

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E
URBANISMO**

ANDRÉIA CARDOSO DE OLIVEIRA

**A INFLUÊNCIA DAS RECOMENDAÇÕES DO ZONEAMENTO
BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO NO DESEMPENHO TÉRMICO DA
ENVOLTÓRIA DE EDIFICAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL NOS
MUNICÍPIOS DA PARAÍBA**

JOÃO PESSOA – PB
OUTUBRO DE 2013

ANDRÉIA CARDOSO DE OLIVEIRA

**A INFLUÊNCIA DAS RECOMENDAÇÕES DO ZONEAMENTO
BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO NO DESEMPENHO TÉRMICO DA
ENVOLTÓRIA DE EDIFICAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL NOS
MUNICÍPIOS DA PARAÍBA**

Dissertação elaborada sob a orientação da Prof. Dr. Solange Leder e apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, como requisito para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora Prof. Dr. SOLANGE MARIA LEDER
Área de concentração: Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo
Linha de pesquisa: Eficiência Energética na Arquitetura

JOÃO PESSOA – PB
OUTUBRO DE 2013

O48i Oliveira, Andréia Cardoso de.
 A influência das recomendações do zoneamento
 bioclimático brasileiro no desempenho térmico da envoltória de
 edificações de interesse social nos municípios da Paraíba /
 Andréia Cardoso de Oliveira.-- João Pessoa, 2013.
 234f. : il.
 Orientadora: Solange Maria Leder
 Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT
 1. Arquitetura e urbanismo. 2. Arquitetura - eficiência
 energética. 3. Edificação - desempenho térmico. 4. Envoltória.

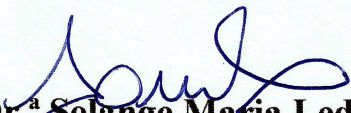
UFPB/BC

CDU: 72+711(043)

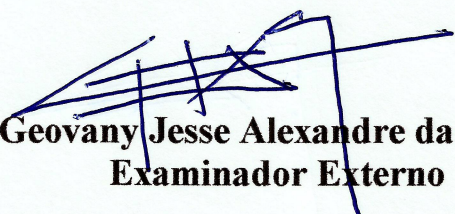
**“A influência das recomendações do zoneamento bioclimático brasileiro no
desempenho térmico da envoltória de edificações de interesse social nos
municípios da Paraíba”**

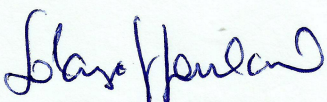
Por
Andréia Cardoso de Oliveira

Dissertação aprovada em 01 de Outubro de 2013


Prof.ª Dr.ª Solange Maria Leder – UFPB
Orientadora

Prof. Dr. Luiz Bueno da Silva – UFPB
Examinador Externo


Prof. Dr. Geovany Jesse Alexandre da Silva – UFPB
Examinador Externo


Prof.ª Dr.ª Solange Virgínia Galarca Goulart – UFRN
Examinadora Externa

João Pessoa-PB
2013

“Até aqui nos ajudou o Senhor” 1 Samuel 7.12

Aos meus pais,
meus exemplos.
Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por todo amor e proteção que tem me concedido.

Aos meus pais e meus irmãos, meu porto seguro, que me apoiaram e me deram forças para continuar sempre.

À Carol, minha amiga-sócia, que sempre me apoiou, confiou em mim e compreendeu minhas ausências durante todos esses anos.

À minha orientadora, Solange Maria Leder, que contribuiu para minha formação como pesquisadora e sempre demonstrou mais que disponibilidade, uma parceria de interesses, paciência e partilhar de conhecimento.

Ao professor Bueno e Erivaldo Lopes, pelo apoio e imensa disponibilidade.

A todos os pesquisadores e órgãos, que me ajudaram no desenvolvimento desta pesquisa, principalmente aos professores Dr. Solange Goulart e Dr. Maurício Roriz pelas correções e orientações.

Aos colegas da turma, que se tornaram bons amigos, principalmente Lilianne, companheira de todas as horas, que sempre esteve ao meu lado, dividiu angústias e sorrisos, e se tornou minha dupla pra vida toda.

RESUMO

No Brasil, a norma de Desempenho térmico de edificações - NBR 15.220:3 (ABNT, 2005), objetiva reduzir o consumo de energia e permitir uma melhor eficiência do edifício, com critérios diferenciados para o clima de cada região. A partir dos parâmetros sugeridos pela referida norma, esta pesquisa tem como objetivo avaliar o desempenho térmico da envoltória de uma edificação de interesse social em cidades de climas distintos no estado da Paraíba. Foram definidas quatro etapas para desenvolvimento desta pesquisa: 1) caracterização do clima de João Pessoa, Campina Grande e Patos, a partir dos dados climáticos horários do ano típico de referência de cada cidade; 2) definição do caso base e dos modelos de referência, considerando uma edificação unifamiliar e a partir das recomendações sugeridas pela norma para fechamentos opacos e transparentes; 3) configuração do modelo numérico (computacional) para simulação dos parâmetros estudados, e, por último, 4) definição do método de avaliação de desempenho térmico, utilizando a temperatura operativa como índice de conforto, de acordo com o modelo adaptativo para edificações ventiladas naturalmente. Foi observado que as recomendações sugeridas pela norma em relação ao valor de transmitância térmica não são adequadas para edificações de interesse social em João Pessoa e Patos, mas resultaram em condições favoráveis para o clima de Campina Grande. Conclui-se que as três cidades demonstraram resultados distintos, com condições climáticas que exigem critérios mais coerentes, confirmando a necessidade de atualização das recomendações e diretrizes construtivas desta norma.

Palavras-chave: conforto, envoltória, desempenho térmico.

ABSTRACT

In Brazil, the technical standards for thermal performance of buildings [NBR 15.220:3 (ABNT, 2005)], acts as a guideline for design in architecture in order to reduce energy consumption and allow better building efficiency providing appropriate criteria for each climate zone. This research aims to evaluate, according to the parameters suggested by the standards, the thermal performance of building envelope of social housing in cities within different climate zones, in the state of Paraíba. This research follows four steps: 1) description of the climate in the cities of João Pessoa, Campina Grande and Patos based on climatic data schedules from typical reference years for each city; 2) definition of the base case and reference models, considering a single-family building, following the standards suggested recommendations for opaque and transparent surfaces; 3) configuration of the numerical model to simulate the studied parameters, and finally, 4) evaluation method for thermal performance, using the working temperature as an index of comfort, according to the adaptive model for naturally ventilated buildings. It was perceived that the recommendations for thermal transmittance suggested by the standard are not suitable for social housing buildings in João Pessoa and Patos, whereas resulting appropriate for the climate conditions of Campina Grande. It was also noted that increased opening areas do not ensure better performances, resulting in some cases in increased heat gains, therefore increasing internal temperature. To sum up, the three cities showed diverse results, under climatic conditions that require more consistent criteria, thus confirming the need to update the recommendations and constructive guidelines of this technical standard.

Keywords: comfort, envelopment, thermal performance.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT

Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANTAC

Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

ASHRAE

American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers

BCA

Building Code of Australia

COBRACOM

Comitê Brasileiro de Construção Civil

LABEEE

Laboratório de Eficiência Energética da Universidade Federal de Santa Catarina

IPT

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

PMV

Voto médio estimado (*Predicted Mean Vote*)

PPD

Porcentagem de pessoas insatisfeitas (*Predicted Percentage of Dissatisfied*)

RTQ-C

Regulamento Técnico da Qualidade do nível de Eficiência Energética de Edifícios

Tmed

Temperatura média diária de bulbo seco

Tmrt

Temperatura média radiante

TMY

Typical Meteorological Year

TRY

Test Reference Year

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Temperatura operativa aceitável para ambientes ventilados naturalmente.....	8
Gráfico 2 - Padrão de ocupação	36
Gráfico 3 - Temperatura operativa de referência para as cidades estudadas.....	41
Gráfico 4 – Temperatura de bulbo seco em João Pessoa.....	46
Gráfico 5 - Amplitude térmica em João Pessoa	47
Gráfico 6 – Umidade relativa do ar em João Pessoa	48
Gráfico 7 – Precipitação em João Pessoa	49
Gráfico 8 – Temperatura de bulbo seco em Campina Grande	51
Gráfico 9 - Amplitude térmica em Campina Grande	52
Gráfico 10 - Umidade Relativa em Campina Grande	54
Gráfico 11 - Umidade/hora em Campina Grande	54
Gráfico 12 - Comportamento Precipitação Campina Grande	55
Gráfico 13- Temperatura de Bulbo Seco em Patos.....	58
Gráfico 14 - Amplitude térmica em Patos.....	58
Gráfico 15 - Umidade relativa do ar em Patos.....	60
Gráfico 16 - Precipitação em Patos.....	60
Gráfico 17 - Dados horários de temperatura operativa das paredes - João Pessoa.....	64
Gráfico 18 - Dados horários de temperatura operativa das cobertas-João Pessoa.....	65
Gráfico 19 - Comportamento da temperatura operativa dos fechamentos opacos no dia mais quente em João Pessoa	66
Gráfico 20 - Comportamento da temperatura operativa dos fechamentos opacos no dia mais frio em João Pessoa	67
Gráfico 21- Percentual de horas de desconforto fase 1 - João Pessoa.....	68
Gráfico 22 - GhR dos fechamentos opacos em João Pessoa	69
Gráfico 23 - GhR x Percentual de horas de desconforto fase 1 - João Pessoa.....	71
Gráfico 24 - Ganhos de calor das paredes fase 1 - João Pessoa.....	74
Gráfico 25 - Ganhos de calor fase 1 cobertas - João Pessoa	76
Gráfico 26 - Percentual de ocorrência da Temperatura Operativa - PB_CD / João Pessoa .	78
Gráfico 27 - Comparação da Temperatura interna PB_CD com a temperatura externa - João Pessoa.....	79

Gráfico 28 - Percentual de ocorrência da Temperatura operativa PC_CC / João Pessoa	80
Gráfico 29 - Comparação da Temperatura interna PC_CC com a temperatura externa - João Pessoa.....	80
Gráfico 30 - Gráficos de Dispersão (a) PB_CD (b) PC_CC- JP.....	81
Gráfico 31 - Dados horários de temperatura operativa Aberturas PB_CD - JP	82
Gráfico 32 - Percentual de horas de desconforto fase 2 PB_CD - João Pessoa	83
Gráfico 33 - GhR fechamentos transparentes - PB_CD - João Pessoa.....	85
Gráfico 34 - GhR x Percentual de horas de desconforto fase 2 PBCD - JP	85
Gráfico 35 - Ganhos de calor fechamentos transparentes -PB_CD - João Pessoa.....	88
Gráfico 36 - Dados horários de temperatura operativa Aberturas PC_CC - JP	88
Gráfico 37 - Percentual de horas de desconforto fase 2 - PC_CC-João Pessoa.....	89
Gráfico 38 - GhR fechamentos transparentes - PC_CC - João Pessoa	90
Gráfico 39 – GhR x Percentual de horas de desconforto fase 2 PCCC - JP	91
Gráfico 40 - Ganhos de calor fechamentos transparentes -PC_CC - João Pessoa.....	93
Gráfico 41 - Dados horários de temperatura operativa das paredes – Campina Grande.....	95
Gráfico 42 - Dados horários de temperatura operativa das cobertas – Campina Grande.....	96
Gráfico 43 - Comportamento da temperatura operativa dos fechamentos opacos no dia mais quente em Campina Grande.....	97
Gráfico 44 - Comportamento da temperatura operativa dos fechamentos opacos no dia mais frio em Campina Grande.....	98
Gráfico 45 - Percentual de horas de desconforto fase 1-Campina Grande.....	99
Gráfico 46 - GhR dos fechamentos opacos em Campina Grande	100
Gráfico 47 - GhR x Percentual de horas de desconforto fase 1 – Campina Grande.....	101
Gráfico 48 - Ganhos de calor das paredes fase 1 – Campina Grande	103
Gráfico 49 - Ganhos de calor fase 1 cobertas – Campina Grande	104
Gráfico 50 - Percentual de ocorrência da Temperatura operativa - PB_CB / Campina Grande	107
Gráfico 51 - Comparação da temperatura interna de PB_CB com temperatura externa - Campina Grande	108
Gráfico 52 - Percentual de ocorrência da Temperatura operativa - PC_CC / Campina Grande	108
Gráfico 53 - Comparação da Temperatura interna de PC_CC com temperatura externa - Campina Grande	109
Gráfico 54 - Gráficos de Dispersão (a) PB_CD (b) PC_CC- CG	109
Gráfico 55 - Dados horários de temperatura operativa Aberturas PB_CB – CG.....	111
Gráfico 56 - Percentual de horas de desconforto fase 2 PB_CB-Campina Grande.....	111

