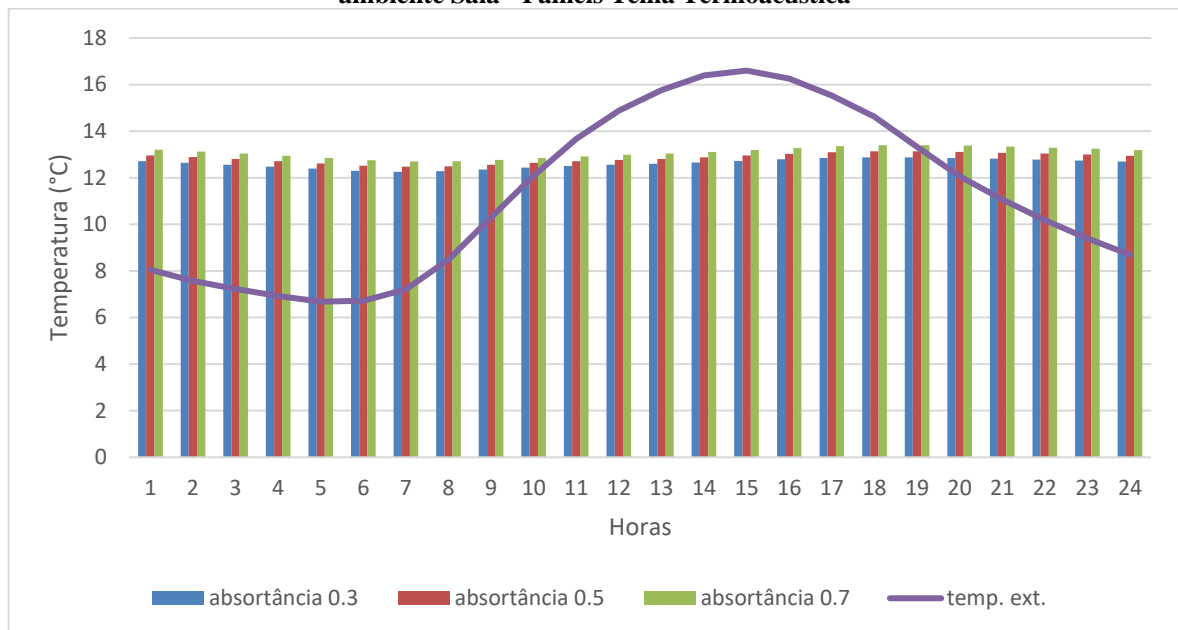


Figura A.31- Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB3, 1 ren/h, ambiente Quarto - Painéis Telha Termoacústica

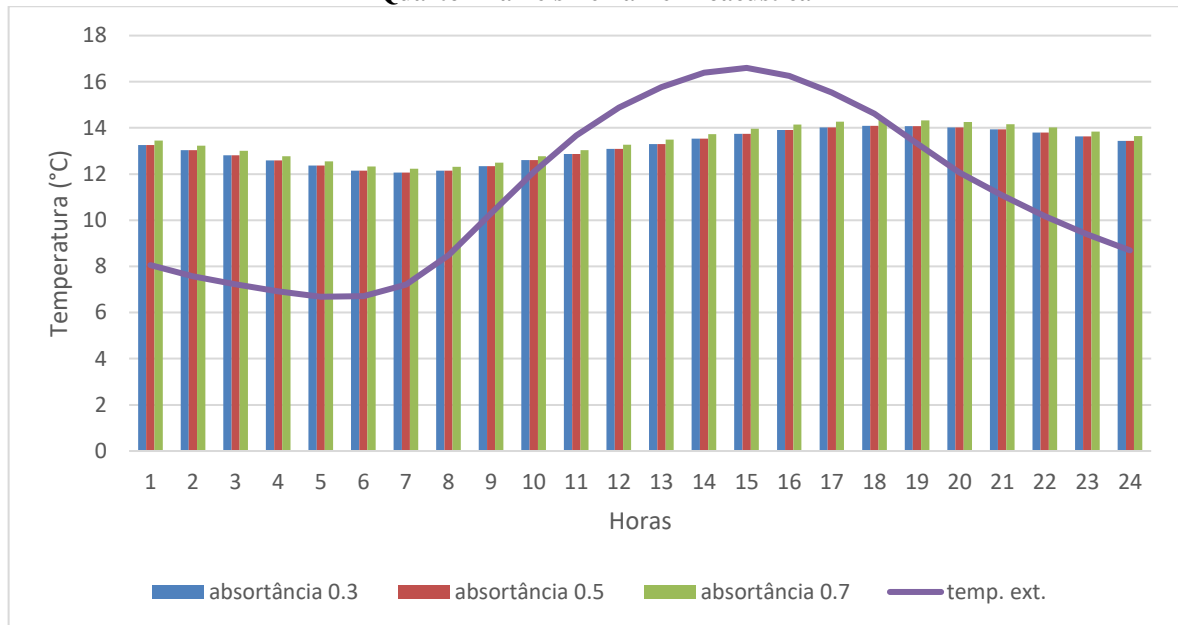


Figura A.32 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB3, 5 ren/h, ambiente Quarto - Painéis Telha Termoacústica

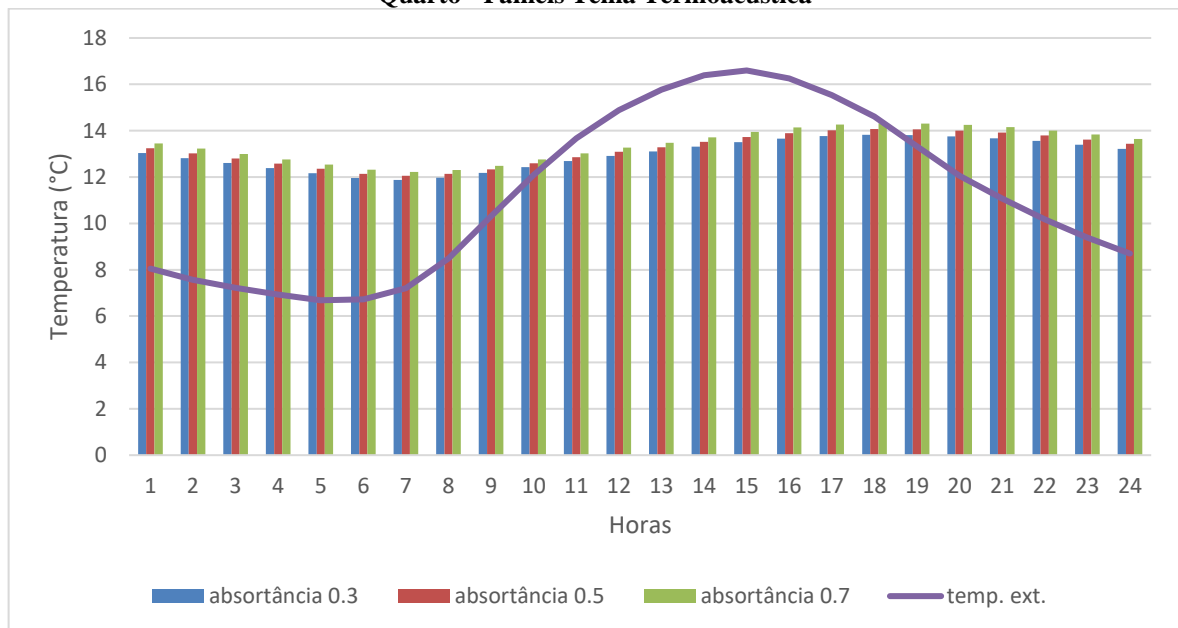


Figura A.33 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB3, 1ren/h, ambiente Sala - Painéis Telha Termoacústica

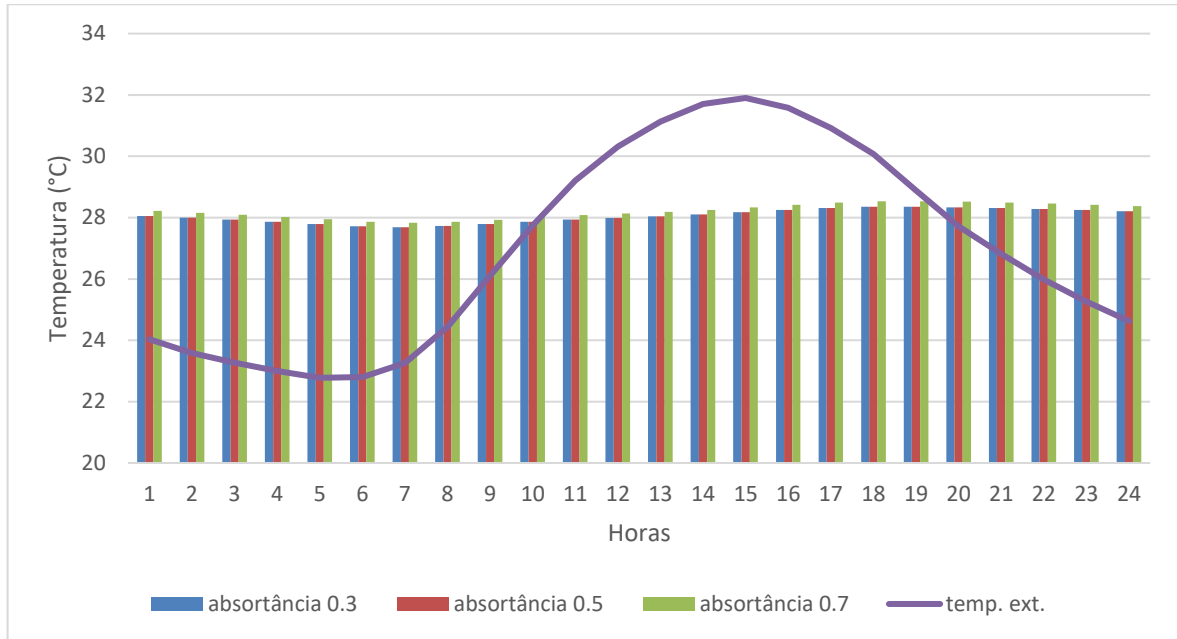


Figura A.34- Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB3, 5 ren/h, ambiente Sala - Painéis Telha Termoacústica