Gráfico 57 - GhR fechamentos transparentes - PB_CB – Campina Grande.....	112
Gráfico 58 - GhR x Percentual de horas de desconforto fase 2 PBCB - CG	113
Gráfico 59 - Ganhos de calor fechamentos transparentes -PB_CB – Campina Grande.....	115
Gráfico 60 - Dados horários de temperatura operativa Aberturas PC_CC – CG	116
Gráfico 61 - Percentual de horas de desconforto fase 2 PC_CC-Campina Grande.....	116
Gráfico 62 - GhR fechamentos transparentes -PC_CC – Campina Grande	117
Gráfico 63 - GhR x Percentual de horas de desconforto fase 2 PCCC - CG	118
Gráfico 64 - Dados horários de temperatura operativa paredes - Patos.....	121
Gráfico 65 - Dados horários de temperatura operativa cobertas - Patos.....	122
Gráfico 66 - Comportamento da temperatura operativa dos fechamentos opacos no dia mais quente em Patos.....	123
Gráfico 67 - Comportamento da temperatura operativa dos fechamentos opacos no dia mais frio em Patos.....	124
Gráfico 68- Percentual de horas de desconforto fase 1 - Patos	125
Gráfico 69 - GhR dos fechamentos opacos em Patos.....	126
Gráfico 70 - GhR x Percentual de horas de desconforto fase 1 - Patos	127
Gráfico 71 - Ganhos de calor das paredes fase 1 - Patos.....	130
Gráfico 72 - Ganhos de calor fase 1 - cobertas - Patos.....	131
Gráfico 73 - Percentual de ocorrência da Temperatura Operativa - PB_CD / Patos.....	133
Gráfico 74 - Comparação da Temperatura interna de PB_CD com temperatura externa - Patos	134
Gráfico 75 - Percentual de ocorrência da Temperatura Operativa - PC_CC / Patos	135
Gráfico 76 - Comparação da Temperatura interna de PC_CC com temperatura externa - Patos	135
Gráfico 77 - Gráficos de Dispersão (a) PB_CD (b) PC_CC- Patos.....	136
Gráfico 78 - Dados horários de temperatura operativa Aberturas PB_CD - Patos.....	137
Gráfico 79 - Percentual de horas de desconforto fase 2 PB_CD-Patos.....	138
Gráfico 80 - GhR fechamentos transparentes - PB_CD – Patos	138
Gráfico 81 - GhR x Percentual de horas de desconforto fase 2 PBCD - Patos.....	139
Gráfico 82 - Ganhos de calor fechamentos transparentes -PB_CD – Patos	141
Gráfico 83 - Dados horários de temperatura operativa Aberturas PC_CC – Patos.....	141
Gráfico 84 - Percentual de horas de desconforto fase 2 - PC_CC-Patos	142
Gráfico 85 - GhR fechamentos transparentes -PC_CC – Campina Grande	143
Gráfico 86 - GhR x Percentual de horas de desconforto fase 2 PCCC - Patos	143

LISTA DE QUADROS E MAPAS

Quadro 1 - Horas de desconforto por simulação com TRY	26
Quadro 2 - Hierarquia DesignBuilder	29
Quadro 3 – Processo dos métodos de avaliação de desempenho térmico	40
Quadro 4 - Comparação entre métodos - João Pessoa	77
Quadro 5 - Comparação entre métodos – Campina Grande	106
Quadro 6 - Comparação entre métodos – Patos.....	132
Quadro 7 - Comparação entre cartas bioclimáticas e os desempenhos térmicos	147
Quadro 8 - Comparação entre os resultados da fase 1 nas três cidades	150
Quadro 9 - Comparação entre os desempenhos das aberturas nas três cidades	151
Quadro 10 - - Recomendações sobre envoltória.....	155
Mapa 1 - Localização de pontos medidos	3
Mapa 2 - Zoneamento Bioclimático brasileiro.....	3
Mapa 3- Zona 17 (João Pessoa).....	15
Mapa 4 - Zona 10 (Campina Grande)	15

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Resumo das vedações externas	18
Tabela 2- Aberturas para ventilação	19
Tabela 3 – Propriedades dos fechamentos verticais opacos.....	33
Tabela 4 - Propriedades dos fechamentos horizontais opacos	34
Tabela 5 – Características dos fechamentos transparentes.....	35
Tabela 6 - Densidade de potência média.....	37
Tabela 7 - Temperaturas do solo	38
Tabela 8 – Zonas de conforto pelo método de De Dear e Brager	44
Tabela 9 - Comportamento da temperatura do ar João Pessoa.....	47
Tabela 10 - Temperatura do ar Campina Grande	52
Tabela 11 - Temperatura do ar em Patos	59
Tabela 12 - Percentual de horas de desconforto fase 1-João Pessoa	68
Tabela 13 - Coeficientes de significância To- João Pessoa	72
Tabela 14 – Modelo simplificado de coeficientes de significância To - João Pessoa.....	72
Tabela 15 – Teste de Wilcoxon - ganhos de calor das paredes - JP.....	75
Tabela 16 – Teste de Wilcoxon - ganhos de calor das cobertas - JP.....	76
Tabela 17 - Coeficientes de significância To fase 2 PBCD- João Pessoa.....	86
Tabela 18 – Modelo simplificado de coeficientes de significância To - João Pessoa.....	86
Tabela 19 – Análise de resíduos da regressão logística fase 2 PB_CD– JP.....	87
Tabela 20 - Coeficientes de significância To fase 2 PCCC- João Pessoa.....	91
Tabela 21 – Modelo simplificado de coeficientes de significância To - João Pessoa.....	92
Tabela 22 – Análise de resíduos da regressão logística fase 2 PB_CD– JP.....	92
Tabela 23 - Percentual de horas de desconforto fase 1-Campina Grande	99
Tabela 24 – Coeficientes de significância To – Campina Grande	101
Tabela 25 – Intervalo de confiança ganhos de calor das paredes - CG	103
Tabela 26 – Intervalo de confiança ganhos de calor das cobertas - CG.....	105
Tabela 27 - Coeficientes de significância To fase 2 PBCB- Campina Grande.....	113
Tabela 28 – Modelo simplificado de coeficientes de significância To PBCB – CG	114
Tabela 29 – Análise de resíduos da regressão logística fase 2 PBCB– CG.....	114
Tabela 30 –Coeficientes de significância - To PCCC– Campina Grande	118

Tabela 31 – Análise de resíduos fase 2 PCCC– Campina Grande	119
Tabela 32 - Percentual de horas de desconforto fase 1-Patos.....	125
Tabela 33 – Coeficientes de significância To – Patos	128
Tabela 34 – Teste de Wilcoxon - ganhos de calor das paredes - Patos	130
Tabela 35 – Teste de Wilcoxon - ganhos de calor das cobertas - Patos	131
Tabela 36 – Coeficientes de significância To - PBCD – Patos	140
Tabela 37 – Análise de resíduos da regressão logística fase 2 PBCD– PS	140
Tabela 38 - Coeficientes de significância To fase 2 PCCC- Patos	144
Tabela 39 – Modelo simplificado de coeficientes de significância To PCCC – Patos	144
Tabela 40 – Análise de resíduos da regressão logística fase 2 PBCB– Patos	145

LISTA DE EQUAÇÕES

(Equação 1)	8
(Equação 2)	27
(Equação 3)	27
(Equação 4)	42
(Equação 5)	43
(Equação 6)	43
(Equação 7)	44
(Equação 8)	48
(Equação 9)	53
(Equação 10)	53
(Equação 11)	59
(Equação 12)	71
(Equação 13)	73
(Equação 14)	86
(Equação 15)	87
(Equação 16)	91
(Equação 17)	92
(Equação 18)	101
(Equação 19)	102
(Equação 20)	113
(Equação 21)	114
(Equação 22)	118
(Equação 23)	119
(Equação 24)	128
(Equação 25)	129
(Equação 26)	139
(Equação 27)	140
(Equação 28)	144
(Equação 29)	145

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Carta bioclimática de Givoni	22
Figura 2 - Carta bioclimática da ABNT	22
Figura 3 – Planta baixa do modelo base	32
Figura 4 – Perspectiva do modelo base	32
Figura 5 - Tipos de aberturas.....	34
Figura 6 - Imagem Satélite João Pessoa	45
Figura 7 - Rosa dos Ventos de João Pessoa	49
Figura 8 - Carta bioclimática de João Pessoa	50
Figura 9 - Imagem Satélite Campina Grande	51
Figura 10 - Rosa dos Ventos de Campina Grande.....	55
Figura 11 - Carta Bioclimática de Campina Grande	56
Figura 12 - Imagem Satélite Patos.....	57
Figura 13 - Rosa dos Ventos de Patos.....	61
Figura 14 - Carta Bioclimática de Patos	62

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivo Geral.....	4
1.2. Objetivos Específicos.....	4
1.3. Estrutura do trabalho.....	5
2. REFERENCIAL TEÓRICO	6
2.1. CONFORTO TÉRMICO	6
2.2. MÉTODOS DE TRATAMENTO DE DADOS APLICADOS À ARQUITETURA E CLIMA	9
2.2.1. Dia típico de projeto	10
2.2.2. Ano climático de referência.....	11
2.3. NORMATIZAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	12
2.3.1. Normas Internacionais	13
2.3.2. Normas brasileiras	14
2.4. EDIFÍCIO E ENVOLTÓRIA	16
2.4.1. Fechamentos Opacos.....	17
2.4.2. Fechamentos Transparentes	19
2.5. ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS.....	20
2.5.1. Carta bioclimática	21
2.6. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO	24
2.6.1. Método de percentual de horas de desconforto	25
2.6.2. Graus-hora para resfriamento e aquecimento	27

2.7. PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	28
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	30
3.1. CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA	30
3.1.1. Definição das cartas bioclimáticas	31
3.1.2. Tratamento dos dados climáticos.....	31
3.2. CARACTERIZAÇÃO DO CASO BASE E DOS MODELOS DE REFERÊNCIA	32
3.2.1. Definição das variáveis dos fechamentos opacos	32
3.2.2. Definição das variáveis dos fechamentos transparentes.....	34
3.3. CONFIGURAÇÃO DOS MODELOS DE SIMULAÇÃO	36
3.3.1. Padrão de Ocupação	36
3.3.2. Padrão de Consumo Energético	37
3.3.3. Temperatura do solo.....	38
3.3.4. Combinações dos modelos.....	38
3.4. MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO	39
3.4.1. Percentual de horas de desconforto por calor.....	41
3.4.2. Graus-hora para resfriamento	41
3.4.3. Regressão Logística	42
3.4.4. Teste de Wilcoxon	43
3.4.5. Modelo de conforto adaptativo de De Dear e Brager	44
4. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DOS MUNICÍPIOS	45
4.1. JOÃO PESSOA	45
4.1.1. Temperatura de Bulbo Seco	46
4.1.2. Umidade relativa do ar	48
4.1.3. Precipitação	48
4.1.4. Regime de Ventos	49
4.1.5. Estratégias biclimáticas.....	50

4.2. CAMPINA GRANDE	50
4.2.1. Temperatura de Bulbo Seco	51
4.2.2. Umidade relativa do ar	53
4.2.3. Precipitação	55
4.2.4. Regime de Ventos	55
4.2.5. Carta bioclimática	56
4.3. PATOS	56
4.3.1. Temperatura de Bulbo Seco	57
4.3.2. Umidade relativa do ar	59
4.3.3. Precipitação	60
4.3.4. Comportamento dos ventos	61
4.3.5. Carta bioclimática	61
5. ANÁLISE E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS	63
5.1 JOÃO PESSOA – FASE 1	63
5.1.1 Fechamentos Opacos e Temperatura Operativa – Comportamento Anual	63
5.1.2 Fechamentos Opacos e Temperatura Operativa – Percentual de horas de desconforto	68
5.1.3 Fechamentos Opacos e Temperatura Operativa – Graus hora para resfriamento	69
5.1.4 Fechamentos Opacos e Temperatura Operativa – Percentual de horas de desconforto x Graus hora para resfriamento	70
5.1.5 Fechamentos Opacos e Temperatura Operativa – Regressao Logística.....	71
5.1.6 Fechamentos Opacos e Ganhos de calor – Comportamento Anual x Teste de Wilcoxon	74
5.1.7 Fechamentos Opacos – Comparação entre os métodos da fase 1	77
5.2 JOÃO PESSOA – FASE 2	81
5.2.1 Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho: Temperatura Operativa - Comportamento Anual	82
5.2.2 Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho: Temperatura Operativa - Percentual de horas de desconforto	83

5.2.3	Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho: Temperatura operativa – Graus-hora para resfriamento	84
5.2.4	Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho: Temperatura Operativa – Graus-hora para resfriamento x Percentual de horas de desconforto	85
5.2.5	Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho: Temperatura Operativa – Regressao Logistica	86
5.2.6	Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho: Ganhos de calor – Comportamento Anual	87
5.2.7	Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de pior desempenho: Temperatura Operativa – Comportamento Anual.....	88
5.2.8	Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de pior desempenho: Temperatura Operativa - Percentual de horas de desconforto	89
5.2.9	Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de pior desempenho: Temperatura Operativa - Graus hora para resfriamento.....	90
5.2.10	Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de pior desempenho: Temperatura Operativa - Percentual de horas de desconforto x Graus-hora para resfriamento	90
5.2.11	Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de pior desempenho: Temperatura Operativa – Regressão Logística	91
5.2.12	Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de pior desempenho: Ganhos de calor – Comportamento Anual	92
5.3.	CONCLUSÕES SOBRE OS RESULTADOS DE JOÃO PESSOA.....	93
5.4.	CAMPINA GRANDE – FASE 1	95
5.4.1.	Temperatura Operativa dos Fechamentos Opacos – Comportamento Anual...	95
5.4.2.	Temperatura Operativa dos Fechamentos Opacos - Percentual de horas de desconforto	99
5.4.3.	Temperatura Operativa dos Fechamentos Opacos - Graus-hora para resfriamento	100
5.4.4.	Temperatura Operativa dos Fechamentos Opacos - Graus-hora para resfriamento x Percentual de horas de desconforto.....	100
5.4.5.	Temperatura Operativa dos Fechamentos Opacos - Regressão Logística.....	101
5.4.6.	Ganhos de calor dos Fechamentos Opacos – Comportamento Anual x Teste de Wilcoxon	103
5.4.7.	Fechamentos Opacos – Comparação entre os métodos da fase 1	105

5.5. CAMPINA GRANDE – FASE 2	110
5.5.1. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho – Comportamento Anual	110
5.5.2. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho - Percentual de horas de desconforto	111
5.5.3. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho - Graus-hora para resfriamento.....	112
5.5.4. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho - Graus-hora para resfriamento x Percentual de horas de desconforto	112
5.5.5. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho - Regressão Logística.....	113
5.5.6. Ganhos de Calor dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho – Comportamento Anual	114
5.5.7. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de pior desempenho – Comportamento Anual	115
5.5.8. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de pior desempenho – Percentual de horas de desconforto	116
5.5.9. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de pior desempenho – Graus-hora para resfriamento.....	117
5.5.10. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de pior desempenho – Graus-hora para resfriamento x Percentual de horas de desconforto	117
5.5.11. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de pior desempenho – Regressão Logística.....	118
5.6. CONCLUSÕES SOBRE OS RESULTADOS DE CAMPINA GRANDE.....	119
5.7. PATOS – FASE 1	120
5.7.1. Temperatura Operativa dos Fechamentos Opacos – Comportamento Anual.....	121
5.7.2. Temperatura Operativa dos Fechamentos Opacos – Percentual de horas de desconforto	125
5.7.3. Temperatura Operativa dos Fechamentos Opacos – Graus-hora para resfriamento	126
5.7.4. Temperatura Operativa dos Fechamentos Opacos – Graus-hora para resfriamento x Percentual de horas de desconforto.....	126
5.7.5. Temperatura Operativa dos Fechamentos Opacos – Regressão Logística....	128

5.7.6. Ganhos de calor dos Fechamentos Opacos – Comportamento Anual x Teste de Wilcoxon	129
5.7.7. Fechamentos Opacos - Comparação entre os métodos da fase 1.....	132
5.8. PATOS – FASE 2	136
5.8.1. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho – Comportamento Anual.....	137
5.8.2. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho – Percentual de horas de desconforto.....	137
5.8.3. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho – Graus-hora para resfriamento	138
5.8.4. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho – Graus-hora para resfriamento x Percentual de horas de desconforto	139
5.8.5. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho – Regressão Logística	139
5.8.6. Ganhos de Calor dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho – Comportamento Anual x Teste de Wilcoxon	140
5.8.7. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de pior desempenho – Comportamento Anual	141
5.8.8. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de pior desempenho – Percentual de horas de desconforto	142
5.8.9. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de pior desempenho – Graus-hora para resfriamento	142
5.8.10. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de pior desempenho – Graus-hora para resfriamento x Percentual de horas de desconforto	143
5.8.11. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de pior desempenho – Regressão Logística	144
5.9. CONCLUSÕES SOBRE OS RESULTADOS DE PATOS.....	145
5.10. DISCUSSÕES SOBRE OS RESULTADOS	146
6. CONCLUSÕES	153
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	157
APÊNDICES	167

I. LEVANTAMENTO SISTEMA CONSTRUTIVO	167
II. ROTINAS SOFTWARE R.....	168
2.1. Regressão Logística	168
2.2. Teste de hipótese de Wilcoxon	168
2.3. Regressão Linear	169
III. RESULTADOS DAS REGRESSÕES LOGÍSTICAS	169
3.1. João Pessoa – fase 1	169
3.2. João Pessoa – fase 2 (PB_CD)	171
3.3. João Pessoa – fase 2 (PC_CC)	172
3.4. Campina Grande – fase 1	174
3.5. Campina Grande – fase 2 (PB_CB)	175
3.6. Campina Grande – fase 2 (PC_CC).....	177
3.7. Patos – fase 1	178
3.8. Patos - fase 2 (PB_CD)	179
3.9. Patos – fase 2 (PC_CC)	180
IV. RESULTADOS DAS REGRESSÕES LINEARES.....	182
4.1. João Pessoa – ganhos de calor das paredes.....	182
4.2. João Pessoa – ganhos de calor das cobertas.....	187
4.3. Campina Grande – ganhos de calor das paredes	192
4.4. Campina Grande – ganhos de calor das cobertas	197
4.5. Patos – ganhos de calor das paredes	201
4.6. Patos – ganhos de calor das cobertas	205

1. INTRODUÇÃO

O modo de vida contemporâneo acelerou o crescimento do consumo de energia, que por sua vez, ampliou o impacto das fontes energéticas sobre o meio natural. A constante elevação da demanda energética tem gerado preocupação com as fontes esgotáveis. Pensar em estratégias para consumir energia de forma eficiente, visando proporcionar o uso racional deste recurso é uma discussão atual no âmbito da arquitetura, principalmente após a crise da década de 1970, quando se intensificou a busca por formas alternativas de energia e o aprimoramento de tecnologias que aumentem o desempenho termo energético das edificações (CARLO, 2008; BEKKOUCHE *et al.*, 2011; AL-SANEA, ZEDAN e AL-HUSSAI, 2013).

Olgyay (2002) comenta que na crise de energia da década de 1970, boa parte do mundo descobriu que a energia usada pela sociedade não era um bem ilimitado que podia ser explorado sem nenhuma prevenção. Neste momento começou a se investigar a relação entre arquitetura e energia de maneira mais aprofundada. O conceito de arquitetura bioclimática surgiu como resposta a este problema, principalmente por buscar estratégias, ainda na fase de projeto arquitetônico, que aproveitam as condições do sítio, garantindo o uso racional do edifício (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 1997; BEKKOUCHE *et al.*, 2011).

Estudos sobre conforto térmico, associados a esta discussão sobre eficiência no consumo de energia, foram desenvolvidos por Szokolay, Olgyay, Givoni, entre outros, que influenciaram normativas e legislações em diversos países desenvolvidos. A *American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers* – ASHRAE tem feito contribuições relevantes desde então, inclusive com recomendações para cidades brasileiras (AHMAD e SZOKOLAY, 1997; OLGAY, 2002; BEKKOUCHE, *et al.*, 2011; AL-SANEA, ZEDAN e AL-HUSSAI, 2013).

No Brasil, pesquisas nesta área resultaram no desenvolvimento de diversas normas, entre elas, a norma de Desempenho térmico de edificações - NBR 15.220 (ABNT, 2005), que compreende o Zoneamento Bioclimático Brasileiro na parte 3, com diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Esta norma, concebida como uma diretriz de projeto arquitetônico, no tocante à estratégias passivas de conforto

ambiental (térmico, lumínico, etc.), visa a eficiência energética do edifício, particularmente a redução do consumo de energia, com critérios adequados para o clima de cada região (RORIZ, GHISI e LAMBERTS, 1999).

As recomendações, presentes na referida norma, resultaram da aplicação simulatânea do método das cartas bioclimáticas adaptadas do modelo de Givoni e do método de Mahoney. Os métodos aplicados resultaram na definição de um conjunto de 11 estratégias que, ao serem utilizadas favorecem as condições de conforto (zona de conforto) no ambiente interno (RORIZ, GHISI e LAMBERTS, 1999).

Apesar da contribuição que o Zoneamento Bioclimático Brasileiro representa para a adequação da arquitetura ao clima, uma das limitações do mesmo deve-se ao limitado número de dados utilizados, de apenas 300 municípios, decorrente da baixa disponibilidade de dados climáticos na época de sua concepção e subsequente publicação. A necessidade de revisão do mesmo é imperativa, principalmente considerando-se a atual maior disponibilidade de dados climáticos, que compreende grande parte do território brasileiro (RORIZ, 2012a).

Nesta direção, a recente aprovação da Lei de Acesso à Informação nº 12.527 (BRASIL, 2011), foi um ponto positivo no desenvolvimento das pesquisas em eficiência energética no Brasil, principalmente pela obrigatoriedade dos órgãos e entidades públicas de divulgar e disponibilizar informações de interesse geral e coletivo, incluindo dados climáticos. Esse processo já está em andamento, ocorrendo através de portais de transparência ativa (disponibilizadas pela internet) e transparência passiva (dependente de solicitação).

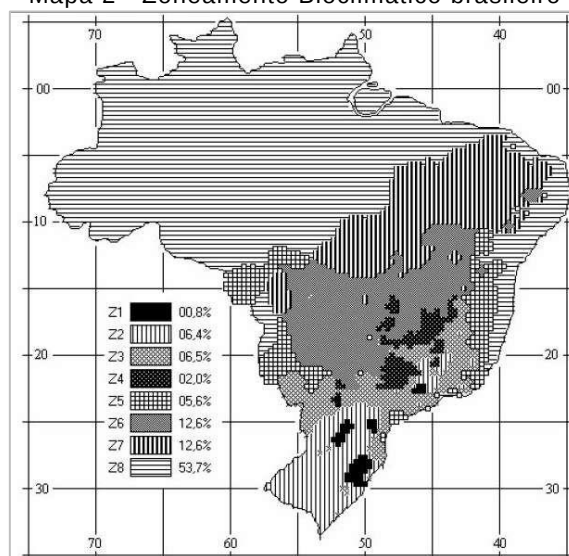
O Zoneamento Bioclimático Brasileiro divide o território nacional em oito zonas, sendo a zona 8 a maior delas, com mais de 53% da área, como pode ser observado no mapa 2 abaixo. Observa-se, contudo, que esta zona agrupa cidades com climas distintos. Sendo assim, a adoção das mesmas diretrizes construtivas para um grupo de cidades que demonstram comportamentos distintos relativos às suas principais características climáticas tem sido questionada (PEDRINI, *et al.*, 2009; DAMASCENO, 2011).

Mapa 1 - Localização de pontos medidos



Fonte: (ABNT, 2005)

Mapa 2 - Zoneamento Bioclimático brasileiro



Fonte: (ABNT, 2005)

Nesse Contexto, estudos realizados pelo grupo de pesquisadores da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ANTAC resultou em duas publicações de Roriz em 2012, com propostas de atualização do Zoneamento Bioclimático Brasileiro. Uma nova divisão, com um número maior de zonas bioclimáticas, está sendo proposto, objetivando assim, obter diretrizes construtivas mais coerentes com o clima de cada local.

Atualmente, o grupo conta com dados climáticos de 1281 estações climáticas (RORIZ, 2012a; RORIZ, 2012b). O aumento do número de cidades com monitoramento de dados climáticos permitiu um avanço significativo nas discussões sobre o Zoneamento Bioclimático. As metodologias que estão sendo discutidas, contudo, são relativas exclusivamente à divisão das zonas. Roriz (2012a).