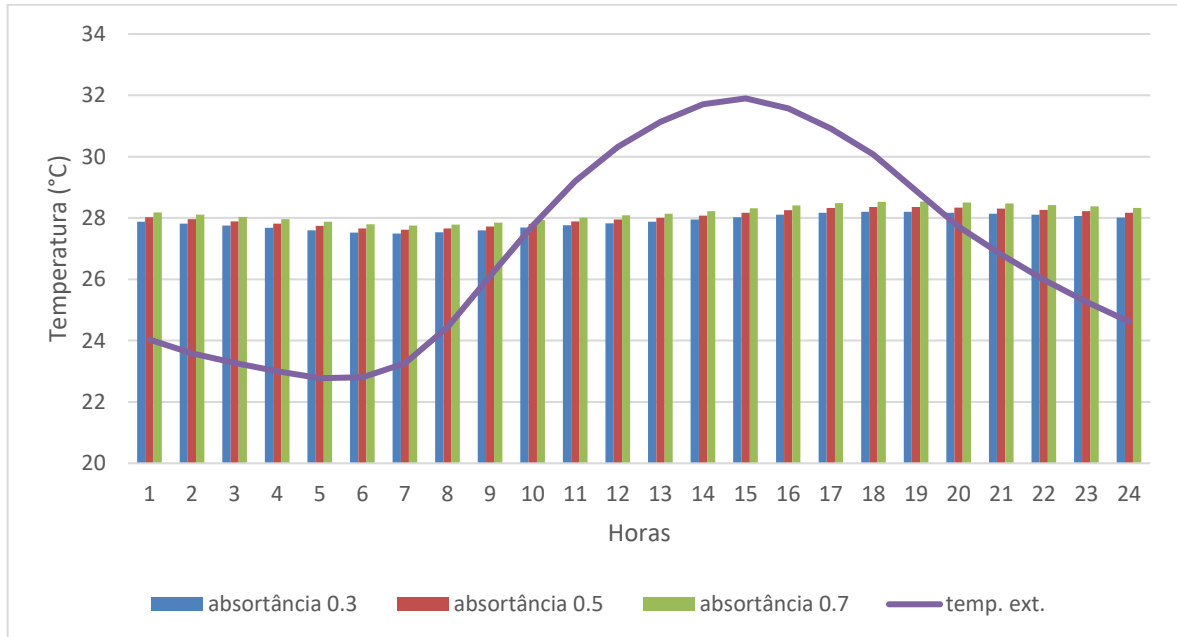


Figura A.35- Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB3, 1 ren/h, ambiente Quarto - Painéis Telha Termoacústica

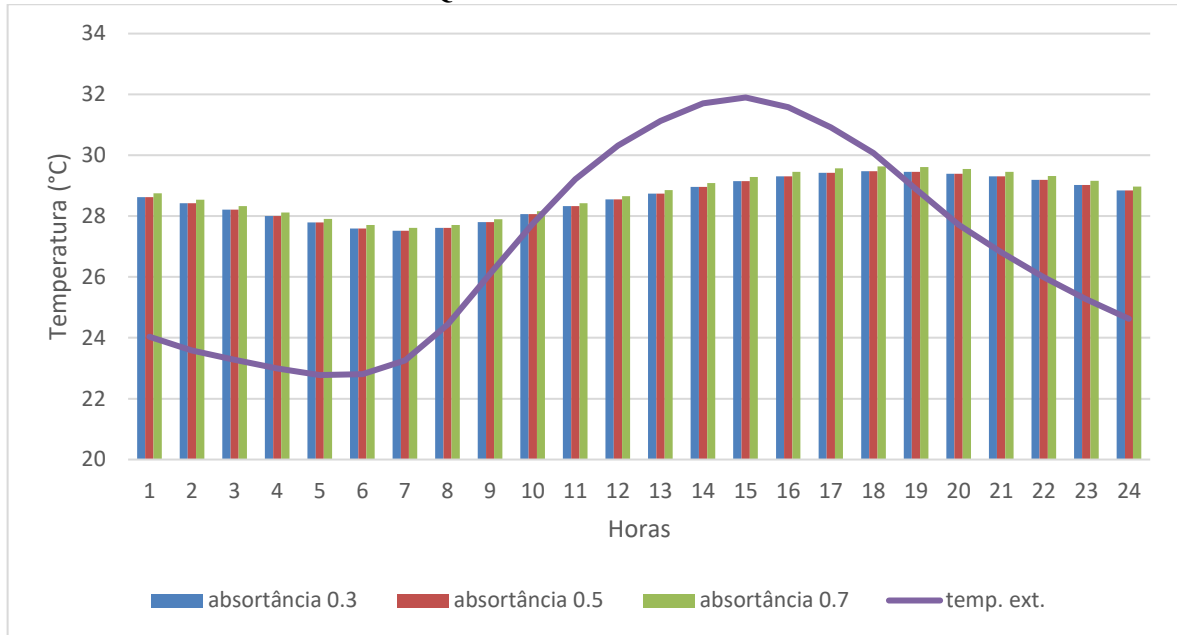


Figura A.36 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB3, 5 ren/h, ambiente Quarto - Painéis Telha Termoacústica

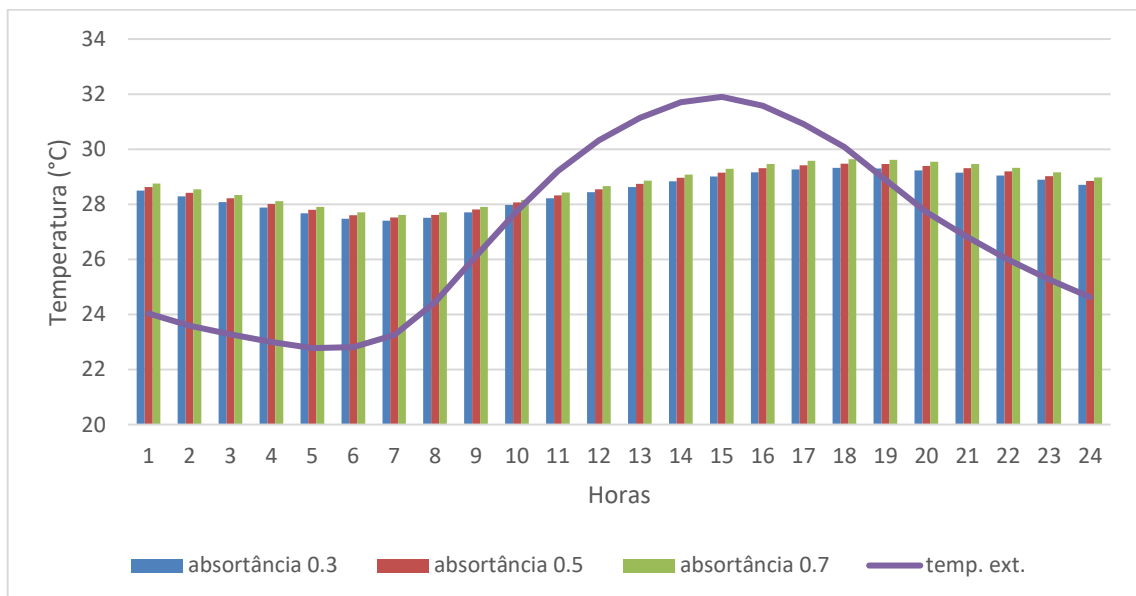


Figura A.37 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB8, 1ren/h, ambiente Sala - Painéis Telha Termoacústica

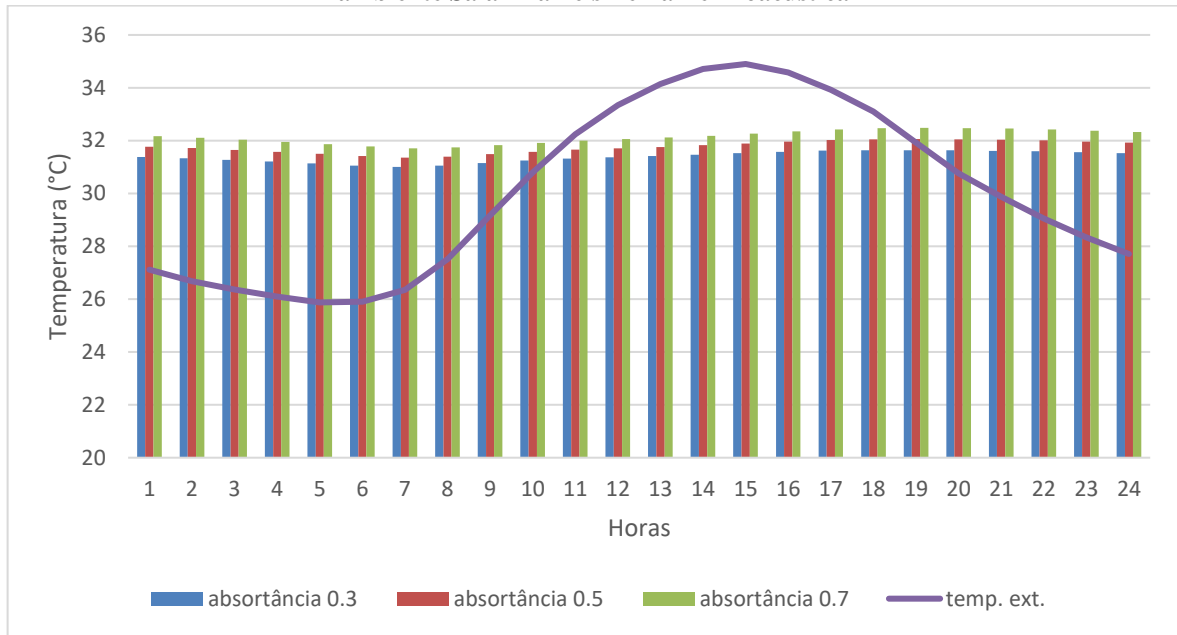


Figura A.38 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB8, 5ren/h, ambiente Sala - Painéis Telha Termoacústica