“Diferentemente do método adotado para elaboração do Zoneamento incluído na NBR 15220-3, a presente proposta se refere somente à divisão do território em zonas com algum nível de homogeneidade climática, deixando para futuros estudos a definição das recomendações tecno-construtivas específicas para cada zona. O propósito dessa medida foi permitir que diferentes tipos de edifício cumpram diferentes recomendações, que reflitam as características e os tipos de ocupação de cada grupo (habitações térreas unifamiliares, edifícios habitacionais coletivos, edifícios comerciais, industriais, etc.)” (RORIZ, 2012a).

Entende-se que a eficiência energética das edificações no Brasil está intimamente relacionada com as recomendações técnicas e diretrizes construtivas definidas no Zoneamento Bioclimático. Nesse sentido, esta pesquisa visa contribuir com a reformulação dessas diretrizes.

Tendo como base um recorte espacial, o estado da Paraíba participa com seis cidades, que possuem dados horários medidos em estações automáticas e que compõem a base atual de dados climáticos. O principal questionamento desse trabalho refere-se às diretrizes construtivas determinadas para essas cidades, posto que estas, segundo o atual Zoneamento Bioclimático Brasileiro, pertencem a mesma zona, ou seja, possuem as mesmas recomendações construtivas. Partiu-se da premissa de que, dada à dimensão das áreas cobertas por uma mesma zona, algumas diretrizes construtivas podem não ser adequadas.

1.1. OBJETIVO GERAL

Analisar a influência das recomendações sugeridas pela norma NBR 15.220 (ABNT, 2005) sobre o desempenho térmico da envoltória de uma edificação de interesse social em cidades de climas distintos do estado da Paraíba.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar as condições climáticas locais e definir as estratégias bioclimáticas, de três cidades com climas distintos na Paraíba - João Pessoa, Campina Grande e Patos, a partir do modelo utilizado na NBR 15.220 e tendo como base os anos típicos de referência de cada cidade;
- Definir um modelo base de edificação unifamiliar (sistema construtivo, padrão de uso, etc) representativo de edificações de interesse social no estado da Paraíba;
- Definir combinações de envoltória, considerando as variáveis transmitância e atraso térmico nos fechamentos opacos e variações nos fechamentos transparentes, a partir das recomendações da NBR 15.220 para zona 8;
- Configuração do modelo numérico (computacional) para simulação dos parâmetros estudados;
- Desenvolver um método de avaliação de conforto ambiental e desempenho térmico, a partir dos índices e métodos: Temperatura operativa; Modelo adaptativo de De Dear e Brager; Percentual de horas de desconforto e Graus horas de desconforto.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho será estruturado em seis capítulos.

O capítulo 1 – Introdução: abrange a definição do tema, envolvendo a problemática e a justificativa para o desenvolvimento desta pesquisa. Foram determinadas a hipótese e os objetivos a serem alcançados.

O capítulo 2 – Referencial teórico, que aborda conceitos de conforto térmico, dados climáticos aplicados à arquitetura, normalização, envoltória, avaliação de desempenho térmico, entre outros.

O capítulo 3 – Procedimentos metodológicos, divididos em quatro etapas: caracterização do clima, caracterização do caso base e dos modelos de referência, configuração dos modelos e métodos de avaliação de desempenho térmico.

O capítulo 4 – Refere-se à caracterização climática das cidades, sendo a primeira parte dos resultados da pesquisa, etapa essencial para o entendimento dos resultados das avaliações de desempenho térmico.

O capítulo 5 – Análise e discussões dos resultados - divididas por cidade, sendo desenvolvidas separadamente. Para cada cidade foram realizadas duas fases de análise: fechamentos opacos e fechamentos transparentes.

O capítulo 6 – Conclusões.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Para melhor desenvolvimento desta pesquisa, foram abordados alguns conceitos pertinentes ao foco deste trabalho, que compreendem os seguintes temas: Conforto térmico; Arquitetura e clima; Normatização em eficiência energética; Edifício e envoltória; Métodos de avaliação de desempenho e conforto térmico e Simulação computacional do desempenho térmico de edificações.

2.1. CONFORTO TÉRMICO

O conceito de conforto térmico definido pela ASHRAE (1992) é: “Uma condição da mente que expressa a satisfação com o ambiente térmico a partir de uma avaliação subjetiva”. Considerando um estado de conforto térmico, as relações de trocas térmicas que ocorrem entre o homem e o ambiente determinam as condições térmicas aceitáveis para 80% ou mais de ocupantes em um determinado ambiente, a partir de quatro fatores ambientais: temperatura, radiação térmica, umidade e velocidade do ar, e dois fatores pessoais: atividade e vestuário (BOGO *et al.*, 1994; AULICIEMS e SZOKOLAY, 1997; DE DEAR E BRAGER, 2002; POUEY, 2011).

Os índices de conforto são utilizados, entre outros fins, como parâmetros para normativas sobre desempenho térmico. Os principais índices de conforto são propostos pela norma ISO 7730, que especifica condições para conforto térmico segundo a equação de Fanger, e a norma da ASHRAE Standard 55 (2004) que especifica condições para condição humana em ambientes térmicos. A Equação de Fanger de conforto é provavelmente a análise mais minuciosa e detalhada da relação entre o homem e o ambiente térmico (AULICIEMS e SZOKOLAY, 1997; MONTEIRO, 2008).

Foram verificados limites das zonas de conforto elaboradas por diversos autores através da equação de Fanger, que calcula a combinação das variáveis ambientais incluindo

a temperatura média radiante¹, a velocidade do ar e a umidade relativa com o nível de atividades e vestimenta. O índice determinado através desta equação é chamado Voto médio estimado (ou *predicted mean vote* – PMV), que representa a sensação térmica média declarada pelas pessoas em determinado ambiente, podendo ser representativa para o grupo, desde que não haja diferenças significativas. A determinação do PMV serve para calcular também, a Percentagem de pessoas insatisfeitas (ou *Predicted Percentage of Dissatisfied* – PPD) (BOGO *et al.*, 1994; MONTEIRO, 2008).

A norma de desempenho térmico vigente NBR 15.220 (ABNT, 2005) adota a zona de conforto de Givoni como base para a definição da carta adaptada para o Brasil. Segundo Oliveira (2009), seus critérios são limitados por não considerar as variações que ocorrem nas condições de conforto ao longo do ano.

“a demarcação da zona de Givoni, baseada na temperatura interna estimada através de cálculos de modelos em regime estático, não reconhece as oportunidades de adaptação dos ocupantes e fatores contextuais como o próprio clima, condições estas que regem os modelos adaptativos” (OLIVEIRA, 2009, p. 54)

Estudos sobre conforto térmico observaram que pessoas que vivem ou trabalham em edifícios naturalmente ventilados, com capacidade de abertura e fechamento das janelas, demonstraram uma maior adaptação à variabilidade climática sazonal e a diversidade de temperaturas diárias, resultando em uma tolerância maior ao prolongar as temperaturas acima da zona de conforto adotada. Percebe-se que edifícios naturalmente ventilados são fortemente influenciados pela mudança térmica do exterior. Baseado neste comportamento foi proposta uma nova adaptação ao padrão de conforto térmico para complementar a zona de conforto tradicional da ASHRAE, baseada no PMV (DE DEAR e BRAGER, 2002; LIPING e HIEN, 2007).

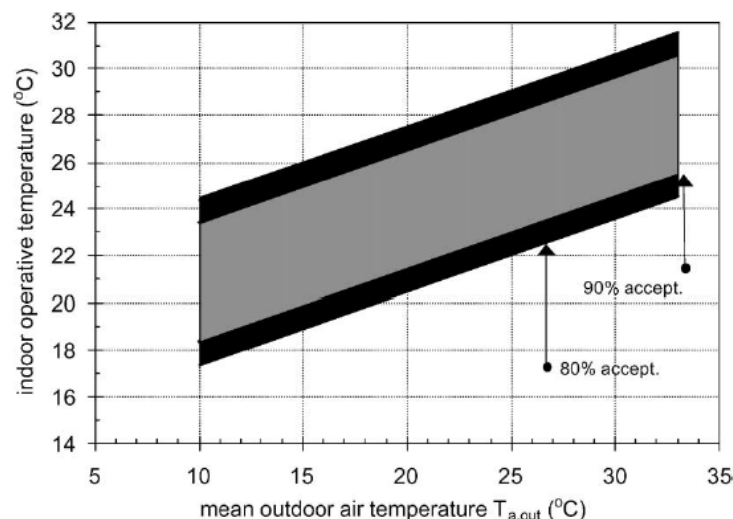
De Dear e Brager (2002) comentam que este padrão de conforto utilizado pela ASHRAE, aborda o modelo adaptativo, que considera a influência do clima sobre o equilíbrio térmico em larga escala com fatores contextuais, ou seja, considerar temperaturas diárias é mais apropriado para utilização de predição de temperaturas de conforto adaptativas que médias mensais. Segundo a ASHRAE (2010), o modelo adaptativo relaciona as temperaturas do interior do ambiente com temperaturas externas ou parâmetros climatológicos (DE DEAR E BRAGER, 2002; ASHRAE, 2010).

¹ Temperatura média radiante é a temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a troca de calor do corpo humano por radiação é igual à troca de calor por radiação no ambiente real não uniforme. Sua unidade de grandeza é °C (ABNT, 2005).

Segundo Nicol e Humphreys (2002), o modelo adaptativo fundamenta-se no princípio que “se ocorre uma mudança de modo a produzir desconforto, as pessoas reagem de modo que tendem a restaurar sua condição de conforto”. Desta maneira, este modelo aborda a possibilidade das pessoas se adaptarem às mudanças térmicas ocorridas em seus ambientes, modificando vestimentas, alterando dispositivos de ventilação, etc. (NICOL e HUMPHREYS, 2002; MOUJALLED, CANTIN e GUARRACINO, 2008).

O modelo adaptativo aborda a relação da temperatura operativa e da temperatura do ar externo, onde a $T_o = 18,9^{\circ}\text{C} + 0,255 \times T_{\text{ext}}$, como pode ser notado no Gráfico 1. O conceito de temperatura operativa, segundo a Norma 15.220, descreve que é a temperatura uniforme de um ambiente com comportamento de corpo negro imaginário no qual o ocupante poderia trocar a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que no ambiente real não uniforme (ABNT, 2005; ASHRAE, 2010).

Gráfico 1 - Temperatura operativa aceitável para ambientes ventilados naturalmente



Fonte: ASHRAE Standard 55 (2010)

A temperatura operativa pode ser obtida a partir da equação abaixo, como resultado da ponderação entre a temperatura do ar e a temperatura radiante média do ambiente (ASHRAE, 2010).

$$T_o = \left(\frac{T_a + T_r}{2} \right) \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

T_o = temperatura Operativa

T_a = temperatura do ar

T_r = temperatura média radiante

O conforto térmico dos ambientes está diretamente ligado, entre outros fatores, ao desempenho termo energético do seu interior. O conforto térmico do ambiente também pode

ser influenciado pelo comportamento térmico da envoltória do edifício. Estudos demonstraram que alterações nos componentes da envoltória resultaram em alterações da temperatura operativa do ambiente interior, em função da temperatura radiante considerada na equação (BEKKOUCHE et al., 2011; BARRIOS et al. 2012; TALEGHANI et. al., 2013).

De acordo com Nicol e Humphreys (2002), a norma da ASHRAE, que aborda o modelo adaptativo, distingue as diferentes abordagens da temperatura, em função das diferentes circunstâncias avaliadas, por exemplo, as condições de conforto térmico no ambiente interior ajudam a decidir sobre a concepção de sistemas de aquecimento ou de arrefecimento (NICOL e HUMPHREYS, 2002; BORGESON e BRAGER, 2011).

2.2. MÉTODOS DE TRATAMENTO DE DADOS CLIMÁTICOS APLICADOS À ARQUITETURA E CLIMA

Monteiro (2003) descreve o clima como uma integração no tempo dos estados físicos do ambiente atmosférico, característico de certa localidade geográfica. Os principais elementos que compõem este ambiente atmosférico são radiação solar, temperatura, ventos, umidade do ar, além de elementos como precipitação, nebulosidade e pressão atmosférica. Clima urbano é o sistema que engloba o clima de um determinado espaço terrestre e a ação modificadora do homem (urbanização), onde o espaço urbanizado identificado a partir do sítio, constitui o núcleo do sistema que mantém relações íntimas com o ambiente regional em que se insere (ROMERO, 2000; MONTEIRO, 2003; EMMANUEL, ROSEN LUND e JOHANSSON, 2007).

A relação entre as variáveis climáticas e os elementos geográficos resulta em inúmeros tipos de clima diferentes. A identificação de características semelhantes permite a determinação de regiões climáticas, que podem ser classificadas de diversas maneiras. Em escala mundial, Olgyay destaca quatro tipos de climas principais: frio, temperado, quente e seco, e quente e úmido. A identificação destes climas permite observar diferentes estratégias na arquitetura vernacular, que demonstra o objetivo de controlar as trocas térmicas dos ambientes, independente de sua localização no mundo (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 1997; OLGAY, 2002; POUEY, 2011).

A influência das edificações sobre o clima é um fator relevante nessa discussão, por considerar as adaptações comportamentais, psicológicas e fisiológicas que ocorrem com o usuário do ambiente. A adaptação do corpo humano ao meio em que está inserido e a influência das edificações em seu microclima refletem na eficiência dos sistemas propostos

para regulação das trocas térmicas (AULICIEMS e SZOKOLAY, 1997; KRUGER e GIVONI, 2004; BARRIOS, et al., 2012).

A concepção de projetos de arquitetura e urbanismo deve considerar o clima do local e a influência do objeto edificado sobre as variações climáticas. Essa relação entre a massa edificada e o clima resulta em ambientes com conforto humano total, que representa a sensação de bem-estar físico e mental completo (CARVALHO, 2001; MONTEIRO, 2003; EMMANUEL, ROSENLUND e JOHANSSON, 2007).

A relação dos elementos climatológicos com o projeto de edificações ocorre em diferentes níveis e pode ser feita para escalas e soluções distintas, através de tratamentos específicos desses dados. O estudo dos dados climáticos de um local permite identificar os períodos de maior probabilidade de desconforto do ambiente, e consequentemente, definir as estratégias que devem ser incluídas no projeto para compensar essas condições (ANDRADE, 1996; ABOULNAGA e ELSHESHTAWY, 2001; MAHMOUD, 2011).

A aplicação de dados climáticos na arquitetura depende de métodos específicos que transformem a grande quantidade de informações em um instrumento que traduza as condições climáticas do local. A análise estatística descritiva, por exemplo, tem o objetivo de transformar os dados climáticos disponíveis em informações de mais fácil leitura e interpretação. A partir da análise descritiva, são avaliados os comportamentos de cada variável climática (GOULART, 1993). Os métodos de tratamento de dados climáticos, mais comumente utilizados na avaliação do desempenho térmico de edificações, têm sido: dia típico de projeto e ano climático de referência.

2.2.1. Dia típico de projeto

O dia típico de projeto é determinado a partir da frequência de ocorrência de dados climáticos horários em um determinado período de tempo. É uma ferramenta importante na determinação das exigências higrotérmicas de verão e inverno. Goulart (1993) comenta duas metodologias distintas aplicadas no Brasil: a primeira foi desenvolvida por Satller, em 1989, e a segunda pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). Comparando as duas metodologias, foi constatado que a metodologia de Satller é mais recomendável por resultar em dias com amplitudes de temperaturas próximas a amplitude média e dentro de uma faixa de maior frequência de ocorrência (GOULART, 1993) (BARRIOS *et al.*, 2012).

Segundo a metodologia de Satller, a temperatura média diária é calculada e disposta em ordem crescente para cada um dos dias do período de dados disponíveis. Em seguida, é determinado o conjunto de dias de temperaturas médias elevadas, considerando aproximadamente 15% do número total de dias, e o conjunto de dias de temperaturas médias mais baixas no período. Os dias encontrados correspondem aos períodos quente e frio, respectivamente (GOULART, 1993).

Os estudos normalmente definem mais de um dia típico, que são definidos pela frequência de ocorrência acumulada no período considerado. Desta maneira, pode-se optar por uma margem de segurança maior ou menor pelos níveis de frequência de ocorrência acumulada que vão de níveis 1%, 2,5%, 5% e 10% (GOULART, 1993).

Goulart (1993) afirma que metodologias semelhantes baseadas em dias típicos de projeto, também foram utilizadas na África do Sul, por Van Deventer, em 1971, e na Argentina, por Forn e Lotersztain, em 1973. Este método, aplicado isoladamente, não permite avaliar o desempenho energético de modo adequado, pois a variabilidade do tempo meteorológico de dia para dia influencia na resposta térmica do edifício, que está muitas vezes ligada ao dia anterior (LAMBERTS e NARANJO, 2011).

2.2.2. Ano climático de referência

O Ano Climático de Referência ou Test Reference Year (TRY) é um método de tratamento que reúne uma série de dados (variáveis meteorológicas) referentes ao período de um ano (8760 horas), que representam um período de referência climática para um dado local. Pietrobon (1999) afirma que o Ano Climático de Referência é o ano real que mais se aproxima da Normal Climatológica. O arquivo compreende variáveis como: Temperatura de bulbo seco; Temperatura de bulbo úmido; umidade relativa do ar; direção e velocidade dos ventos; nebulosidade; pressão barométrica, radiação solar, entre outros (BILBAO *et al.*, 2003).

Segundo a ASHRAE (1985 apud. GOULART, 1993) existem duas fontes de Ano Climático, desenvolvidas para cálculos de energia, utilizados nos Estados Unidos: O *Test Reference Year* (TRY), que foi preparado pelo *National Climatic Center* e o *Typical Meteorological Year* (TMY) que foi preparado pelo *Sandia Laboratories*. A principal diferença entre o TRY e o TMY está na metodologia, pois o primeiro é representativo de um ano real sem extremos de temperatura, enquanto o último é uma seleção dos meses sem extremos de temperatura para composição de um ano representativo.

O uso do TRY como instrumento de simulação de desempenho térmico no Brasil foi impulsionado por Goulart (1998), a partir da publicação Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 cidades brasileiras, apoiado pela Eletrobrás. A metodologia aplicada por Goulart foi desenvolvida por Stamper, em 1977, baseada na eliminação de anos de dados com temperaturas extremas. No Brasil, esta metodologia foi aplicada ainda por Carlo (2005), Trindade (2006), Matos (2007), Pereira (2009), Sorgato (2009), Negreiros (2010), Tavares (2012), entre outros.

Goulart (1993) descreve o procedimento utilizado:

“O procedimento é baseado na eliminação de anos de dados, os quais contêm temperaturas médias mensais extremas (altas ou baixas), até permanecer um ano, somente. Para isto, os meses são classificados em ordem de importância para cálculo de energia, analisando-se os valores médios mensais de temperatura do ar, anotando-se o mês mais quente e o mês mais frio, o segundo mês mais quente e o segundo mês mais frio e assim por diante, conforme aparecem as maiores e as menores temperaturas médias mensais, respectivamente” (GOULART, 1993).

A sequência é repetida após considerar os doze meses, porém invertendo-se o sentido de análise, ou seja, onde é quente passa a ser frio e vice-versa. Desta maneira, serão eliminados os anos que apresentarem temperaturas médias mensais extremas (mais altas ou mais baixas) e o procedimento é repetido até restar somente um. Este ano é designado como Ano Climático de Referência (GOULART, 1993).

O arquivo TRY é o método mais utilizado atualmente para uso em simulação computacional, principalmente, para avaliação de desempenho energético, mas também pode ser utilizado para outros usos no campo da eficiência energética, por ser um modelo representativo de um período de no mínimo 10 anos.

2.3. NORMATIZAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

As primeiras normas de eficiência energética em edificações surgiram a partir da crise de energia na década de 1970. Para Goulart (2005), diversos países lançaram programas de incentivo à redução do consumo de energia que resultaram em normas de eficiência energética. Atualmente, EUA, Canadá, México, Portugal, Espanha, Austrália, Nova Zelândia, Singapura, Hong Kong, Filipinas, dentre outros países, possuem algum tipo de norma ou lei em eficiência energética de edificações (GOULART, 2005; CARLO, 2008; BARELLI, BIDINI e PINCHI, 2009).

2.3.1. Normas Internacionais

A norma *Standard 90.1- Energy Conservation in New Building Design*, publicada pela ASHRAE, é pioneira e provavelmente a mais conhecida internacionalmente. Esta norma serviu de base para muitas outras normas posteriores. A norma *Standard 90.1* foi revisada em 1989 e recebeu a definição *Energy Efficient Design of New Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*, por excluir edifícios residenciais de baixa altura. Sua versão mais atual é de 2010. Em 2004, é publicada também a *Standard 90.2 – Energy efficient of Low-Rise Residential Buildings* para edifícios residenciais, com revisão mais atual em 2007. Nestas normas são considerados como parâmetros de avaliação de desempenho térmico de edificações a envoltória, sistemas de climatização e iluminação (GOULART, 2005; VENÂNCIO, 2007; CARLO, 2008).

A norma determina o zoneamento bioclimático para os Estados Unidos, por meio de cálculo de graus-dia, incluindo ainda cidades internacionais como oito cidades brasileiras. Suas diretrizes construtivas são relativas ao clima de cada cidade e estabelece o método prescritivo com limites máximos ou mínimos de resistência térmica, transmitância térmica e fator solar de materiais ou componentes da envoltória em função da massa do componente ou de sua orientação geográfica (GOULART, 2005; VENÂNCIO, 2007).

Países como a China, Índia, Madagascar e Egito desenvolveram zoneamentos bioclimáticos para obter estratégias para climas mais específicos. O Egito foi dividido em oito zonas bioclimáticas pela Housing and Building Research Center – HBRC. Sua divisão foi baseada na inserção de valores de temperatura média radiante (T_{mrt}) sobre a carta psicrométrica, com base na Carta desenvolvida por Givoni (MAHMOUD, 2011).

Mahmoud (2011) descreve seu método baseado no modelo Rayman, onde a T_{mrt} é calculada a partir de dados de temperatura de bulbo seco, umidade relativa do ar, velocidade do vento e vestuário (0,5 clo para verão e 1 clo para inverno). Este modelo utiliza médias mensais de dados de 30 anos medidos às 08h30 e 20h30.

“A principal vantagem do modelo Rayman é que ele facilita a determinação fiel do microclima demonstrando as modificações de diferentes ambientes ao ar livre, porque o modelo considera os efeitos das modificações de radiação da superfície das estruturas com muita precisão” (MAHMOUD, 2011).

O Chile publicou em 2009, *La Guía de Diseño para la Eficiencia Energetica en la Vivienda Social* pelo Ministério da *Vivienda y Urbanismo*. Este manual especifica

recomendações de diretrizes construtivas para projetos com eficiência de energia bem como garante conforto acústico e lumínico para as diferentes zonas bioclimáticas do país. O Chile é dividido em sete zonas bioclimáticas pela norma NCh 1079:2008 que classificou o clima a partir do método de graus-dia (BUSTAMANTE, 2009).

Na Venezuela, Gonzalez propôs uma nova zona de conforto térmico adaptada ao clima local, obtida através da superposição dos métodos de Givoni, Olgyay, ASHRAE, Yaglou-Drinker, Koenisgberger, Brooks (BOGO *et al.*, 1994). Na Austrália, cada estado possui seu próprio regulamento, mas todos são baseados no *Building Code of Australia* (BCA) reconhecido em 1997. Suas recomendações são relativas basicamente à envoltória do edifício e sua eficiência é avaliada por seu uso, sendo dividido em 10 classes desde residenciais comerciais e restaurantes (GOULART, 2005).

Um estudo desenvolvido por Janda e Busch (1994) foi realizado em 57 países para verificar a situação das normas de energia das edificações. Sua atualização avalia 81 países e resume a situação em escala mundial dos estudos realizados sobre Desempenho Térmico das Edificações, destacando apenas 40 países com normas obrigatórias e 21 países com recomendações (JANDA e BUSCH, 1994; JANDA, 2009).

2.3.2. Normas brasileiras

O interesse por desenvolver uma normalização sobre desempenho termo energético de edificações, no Brasil, surgiu com o primeiro grupo² de Conforto Ambiental e Eficiência Energética da ANTAC em 1988. De acordo com Ghisi *et al.* (2003), foi realizado o I Encontro de Conforto no Ambiente Construído, onde foram criados dois textos que foram apresentados ao Comitê Brasileiro de Construção Civil (COBRACOM), da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e um projeto internacional de desenvolvimento e compatibilização de normas envolvendo os países Brasil, Argentina e Uruguai.