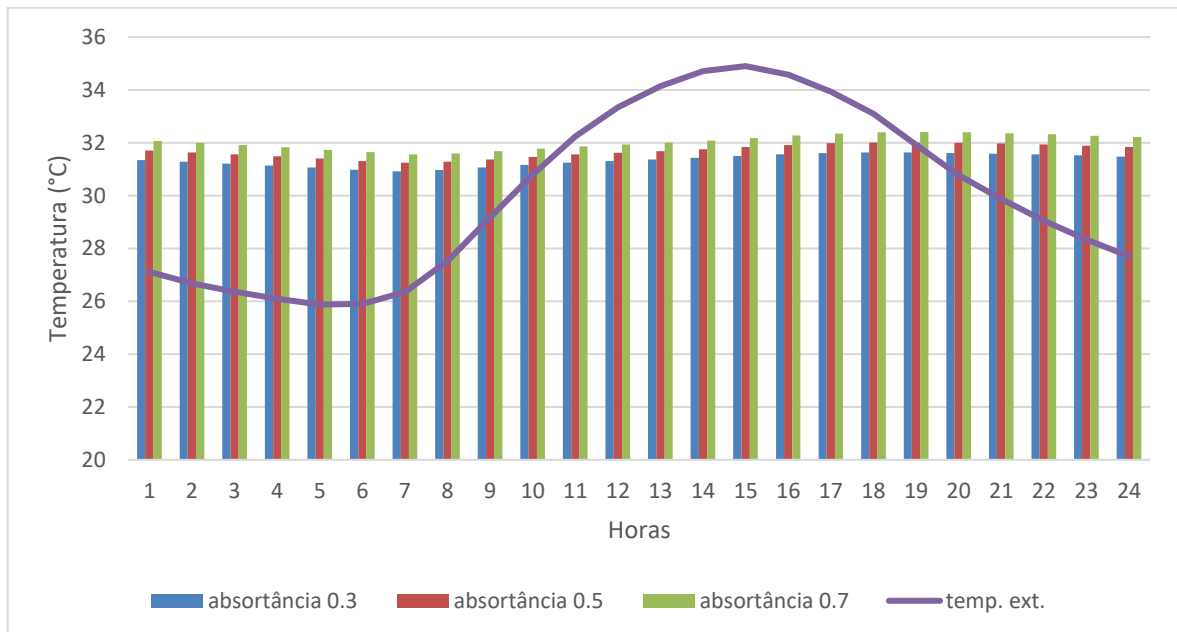


Figura A.39 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB8, 1 ren/h, ambiente Quarto - Painéis Telha Termoacústica

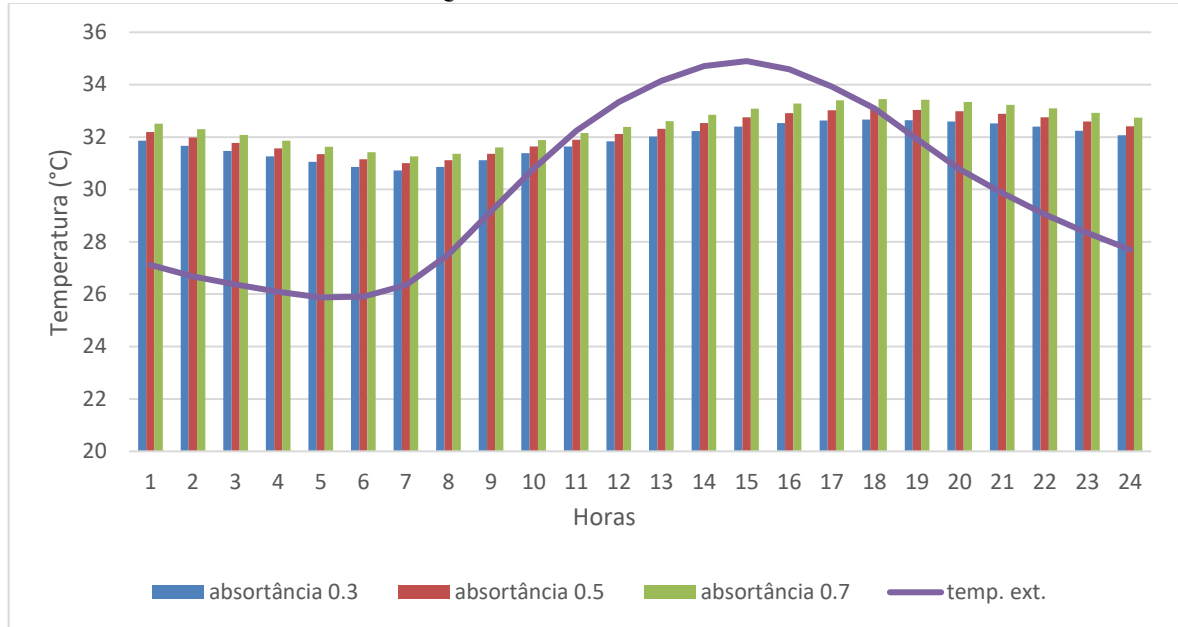
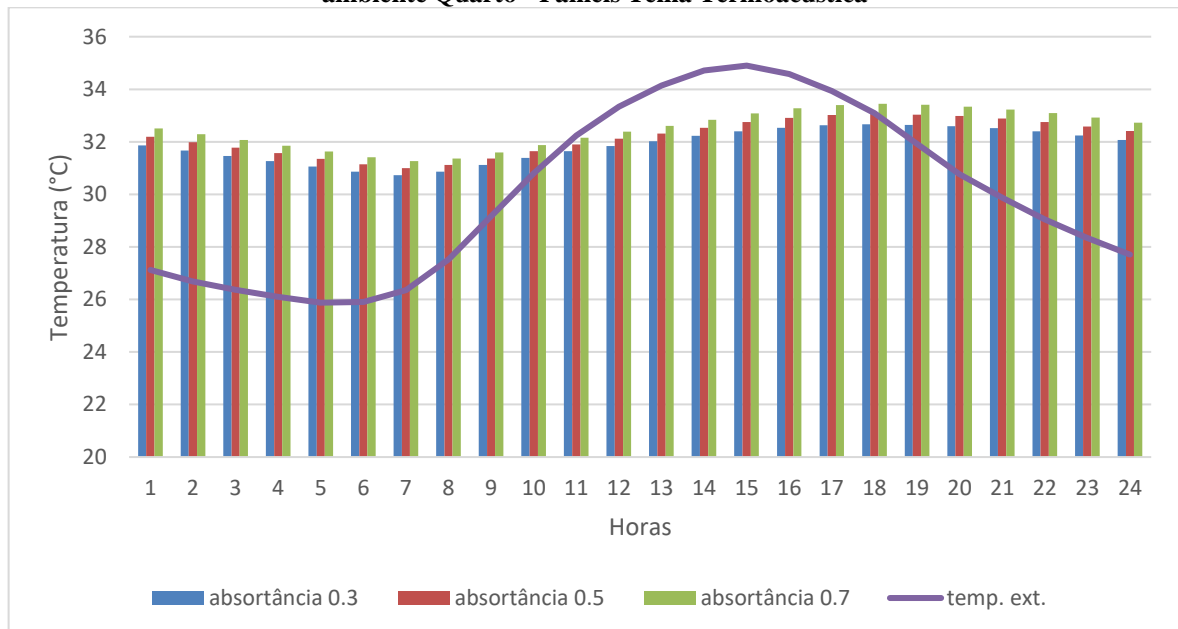


Figura A.40- Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB8, 5 ren/h, ambiente Quarto - Painéis Telha Termoacústica



Nas figuras A.41 a A.60 apresenta-se a evolução temporal da temperatura para as zonas bioclimáticas ZB1, ZB3 e ZB8, para um dia típico de inverno e verão, para os ambiente sala e quarto (Figuras 22 e 23) comparando os dois fechamentos analisados (Panéis ACM e Telha Termoacústica (sanduíche)) considerando a variação na taxa de renovação de ar, sem sombreamento e absorvência de 0,5.

Figura A.41 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB1, 1ren/h, ambiente Sala - $\alpha = 0,5$.

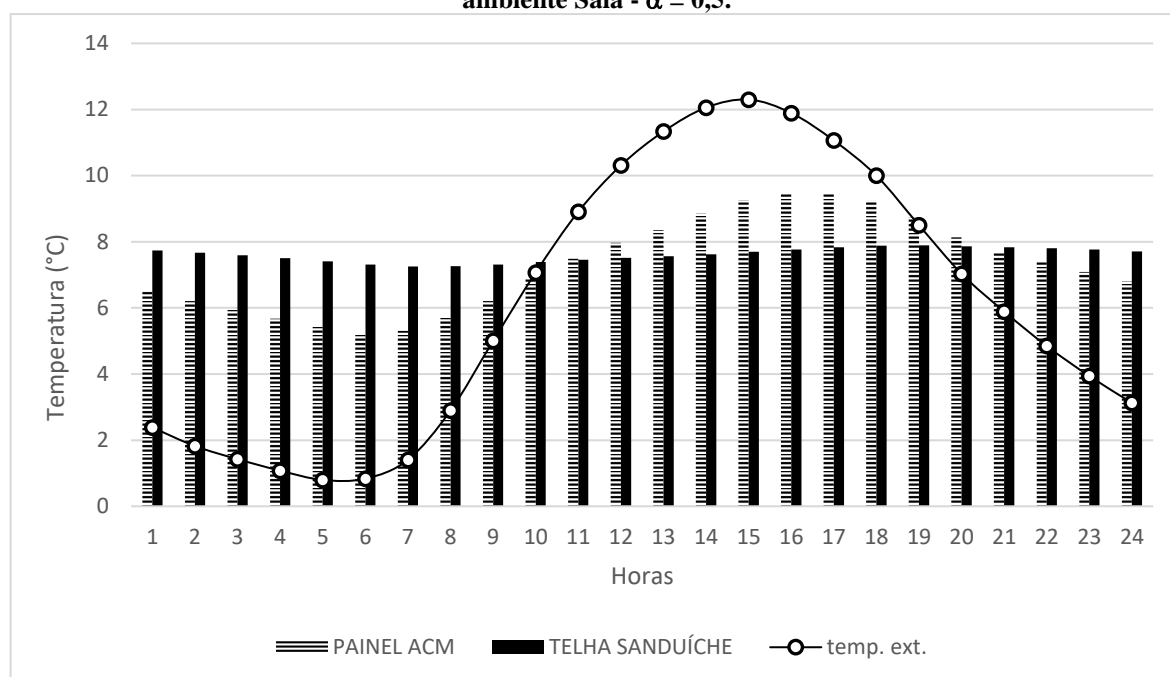


Figura A.42 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB1, 5ren/h, ambiente Sala- $\alpha = 0,5$.

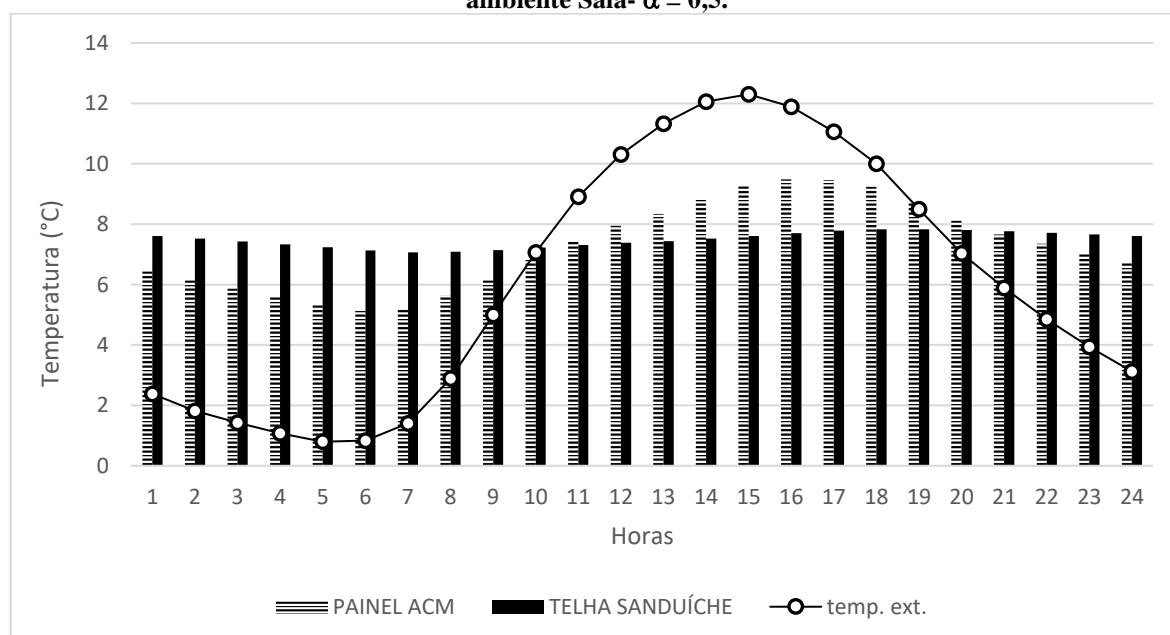


Figura A.43 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB1, 1ren/h, ambiente Quarto – $\alpha = 0,5$.

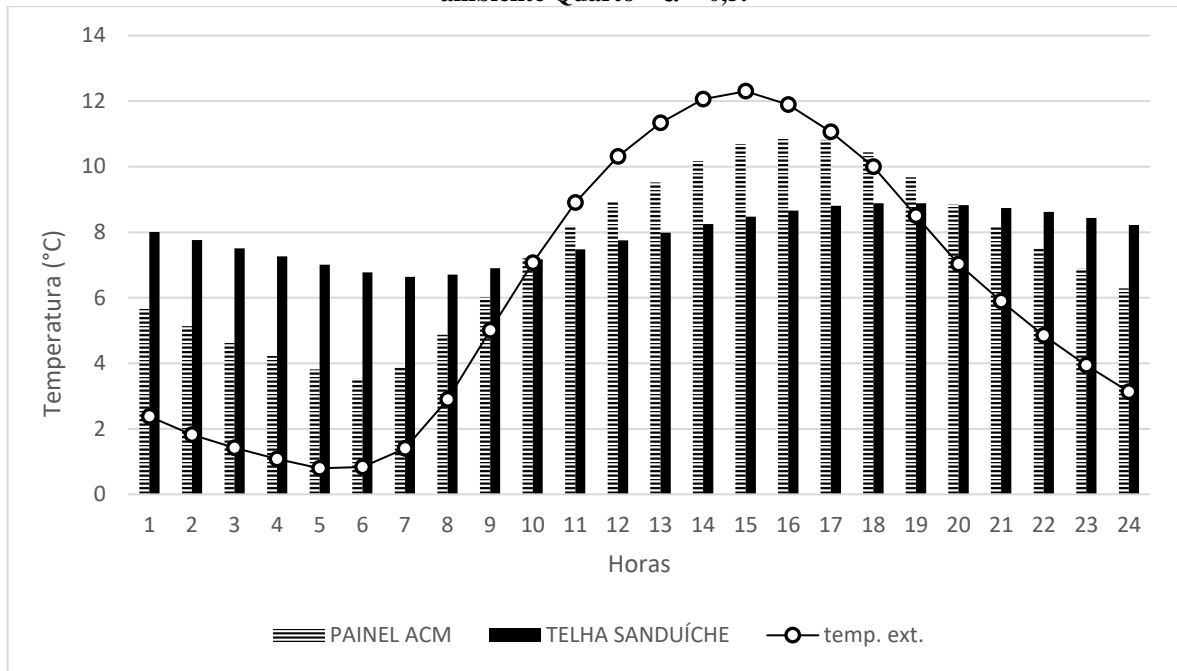


Figura A.44 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB1, 5ren/h, ambiente Quarto – $\alpha = 0,5$.

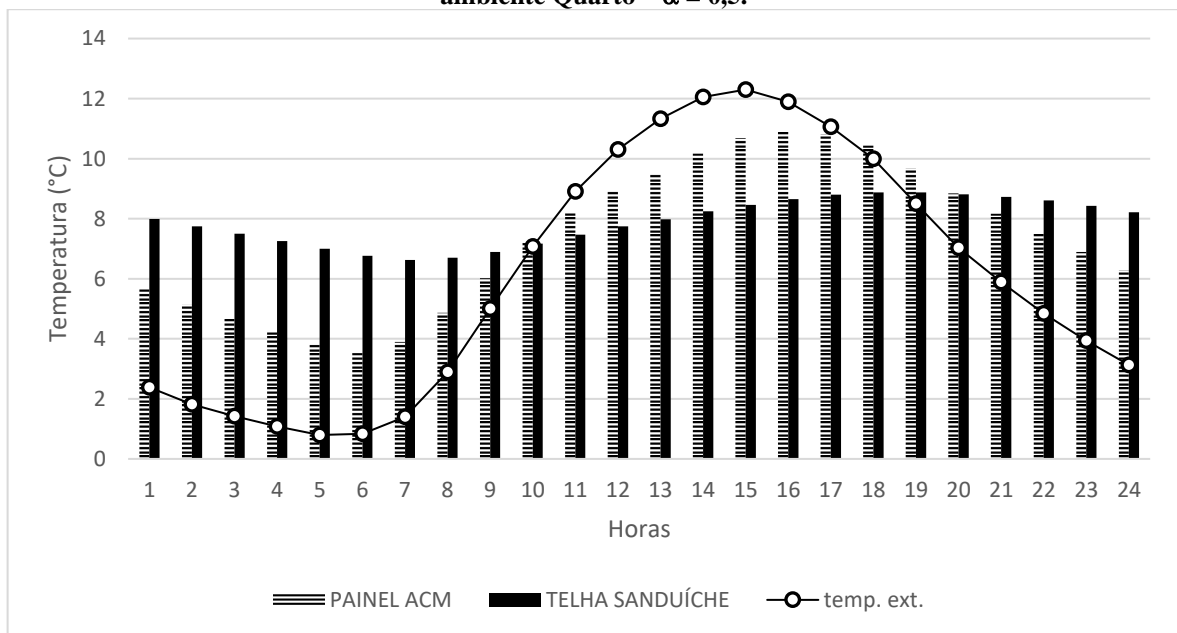


Figura A.45 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB1, 1ren/h, ambiente Sala – $\alpha = 0,5$.