Em 2005, foi publicada a norma 15.220, sobre Desempenho térmico de edificações pela ABNT, composta por cinco partes. Parte 1: Definições, símbolos e unidades; Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações; Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social; Parte 4:

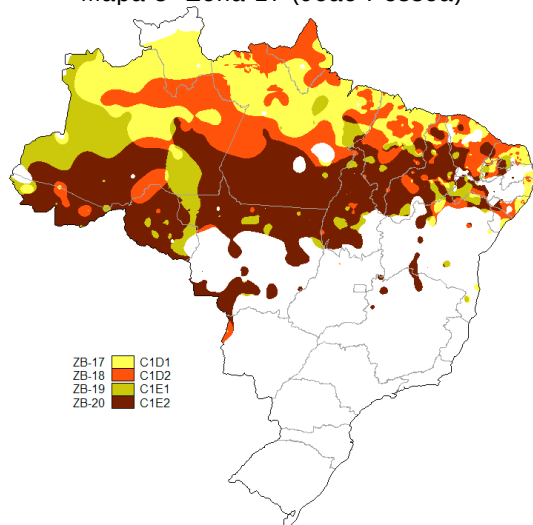
² A partir deste grupo, foi realizado o I Encontro Nacional sobre Normalização quanto ao Uso Racional de Energia e ao Conforto Térmico em Edificações em 1991.

Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida; Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico (ABNT, 2005).

A Parte 3 estabelece uma divisão do território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima, e são feitas recomendações de diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo, aplicáveis ainda na fase de projeto, que otimizam o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação ao clima. Para definição das diretrizes construtivas, foram considerados os seguintes parâmetros: 1. Envoltória (tipo de parede externa e tipo de cobertura), 2. Tamanho das aberturas para ventilação; 3. Proteção das aberturas; e 4. Estratégias de condicionamento térmico passivo (ABNT, 2005).

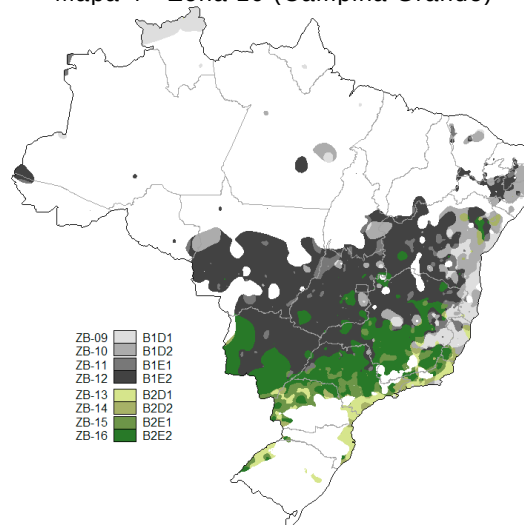
De acordo com a nova proposta de Zoneamento bioclimático, desenvolvida por Roriz (2012), João Pessoa faz parte da zona 17, do grupo com temperaturas médias anuais acima de 26°C, e Campina Grande faz parte da zona 10, do grupo com temperaturas médias anuais entre 20 e 26°C, como podem ser visualizados nos mapas abaixo.

Mapa 3- Zona 17 (João Pessoa)



Fonte: (RORIZ, 2012)

Mapa 4 - Zona 10 (Campina Grande)



Fonte: (RORIZ, 2012)

Foram publicados pelo INMETRO, o Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos (RTQ-C), em 2009, e o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética Edificações Residenciais, em 2012. Em 2013, foi publicada ainda a norma NBR 15.575, sob o título “Edificações Residenciais – desempenho” (INMETRO, 2009; INMETRO, 2012; ABNT, 2013).

2.4. EDIFÍCIO E ENVOLTÓRIA

O conceito de envoltória compreende as superfícies do edifício em contato com o meio externo, ou seja, o conjunto de paredes, aberturas e sua cobertura. A definição adequada dos componentes da envoltória é uma das formas mais eficazes para a conservação de energia em edifícios, pois a envoltória desempenha um papel importante na transferência de calor entre o ambiente interno e externo. Barrios *et al.* (2012), comenta que uma boa envoltória contribui para definir boas condições de conforto sem a necessidade de condicionamento ativo ou utilizando-os com o mínimo do consumo de energia.

Al-Sanea, Zedan e Al-Hussain (2013), comentam que o isolamento térmico e a massa térmica têm sido os dois principais parâmetros utilizados por anos para melhorar o desempenho térmico da envoltória. No entanto, esses parâmetros eram baseados no comportamento das propriedades dos materiais, sob condições de estado estacionário, implicando em condições de ambientes interiores e exteriores que não se alteram com o tempo, que modifica significativamente o desempenho térmico (BARRIOS *et al.* 2012; TALEGHANI, *et al.*, 2013).

Diversas pesquisas tem sido realizadas com o objetivo de avaliar o comportamento da envoltória sob condições dinâmicas, tais como: Cheng, Ng e Givoni (2005); Aste, Angelotti e Buzzet (2009); Bekkouche *et al.*(2011); Gasparella *et al.* (2011); Barrios *et al.* (2012); Friess *et al.* (2012); Ferrari e Zanotto (2012); Libbra, Muscio e Siligardi (2013); Mavromatidis, Bykalyuk e Lequay (2013); Al-Sanea, Zedan e Al-Hussai (2013). Al-Sanea, Zedan e Al-Hussain (2013), comentam que as condições dinâmicas permitem observar o comportamento das variáveis ao longo de tempo, representando melhor o desempenho termo-energético da envoltória real.

Cheng, Ng e Givoni (2005), investigaram o efeito da cor da envoltória sobre o desempenho térmico da envoltória, afirmando que a aplicação da cor é o meio mais simples e eficaz para reduzir a temperatura interna das edificações em climas quente e úmido. Os autores comentam que o consumo de energia de um edifício pode ser significativamente reduzido, limitando o ganho de calor solar através envelope, que depende da intensidade da radiação solar e da capacidade de absorção (cor) de superfície externa.

Aste, Angelotti e Buzzet (2009) destacam uma abordagem esquemática sobre o papel de cada parâmetro da envoltória analisado separadamente e sobre as possíveis sinergias entre eles. Estes autores comentam que a inércia térmica resulta de uma combinação de dois complexos parâmetros, a transmitância térmica e a admissão térmica e

complementam que “a fim de ter uma boa dinâmica, o comportamento de ambos deve assumir valores adequados, embora não seja necessário que eles apresentem os melhores desempenhos de valores” (ASTE, ANGELOTTI e BUZZET, 2009).

Barrios *et. al* (2012), comentam que coeficientes de transmissão térmica em estado estacionário, não são parâmetros adequados para avaliar a envoltória de edifícios sem ar-condicionado ou edifícios em climas com grande oscilação de temperatura exterior.

“Estes parâmetros são baseados na transferência de calor em estado estacionário, que podem ser uma aproximação aceitável para edifícios com ar-condicionado em climas com pequenos ganhos de calor e pequenas oscilações de amplitude da temperatura exterior comparadas com a média da diferença entre a temperatura interna e exterior. Mas esses parâmetros não são apropriados para avaliar o desempenho térmico da envoltória em edifícios ventilados naturalmente em climas com grandes oscilações de temperatura externa” (BARRIOS *et. al*, 2012, p. 120)

2.4.1. Fechamentos Opacos

Os fechamentos opacos, ou vedações externas, são compostos por paredes e coberturas. O desempenho térmico das paredes e coberturas está diretamente relacionado com a transmissão de calor, sendo o fluxo de calor³, que atravessa a parede variável em função da transmitância térmica do material, da emissividade e da absorptância solar, além da diferença de temperatura entre os meios externo e interno (LAMBERTS e NARANJO, 2011; BARRIOS *et al.*, 2012).

O conceito de transmitância térmica, conforme a NBR 15.220:1 é o inverso da resistência térmica que é “o somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais, interna e externa”. Seu símbolo é (U) e sua unidade $W/(m^2 \cdot K)$ (ABNT, 2005).

A emissividade e a absorptância são propriedades da superfície do material em função da radiação solar. A emissividade está relacionada com ondas longas e seu conceito segundo a norma de desempenho é “quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura”, cujo símbolo é (ϵ). A absorptância é o “quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma

³ O conceito de fluxo de calor é: “Quociente da quantidade de calor que atravessa uma superfície durante um intervalo de tempo pela duração desse intervalo” (ABNT, 2005).

superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície”, cujo símbolo é (α) (ABNT, 2005).

O uso de componentes construtivos na envoltória, sem a preocupação com a influência das propriedades térmicas de seus materiais, têm resultado em condições insatisfatórias de desempenho térmico em edificações de interesse social em todo o Brasil, influenciando diretamente no conforto térmico dos ambientes internos. Akutsu, Brito e Chieppe (2012) comentam sobre a resistência térmica dos materiais:

“Mesmo a inércia térmica tendo grande potencial para contribuir para a melhoria do desempenho térmico de edifícios, o conceito não tem sido utilizado no projeto de edifícios atuais com frequência. Ao contrário, há uma forte tendência de uso de elementos leves, geralmente pré-fabricados, na envoltória dos edifícios, priorizando questões relacionadas à racionalidade construtiva e à diminuição de cargas nas fundações dos edifícios, muitas vezes incorporando materiais isolantes térmicos com o intuito de aumentar a sua resistência térmica e assim, “melhorar” o seu desempenho térmico. Sabe-se, no entanto, que somente a resistência térmica das paredes de uma edificação não caracteriza completamente o seu comportamento térmico: há a necessidade de se considerar também a sua capacidade térmica. Neste sentido, a mera aplicação de materiais isolantes térmicos em uma parede, aumentando-se a sua resistência térmica, sem considerar a consequente alteração da sua capacidade térmica, pode piorar o seu desempenho térmico” (AKUTSU, BRITO e CHIEPPE, 2012, p 3220).

O atraso térmico é determinante na divisão dos grupos entre paredes e coberturas, que podem ser leves ou pesadas, conforme Tabela 1 acima. O conceito de atraso térmico segundo a NBR 15220 é “Tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor”. O símbolo que o representa é (ϕ) e sua unidade é (h) (ABNT, 2005). O anexo C da norma 15.220, resume estes pontos como pode ser visto na tabela 1 abaixo:

Tabela 1- Resumo das vedações externas

Vedações externas		Transmitância térmica - U	Atraso térmico horas	Fator solar-FS %
Paredes	Leve	$U \leq 3,00$	$\Phi \leq 4,3$	$FS \leq 5,0$
	Leve refletora	$U \leq 3,60$	$\Phi \leq 4,3$	$FS \leq 4,0$
	Pesada	$U \leq 2,20$	$\Phi \leq 6,5$	$FS \leq 3,5$
Coberturas	Leve isolada	$U \leq 2,00$	$\Phi \leq 3,3$	$FS \leq 6,5$
	Leve refletora	$U \leq 2,30$	$\Phi \leq 3,3$	$FS \leq 6,5$
	Pesada	$U \leq 2,00$	$\Phi \leq 6,5$	$FS \leq 6,5$

Fonte: ABNT, 2005

2.4.2. Fechamentos Transparentes

As aberturas, frequentemente constituídas por materiais transparentes, são responsáveis pela comunicação com o ambiente externo. O contato com o exterior possibilita a renovação do ar interno, a ventilação natural, a iluminação natural, a visão do exterior, entre outras funções. Essas trocas podem representar significativos ganhos ou perdas de calor (trocas térmicas).

Os fechamentos transparentes transmitem cargas térmicas diferenciadas para a zona em que estão contidas, mesmo que suas dimensões sejam igualmente proporcionais aos fechamentos opacos (mesma fachada), ou ainda que apresentem o mesmo tamanho. Isto ocorre devido a diferentes intensidades da radiação solar de cada orientação (CARLO, 2008). Com relação aos fechamentos transparentes ou aberturas, Amorim (1998) afirma que:

“(...) estas influem também na quantidade de radiação que entra na edificação, e na ventilação; por isto, quando se fala de orientação, é importante lembrar que as aberturas devem estar presentes nas paredes que recebem os ventos (...). Entra, portanto, em jogo, não somente um problema de orientação da edificação, mas de localização das aberturas, de forma a aproveitar os ventos, e a proteção das mesmas, para evitar a radiação” (AMORIM, 1998).

As recomendações da norma NBR 15.220 quanto às aberturas foram resumidas no anexo C da norma, com percentuais que variam entre pequenas, médias e grandes para ambientes de longa permanência. O tamanho das aberturas foi expresso como percentual de área do piso, como pode ser observado na tabela abaixo (ABNT, 2005).

Tabela 2- Aberturas para ventilação

Tamanho	A (em % de área do piso)
Pequenas	$10\% < A < 15\%$
Médias	$15\% < A < 25\%$
Grandes	$A > 40\%$

Fonte ABNT, 2005

O tamanho das aberturas ou dos fechamentos transparentes pode ser determinado ainda pelo percentual de área da fachada (PAF), como é utilizado no Regulamento Técnico da Qualidade do nível de Eficiência Energética de Edifícios - RTQ-C, entre outras normas além dos programas de simulação computacional (INMETRO, 2009).