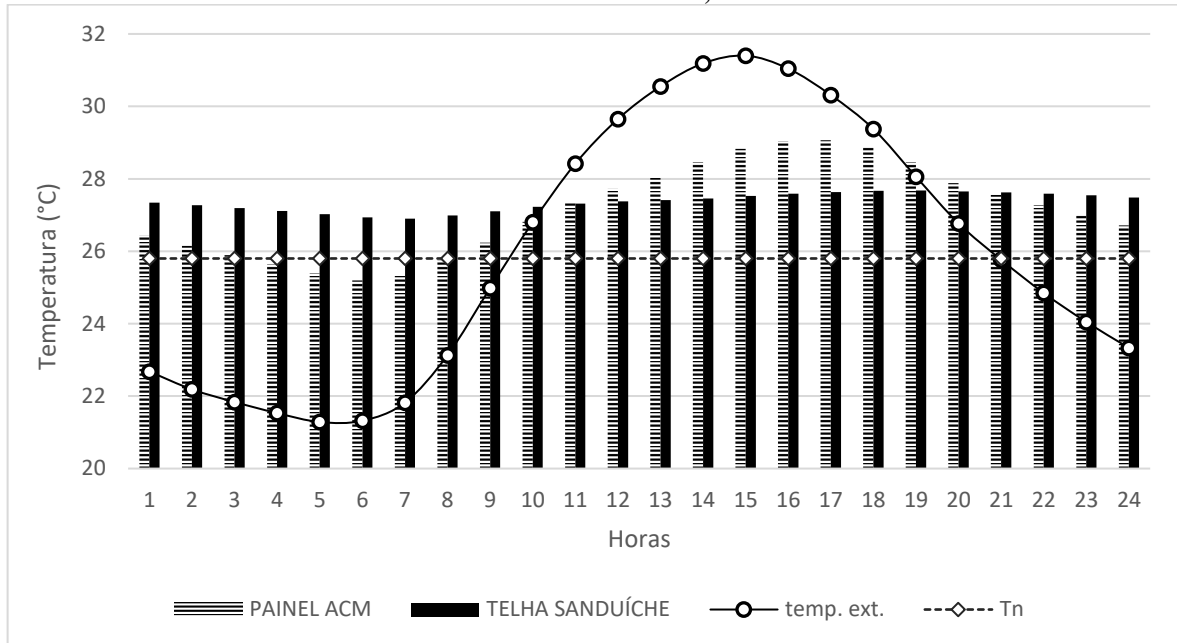


Figura A.46 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB1, 5ren/h, ambiente Sala – $\alpha = 0,5$.

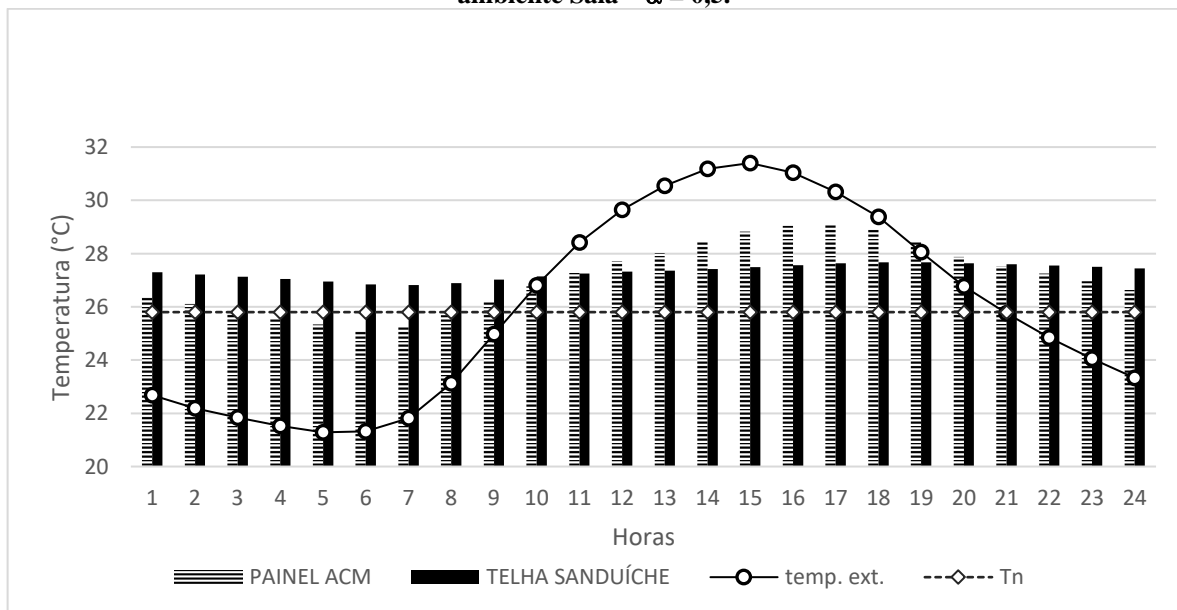


Figura A.47 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB1, 1ren/h, ambiente Quarto – $\alpha = 0,5$.

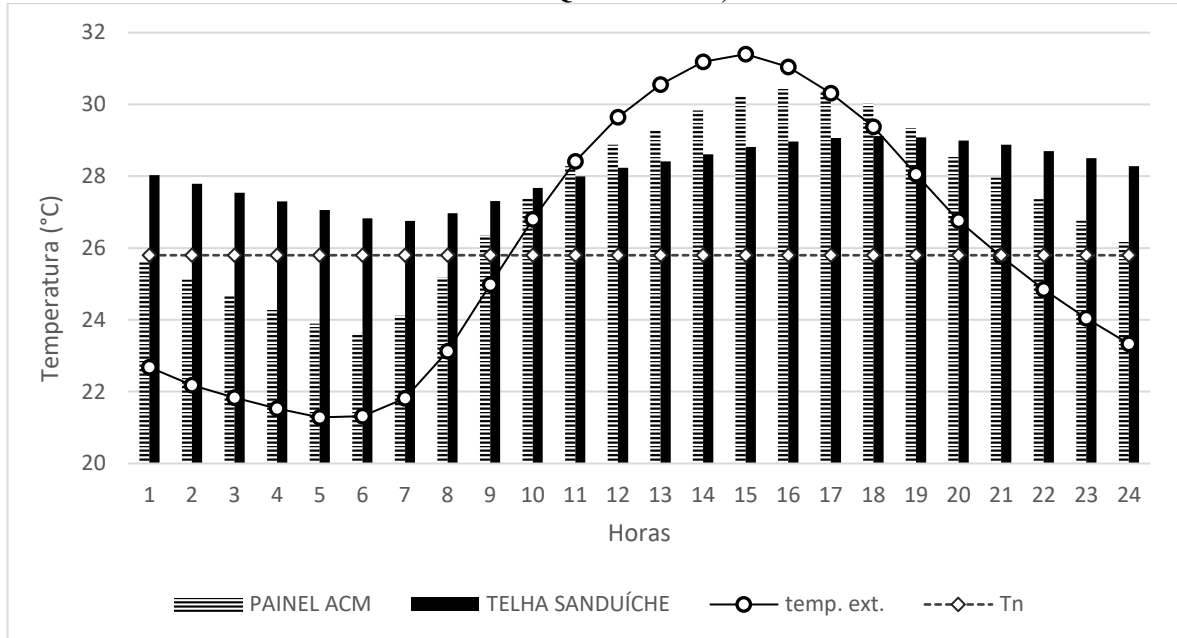


Figura A.48 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB1, 5ren/h, ambiente Quarto – $\alpha = 0,5$.

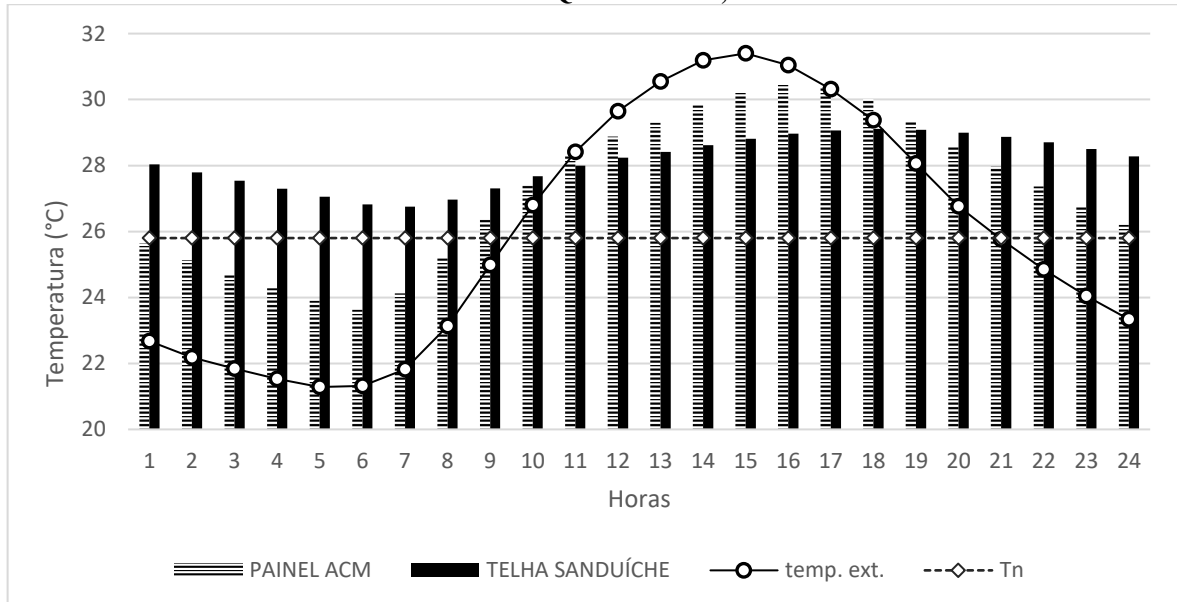


Figura A.49 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB3, 1ren/h, ambiente Sala - $\alpha = 0,5$.