As aberturas têm um efeito significativo na eficiência do consumo de energia do edifício, por permitir o controle da ventilação natural. A performance da ventilação natural resulta do desenho apropriado das aberturas do edifício, que devem considerar a influência das condições do local e seu microclima. A partir de modelos numéricos, é possível otimizar

o desempenho das aberturas, a partir de algoritmos específicos (STEPHAN, BASTIDE e WURTZ, 2011).

Segundo Pereira (2009), os resultados obtidos nas pesquisas que utilizaram simulação computacional em edifícios ventilados naturalmente que não incluíram a ventilação natural, apontam a envoltória como um importante fator na determinação do desempenho térmico da edificação.

“Modificações nas características da envoltória provocaram alterações consideráveis no desempenho do edifício. Já nas pesquisas que incluíam a ventilação natural, modificações no envelope provocaram pequenas, ou quase nenhuma, alterações no desempenho térmico da edificação” (PEREIRA, 2009).

As pesquisas que utilizam modelos numéricos de simulação computacional indicam que a simulação é uma importante ferramenta para análise de desempenho térmico, considerando que o pesquisador tenha o domínio do programa. Porém deve-se destacar que as ferramentas computacionais têm limitações, como por exemplo na determinação da velocidade interna do ar (PEREIRA, 2009).

O parâmetro de proteção dos fechamentos transparentes é fundamental para diminuir a transferência de calor pela radiação, e pode ser feita por vegetação, brises⁴ ou pelo tipo de esquadria escolhida. O tipo de brise e suas dimensões dependem da eficiência desejada, podendo controlar a incidência direta do sol em períodos específicos do dia e do ano. São determinados por geometria solar e podem ser horizontais, verticais ou mistos (LAMBERTS e NARANJO, 2011).

2.5. ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS

O conceito de arquitetura bioclimática foi utilizado inicialmente por Olgyay em 1953. As condições necessárias para uma relação adequada entre os edifícios e ambientes urbanos, com ênfase no consumo de energia, são um dos principais objetivos da arquitetura bioclimática. Romero (2000) comenta sobre a arquitetura bioclimática como “uma forma de desenho lógica que reconhece a persistência do existente, culturalmente adequada ao lugar e aos materiais locais, e que utiliza a própria concepção arquitetônica como mediadora entre o homem e o meio” (BOGO *et al.*, 1994; ROMERO, 2000; MACIEL, 2002).

⁴ Brises são elementos construtivos posicionados na fachada do edifício para proteger as aberturas da entrada de raios solares (LAMBERTS e NARANJO, 2011).

A arquitetura bioclimática tem demonstrado, ao longo dos anos, ser uma resposta eficiente no processo projetual pela importância de considerar o clima em que o edifício será inserido. Para que esta adequação seja feita, é necessário o estudo do clima local adaptado à arquitetura a partir da análise dos dados climáticos da região. Goulart (2007) diz que:

“O princípio básico para obter edifícios eficientes em termos de energia é fazer o melhor uso de recursos climáticos locais para, então, fornecer condições internas confortáveis. Portanto, a classificação de regiões climáticas e o estudo do efeito dos diferentes climas no projeto são os principais fatores para a implementação e aplicação de um código de energia em edifícios. Como visto, as normas de energia fornecem as estratégias e os requerimentos prescritivos de acordo com as regiões climáticas” (GOULART, 2007, p. 21).

Olgyay (1963) divide o processo de adequação da edificação ao clima em quatro passos, iniciando com a análise dos elementos climáticos de um dado local, considerando que cada elemento produz um impacto diferente sobre a edificação. O segundo passo está associado ao impacto do clima em termos fisiológicos, baseado em sensações humanas. O terceiro passo é analisar as soluções tecnológicas adequadas para cada problema de conforto climático e, no último passo, combinar as soluções de acordo com sua importância na edificação.

O entendimento do clima onde a edificação será inserida é primordial para o processo projetual da arquitetura. Existem diversas estratégias bioclimáticas que conduzem as diretrizes construtivas de uma edificação. O método de Mahoney e o método de Givoni utilizados pela norma NBR 15.220 são formas de definição dessas estratégias.

2.5.1. Carta bioclimática

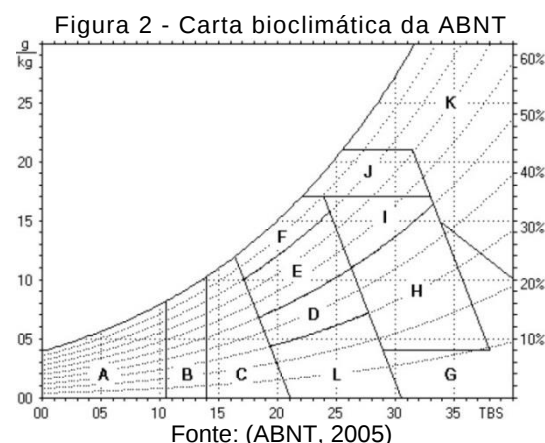
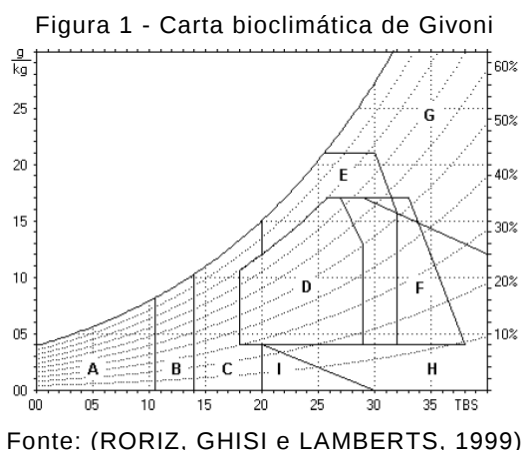
A primeira Carta Bioclimática foi desenvolvida em 1963 por Olgyay, a partir de uma análise de dados climáticos relacionados a um diagrama psicrométrico. A temperatura efetiva⁵ foi utilizada como parâmetro para definir a zona de conforto, considerando a atividade como sedentária e o índice de vestimenta de 1 Clo. Em 1968, Olgyay propõem uma revisão da carta, que consegue analisar tanto climas temperados quanto quentes e úmidos (ANDRADE, 1996; OLGAYAY, 2002).

A partir de pesquisas realizadas nos EUA, Europa e Israel, Givoni propôs uma nova carta baseada no Índice de Stress Térmico, que descreve os mecanismos de troca de calor

⁵ Temperatura efetiva é a temperatura operativa de um ambiente com 50% de umidade relativa que resulta na mesma troca total de calor do corpo humano que um ambiente real (ABNT, 2005).

entre o corpo e o meio ambiente. A Carta Bioclimática de Givoni sofreu mudanças significativas quando foi observado que pessoas que viviam em regiões quentes e úmidas se sentiam confortáveis com valores superiores à zona definida pelos padrões de conforto da ASHRAE, conduzindo Givoni a propor uma carta específica para esses países, no intuito de determinar diretrizes baseadas em diagramas de conforto distintos dos países temperados (BOGO *et al.*, 1994; POUEY, 2011).

Através da análise comparativa realizada por Bogo *et al.* (1994) entre diversos métodos de definição de limites de zonas de conforto e estratégias, foi observado que a carta de Givoni é a mais adaptável ao clima tropical por considerar a influência da aclimatização de pessoas de regiões caracterizadas por este tipo de clima. Apesar de ser um dos métodos selecionados pela norma NBR 15.220 (ABNT, 2005), a carta desenvolvida por Givoni foi adaptada para melhor traduzir a realidade brasileira. Pode-se observar na Figura 2, a carta adaptada para norma a partir da carta de Givoni.



Enquanto a carta de Givoni determina nove estratégias bioclimáticas, a carta da norma determina onze estratégias, por apresentar duas zonas de conforto. A. zona de aquecimento artificial; B. Zona de aquecimento solar de edificação; C. Zona de massa térmica para aquecimento; D. Zona de conforto térmico (baixa umidade); E. Zona de conforto térmico; F. Zona de desumidificação (renovação do ar); G+H. Zona de resfriamento evaporativo; H+I. Zona de massa térmica de refrigeração; I+J. Zona de ventilação; K. Zona de refrigeração artificial; L. Zona de umidificação do ar térmico (RORIZ, GHISI e LAMBERTS, 1999).

Dentre as onze zonas da carta bioclimática, duas são relativas a conforto térmico (D. Zona de conforto térmico; E. Zona de conforto térmico) e duas são relativas a condicionamento ativo (A. zona de aquecimento artificial; K. Zona de refrigeração artificial). As demais estratégias devem ser utilizadas ainda na fase de projeto: massa térmica para

aquecimento e massa térmica de refrigeração; resfriamento evaporativo; ventilação e umidificação do ar.

- a) **Massa térmica para aquecimento ou refrigeração:** Esta estratégia consiste em utilizar componentes construtivos que tem capacidade de armazenar calor e retardam a transferência de calor para o ambiente. No caso da massa térmica para aquecimento, o objetivo é manter o ambiente interno com temperatura maior que a do ambiente externo. A massa térmica para aquecimento é associada, na maior parte das vezes, à estratégia para uso de aquecimento solar (BEKKOUCHE *et al.*, 2011). A estratégia de inércia térmica consiste na utilização de componentes construtivos com elevada capacidade térmica para reduzir a relação entre a temperatura interna e externa do ambiente. Utilizada também para refrigeração, é ideal para climas com alta amplitude térmica, onde a temperatura atinge valores muito altos durante o dia e muito baixos durante a noite. (ANDRADE, 1996; LAMBERTS e NARANJO, 2011). A massa do edifício é frequentemente adotada com indicador simplificado de inércia térmica, mas a pesquisa de Aste, Angelotti e Buzetti (2009), demonstra que a relação com as propriedades dinâmicas da envoltória devem ser investigadas para uma melhor definição de inercia térmica, ou seja, a massa observada isoladamente não é um bom indicador de inércia térmica (ASTE, ANGELOTTI e BUZZET, 2009).
- b) **Resfriamento evaporativo:** O resfriamento evaporativo é uma estratégia que diminui a temperatura do ambiente, aumentando a umidade do ar. Para climas quente e seco, pode ser obtida de forma direta ou indireta, com uso de vegetação, fontes de água ou asperção de água sobre a cobertura (ANDRADE, 1996).
- c) **Ventilação:** De acordo com ASHRAE (2003), a estratégia da ventilação pode ser dividida em natural ou mecânica. A ventilação natural é o fluxo de ar que entra pelas aberturas, através das diferenças de pressão entre os ambientes internos e externos, enquanto a ventilação mecânica resulta do uso de equipamentos (ventiladores ou exaustores) para forçar o movimento de entrada e saída do ar no ambiente. Além da ventilação, as trocas de ar entre ambientes internos e externos também podem ocorrer por infiltração. Segundo Sorgato (2009), a infiltração é o fluxo incontrolado de ar do exterior para o interior da edificação, que ocorre através das frestas e aberturas. A estratégia de ventilação natural funciona renovando o ar interno, quando estiver mais quente, pelo ar externo, mais frio. Segundo Sorgato (2009), a ventilação natural

depende de duas categorias de fatores: variáveis e fixos. Os fatores variáveis incluem os regimes dos ventos, comportamento das temperaturas e umidades, enquanto os fatores fixos são relativos ao entorno natural e edificado, à orientação e à tipologia dos edifícios, principalmente os tipos de aberturas. Segundo Givoni (1991), o uso da ventilação natural é a melhor estratégia para se minimizar o efeito fisiológico causado pela alta umidade, pois a taxa de evaporação na superfície da pele aumenta à medida que aumentam também as velocidades do ar no ambiente. Funciona como renovação de ar, com efeito higiênico e como regulador da temperatura, com efeito térmico. Para climas quentes e úmidos, é importante durante todo o dia. Pode ser aplicado de três maneiras: ventilação cruzada, ventilação de cobertura e piso sob a edificação (GIVONI, 1991; SORGATO, 2009; LAMBERTS e NARANJO, 2011).

- d) **Umidificação do ar:** Esta estratégia é destinada a climas secos, quando a temperatura apresenta-se menor que 27°C e a umidade estiver abaixo de 20%. Devem ser utilizados recursos com fontes d'água para o aumento da umidade do ar (ANDRADE, 1996).

2.6. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO

Uma análise sobre os principais métodos de avaliação de desempenho térmico ambiental utilizados no Brasil pode ser encontrada no trabalho de Barbosa *et al.* (2003). Esses métodos subsidiaram a elaboração e revisão de normas técnicas brasileiras.