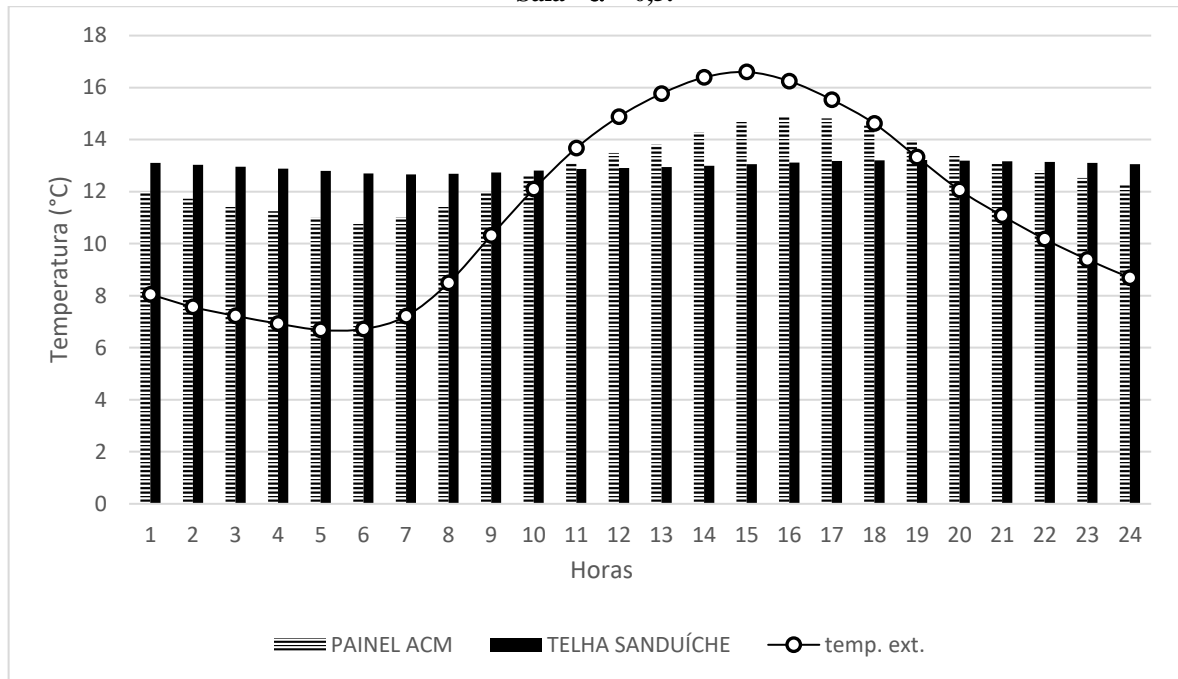


Figura A.50- Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB3, 5 ren/h, ambiente Sala - $\alpha = 0,5$.

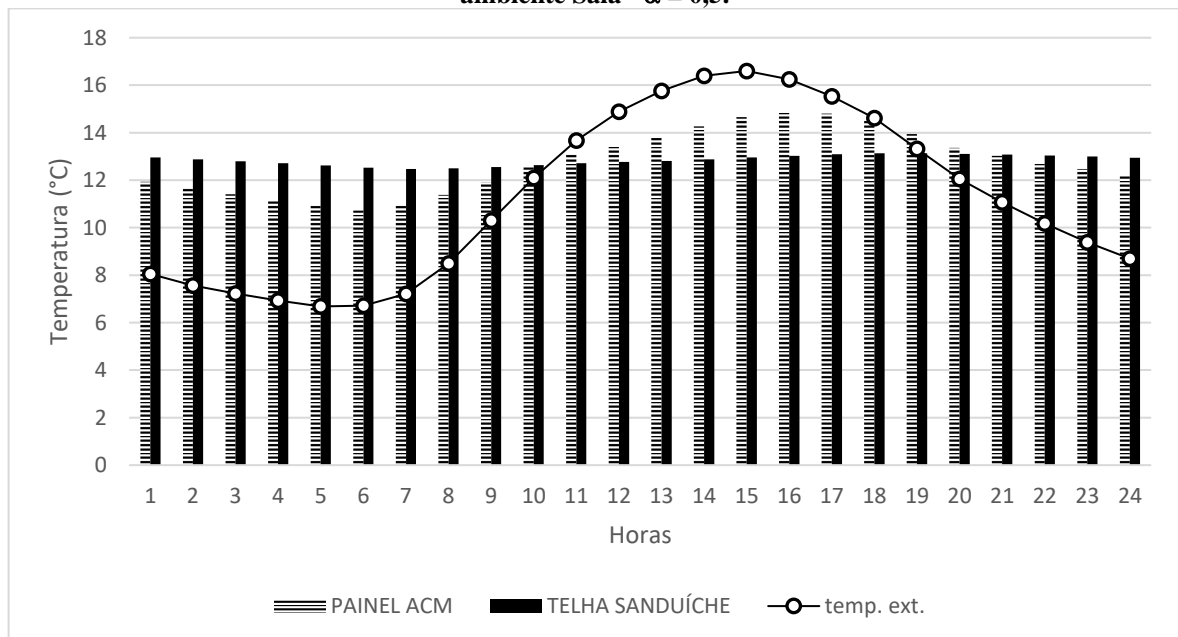


Figura A.51- Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB3, 1 ren/h, ambiente Quarto - $\alpha = 0,5$.

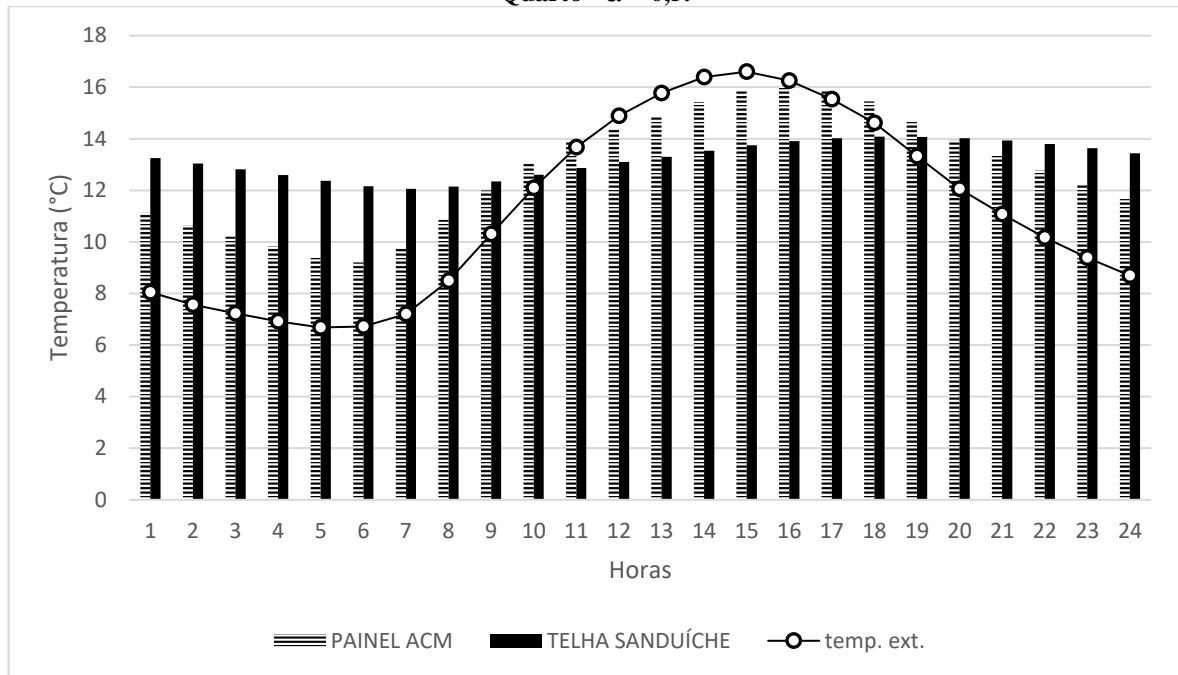


Figura A.52 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno na ZB3, 5 ren/h, ambiente Quarto - $\alpha = 0,5$.

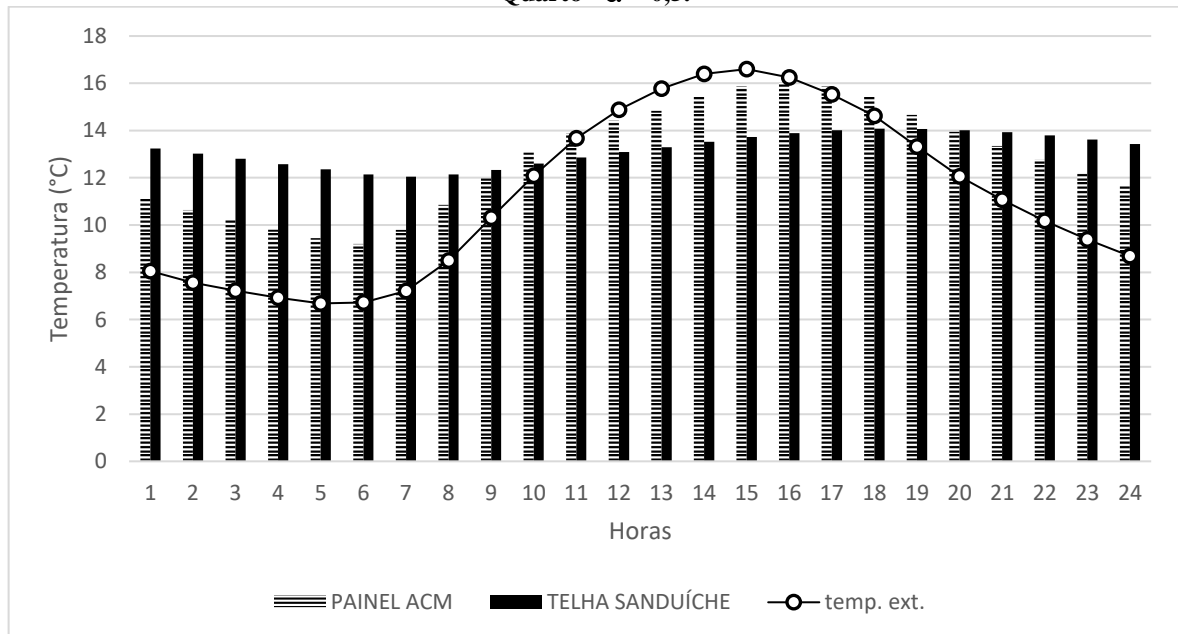


Figura A.53 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB3, 1ren/h, ambiente Sala - $\alpha = 0,5$.

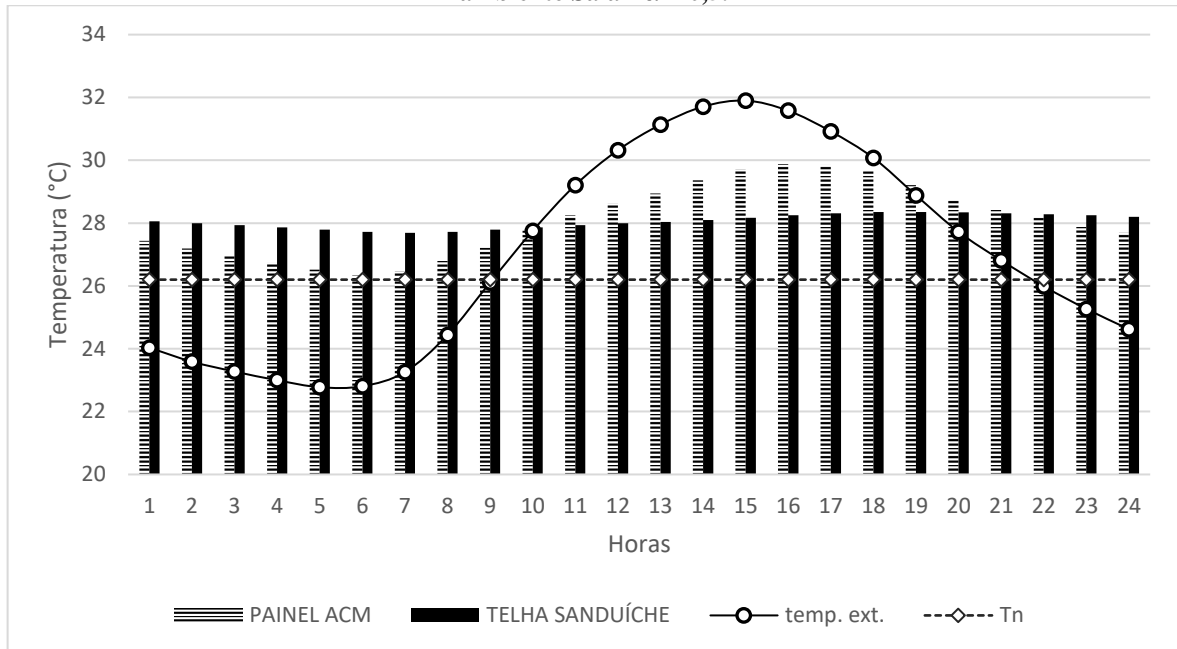


Figura A.54- Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB3, 5 ren/h, ambiente Sala - $\alpha = 0,5$.

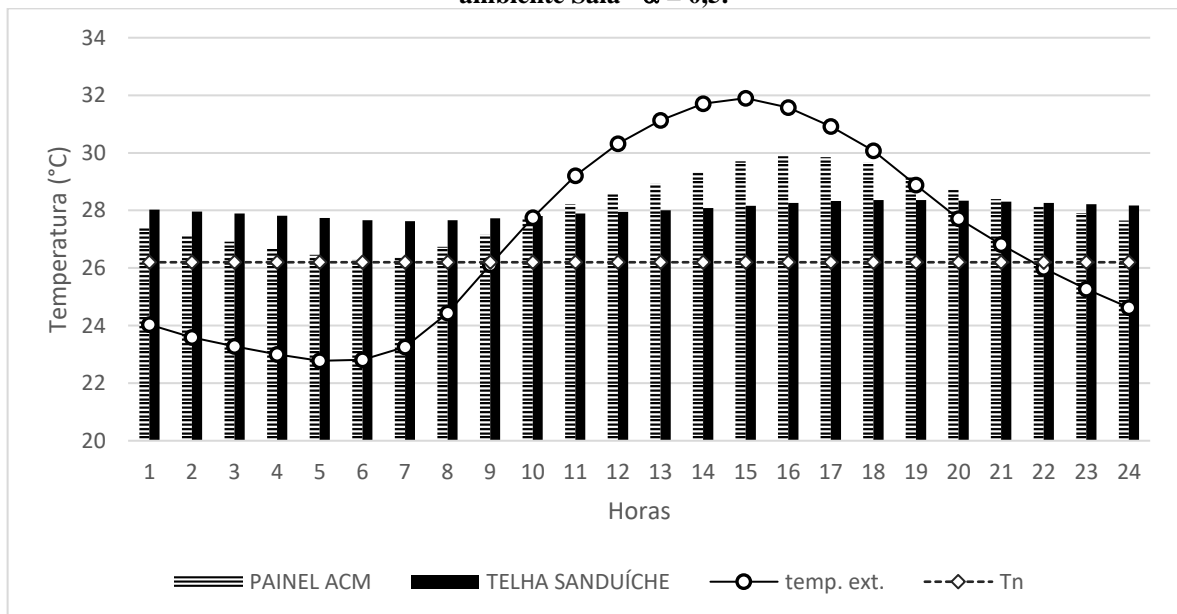


Figura A.55- Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB3, 1 ren/h, ambiente Quarto - $\alpha = 0,5$.

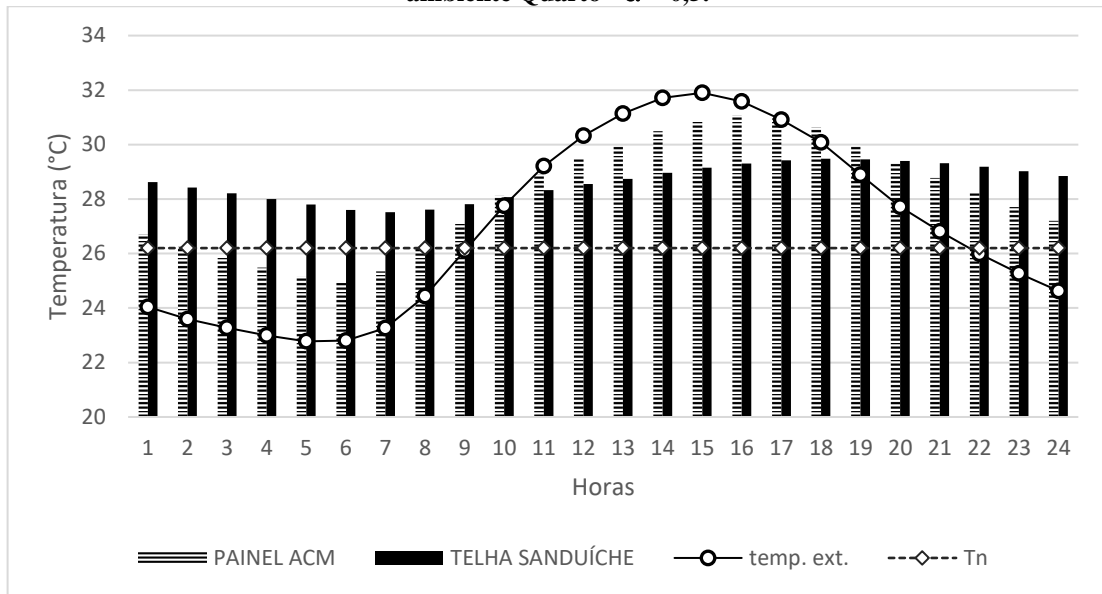


Figura A.56 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB3, 5 ren/h, ambiente Quarto - $\alpha = 0,5$.

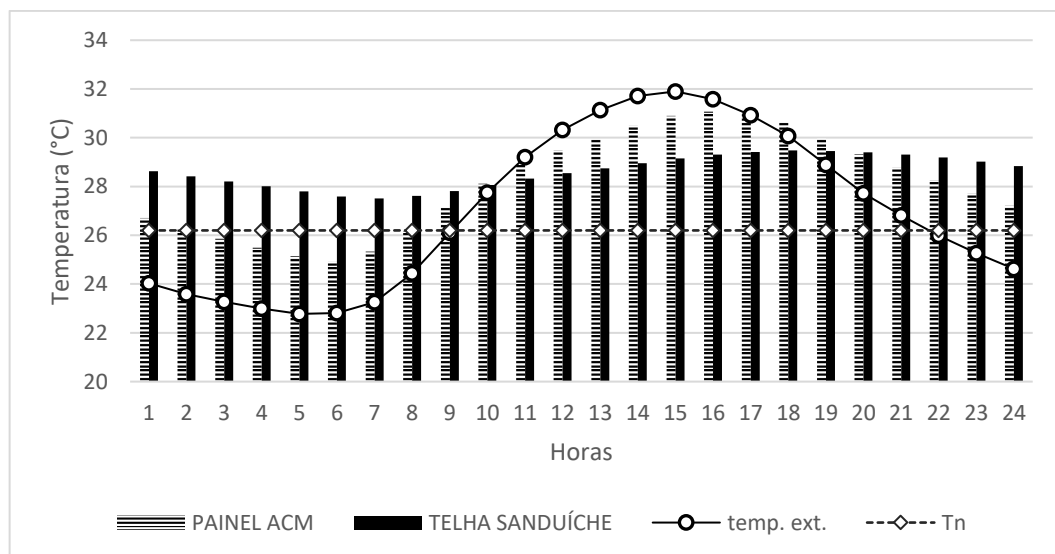


Figura A.57 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB8, 1ren/h, ambiente Sala - $\alpha = 0,5$.

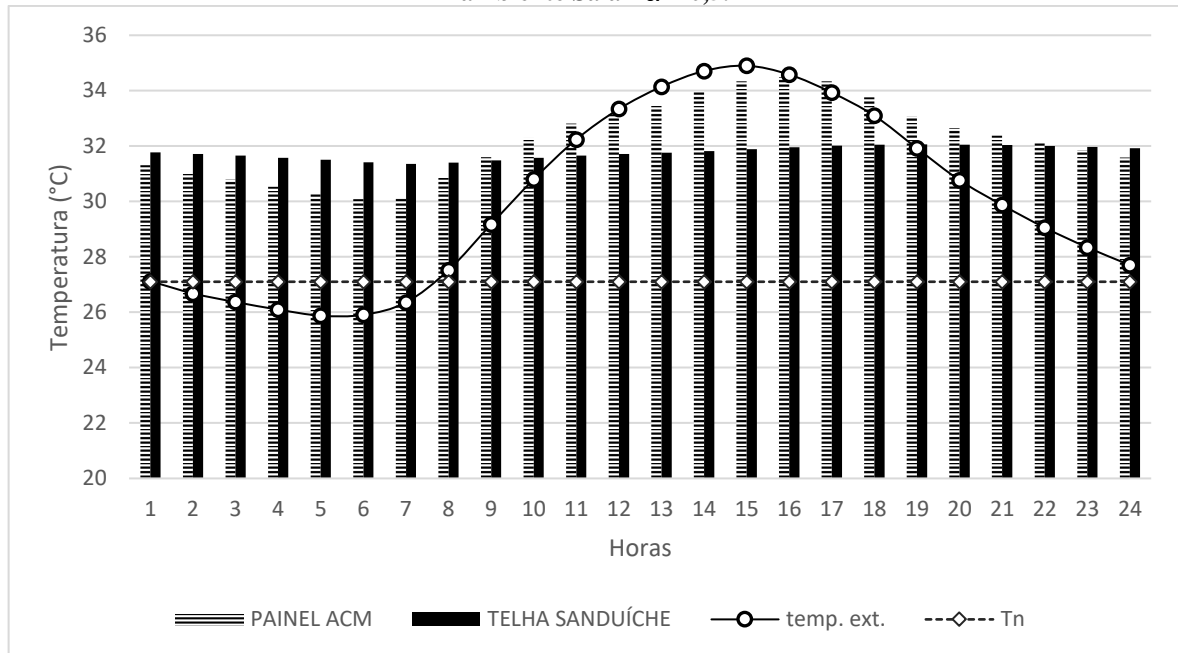


Figura A.58 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB8, 5ren/h, ambiente Sala - $\alpha = 0,5$.

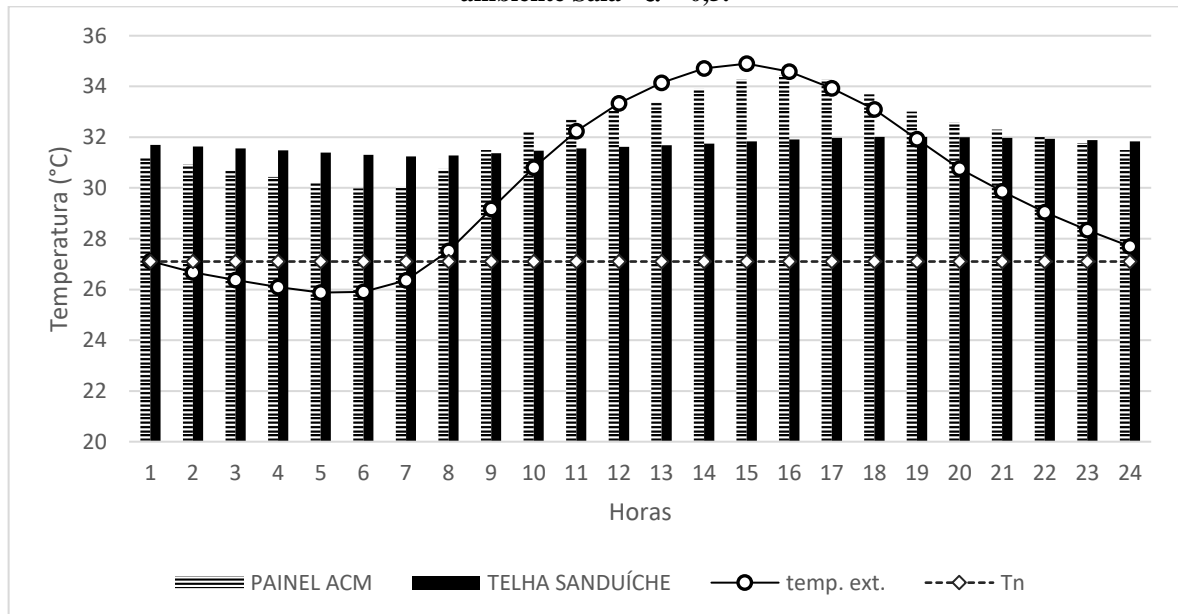


Figura A.59 - Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB8, 1 ren/h, ambiente Quarto - $\alpha = 0,5$.

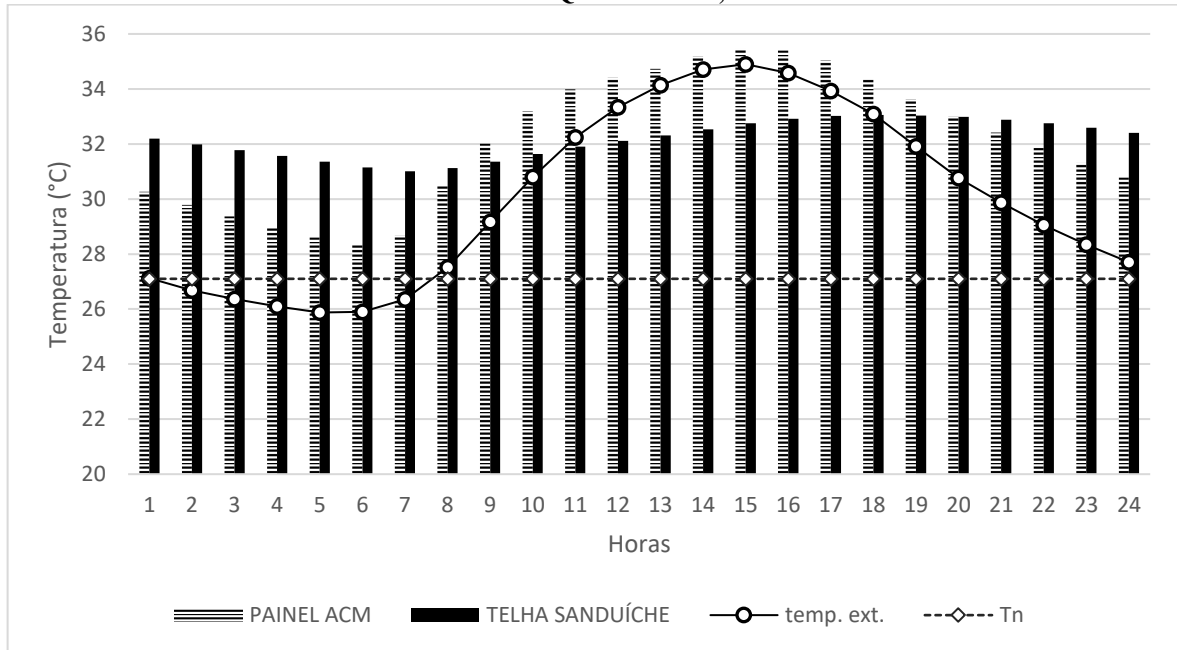


Figura A.60- Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão na ZB8, 5 ren/h, ambiente Quarto - $\alpha = 0,5$.