O método utilizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) adota tabelas de referência baseadas na ASHRAE 90.1 e avalia o desempenho a partir de simulação de protótipos para dias típicos de verão e inverno. O critério de conforto é baseado na ISO 7730, que considera a equação de Fanger. Os índices de referência de conforto são: umidade relativa do ar entre 40% e 60%, para o período diurno, temperatura média radiante considerada igual à temperatura do ar, velocidade do ar no verão igual a 0,5 m/s. A taxa de metabolismo do usuário igual a 47 W/m² dormindo e 70 W/m² em serviços leves. O índice de resistência térmica das roupas é de 0,35 clo para verão e 0,80 clo para inverno (BARBOSA *et al.*, 2003).

No método adotado no RTQ-C, denominado de método prescritivo, o desempenho térmico da edificação é obtido através de uma equação geral de classificação de eficiência, que consiste em verificar se o projeto segue determinadas recomendações, a partir de

fórmulas específicas para cada local. A equação do RTQ-C apresenta pesos distintos para os parâmetros analisados. cada parâmetro recebe um equivalente numérico, sendo 40% para envoltória, 30% para condicionamento de ar e 30% para o sistema de iluminação (CARLO e LAMBERTS, 2010).

Uma revisão dos índices para avaliação de conforto térmico foi desenvolvido por Carlucci e Pagliano (2012) e reúne os principais métodos disponíveis, baseados em índices simétricos e assimétricos. Os métodos são baseados no cálculo de balanço térmico, parâmetros comportamentais, em modelos de conforto específico, como por exemplo, o modelo de Fanger, expressa em PMV, ou o modelo adaptativo, a partir da temperatura operativa. Os critérios podem ser PPD ponderado, PPD acumulado, graus-hora, entre outros, como o *ExceedanceM*, proposto por Borgeson e Brager (2011).

Os principais métodos utilizados atualmente são: o método do percentual de horas de desconforto por calor e por frio, e o método de graus-hora para resfriamento e para aquecimento. Carlucci e Pagliano (2012) comentam que os índices de conforto não expressam todas as condições de conforto encontradas no edifício, devendo-se tomar cuidado na escolha e na maneira de usá-los no processo.

2.6.1. Método de percentual de horas de desconforto

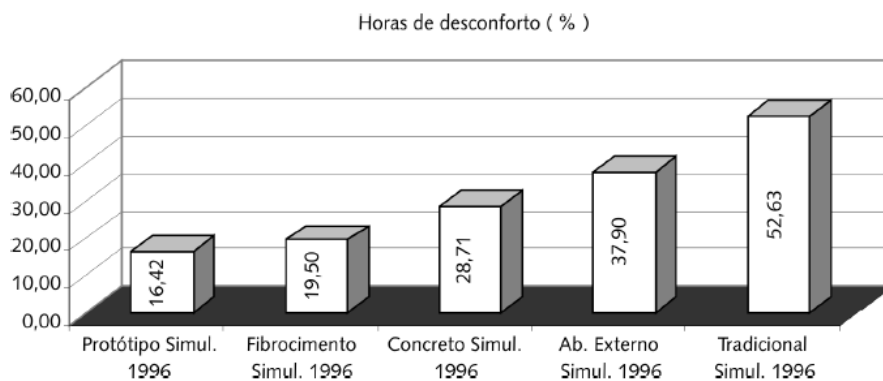
O parâmetro adotado como critério de avaliação é o total de horas por ano que as temperaturas internas, considerando uma temperatura base, apresentam desconforto por calor e outra temperatura para desconforto por frio. De acordo com Carlucci e Pagliano (2012), o percentual de horas fora de um determinado intervalo de conforto é um método fácil e simples para comparar o desempenho de diferentes edifícios em climas diferentes.

A escala utilizada neste método é definida em porcentagem a partir do zero, não possuindo um limite máximo pré-determinado, por dificultar a comparação de performance de edifícios em diferentes condições climáticas. Segundo Carlucci e Pagliano (2012), este limite é definido geralmente por normalização.

Avaliando os resultados deste método, aplicado no estudo de Barbosa *et al.* (2003), pôde-se verificar que as unidades habitacionais que tiveram melhor desempenho térmico também apresentam uma porcentagem de horas de desconforto menor que 20% ao ano, ou seja, considerando o limite de horas de desconforto aceitáveis em 20% ao ano, somente duas unidades habitacionais das estudadas em Londrina seriam adequadas ao clima: a

casa de blocos cerâmicos e a casa de fibrocimento. O estudo compara o desempenho de diferentes sistemas construtivos, resultando no Quadro 1 abaixo.

Quadro 1 - Horas de desconforto por simulação com TRY



Fonte: Barbosa *et al.* (2003)

É importante destacar que o método de simulação, utilizando o arquivo do ano climático de referência – TRY - obteve os resultados mais próximos do monitoramento realizado nas unidades construídas para esta pesquisa (BARBOSA, *et al.*, 2003). As críticas abordadas em estudos destes métodos referem-se à limitação em determinar o desconforto causado pela temperatura que excedeu o limite estabelecido, como cita Negreiros (2010):

“Neste método, a análise se detém na contagem total de horas com temperatura interna fora da zona de conforto e menor ocorrência de horas de desconforto. Desta forma, através do índice de conforto têm-se quantas horas uma alternativa está em conforto ou não. Assim como na contagem de fração de horas totais de conforto com temperatura do ar interna na zona de conforto, a utilização deste método como única forma de avaliação leva a inobservância da constância de temperaturas do ar ocorridas no período de análise. Esta característica não permite o estudo das temperaturas do ar atingidas, podendo estas ter excedido em muitos graus a temperatura do ar limite, causando grande desconforto, como também pode exceder em poucos graus, não provocando grande desconforto ao usuário (NEGREIROS, 2010, p.7).

Este método foi utilizado por Pereira (2009), em sua pesquisa sobre a influência do envelope no desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ocupadas e ventiladas naturalmente, que verificou a influência das propriedades térmicas dos componentes sobre o desempenho térmico da envoltória. A partir das simulações dos fechamentos opacos, observou-se que “para as variações de cobertura, a transmitância, a capacidade e o atraso térmicos influenciam de forma semelhante às horas de desconforto (R^2 varia pouco)”(PEREIRA, 2009, p. 92.). Para entender melhor o desempenho da envoltória, foram avaliados também os ganhos de calor de cada componente.

2.6.2. Graus-hora para resfriamento e aquecimento

Graus-dia e Graus-hora são métodos desenvolvidos pela ASHRAE para cálculo de consumo de energia e um dos métodos de avaliação de desempenho mais utilizado atualmente. O Graus-dia é calculado tomando-se como base a temperatura de conforto máxima (para resfriamento) e mínima (para aquecimento), que devem ser subtraídas das temperaturas médias diárias de bulbo seco (T_{med}).

Goulart (1993) descreve Graus-dia como um parâmetro climático definido como o somatório da diferença de temperaturas, quando estas se encontram acima ou abaixo de uma temperatura base (T_b), como pode ser observado na equação 2. O valor resultante desta equação é utilizado para aquecimento, ou seja, quando a temperatura média diária for menor que T_b , calcula-se a diferença, somando-se os valores para todo o ano. Da mesma maneira, quando ela for maior que T_b , o resultado desta soma ($T_{med} - T_b$) é utilizado para cálculo de resfriamento. (BARRIOS *et al.*, 2012):

$$\text{Graus-dia} = \sum (T_b - T_{med}) \quad (\text{Equação 2})$$

O método Graus-hora pode ser estimado de maneira similar, porém somando-se as temperaturas horárias de bulbo seco (T_{ar}) em vez de temperaturas médias diárias, conforme equação 2. Considerando os novos modelos adaptativos utilizados recentemente, esta equação pode utilizar a temperatura operativa como parâmetro para substituir a temperatura externa em condições de avaliação de ambientes internos (CARLUCCI e PAGLIANO, 2012).

$$\text{Graus-hora} = \sum (T_b - T_{ar}) \quad (\text{Equação 3})$$

As críticas relativas à este método comentam a ausência da distribuição das temperaturas ao longo do ano, como afirma Negreiros (2010):

“No método de contagem de graus-hora, a contagem de horas em desconforto mostra a intensidade do nível de desconforto, porém a distribuição das temperaturas atingidas ao longo do ano não é percebida, podendo ter um ambiente que atinja temperaturas bem mais elevadas que outro, mesmo os dois tendo o mesmo valor de graus-hora. Este índice geralmente é usado para estimar a energia necessária a ser gasta com sistemas de condicionamento artificial de ar” (NEGREIROS, 2010, p. 8)

Este método foi utilizado, entre outros autores, por Matos (2007), em sua pesquisa sobre Simulação computacional do desempenho térmico de residências em Florianópolis

utilizando a ventilação natural. Os resultados mostram diferenças significativas na quantidade de graus-hora para resfriamento e para aquecimento, quando simuladas diferentes configurações de envoltória, a partir do TRY da cidade de Florianópolis.

2.7. PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Diversos métodos numéricos, ou programas de simulação computacional, foram elaborados para prever, entre outros, o comportamento térmico da envoltória do edifício. Bekkouche *et. al* (2011), comenta que estes modelos permitem a avaliação de temperaturas internas relacionadas ao conforto térmico (BEKKOUCHE *et al.*, 2011).

Segundo Carlo e Lamberts (2010) a simulação computacional na avaliação de desempenho térmico, comparando-se a métodos mais simplificados, permite mais flexibilidade na concepção do edifício, destacando que muitos casos só podem ser avaliados pela simulação. Além do método prescritivo, o RTQ-C permite que o desempenho térmico da edificação possa ser avaliado através da simulação computacional.

Os programas de simulação computacional são os métodos mais utilizados para avaliação de desempenho, por sua precisão e eficácia. As limitações quanto à escolha do programa de simulação são relativas à eficiência de seus resultados. O Departamento de Energia dos EUA afirma que existem 408 programas de simulação listados no *Building Energy Tools Directory* (U. S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2012).

Os programas mais utilizados atualmente são o EnergyPlus, DOE-2, Radiance, Design Builder, entre outros. Os programas de simulação permitem, entre outros usos, simular o comportamento termo-energético de uma edificação em fase de projeto, possibilitando alterações projetuais e comparações entre testes antes de sua construção, resultando em edifícios mais eficientes energeticamente (MATOS, 2007; PEREIRA, 2010; VENÂNCIO, 2009; NEGREIROS, 2010; TAVARES, 2011).

O programa Design Builder foi organizado para modelar seguindo uma hierarquia, conforme quadro 2 abaixo. São necessárias configurações iniciais no padrão de atividade, padrão construtivo, padrão de consumo energético, sistema de condicionamento de ar.

Quadro 2 - Hierarquia DesignBuilder

1	Site	Sítio onde se localiza a edificação. As informações do sítio se referem à localização (<i>location</i>), aos dados climáticos (<i>hourly weather data</i>) e às propriedades do piso (<i>ground</i>)
2	Building	Consiste na edificação representada pelo modelo. Pode ser formada pelo agrupamento de blocos e zonas
3	Block	Os blocos são as formas geométricas básicas do <i>DesignBuilder</i> e são delimitados pelas paredes externas de uma edificação ou de parte dela.
4	Zone	As zonas são criadas a partir da subdivisão de blocos (por <i>partitions</i>) e visam caracterizar ambientes com diferentes características de uso ou climatização
5	Surface	As superfícies formam as zonas e podem ser acessadas individualmente na barra de navegação.
6	Opening	As aberturas são os últimos elementos da hierarquia, podendo ser criadas individualmente no nível da superfície (na barra de navegação) ou segundo parâmetros estipulados na barra de <i>variáveis opening</i> .

Fonte: Venâncio, 2009

Os dados de entrada que permitem simular um determinado clima incluem dados horários de anos típicos, além das médias mensais de temperatura do solo. A interface deste programa utiliza os algoritmos do Energyplus, com processo de modelagem mais simples (VENÂNCIO, 2009).

O programa Design Builder permite desenvolver o cálculo de carga térmica, análise de custo do consumo de energia elétrica, cálculo do nível de conforto térmico através dos índices (PMV, PPD, temperatura operativa, entre outros) em edifícios com sistemas de condicionamento de ar artificiais ou edifícios naturalmente ventilados. Os dados de saída incluem planilhas, gráficos e tabelas e podem ser calculados com dados horários, diários, mensais ou anuais.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram definidas quatro etapas principais: 1) caracterização do clima, 2) caracterização do caso base e dos modelos de referência, 3) configuração dos modelos de simulação computacional, 4) método de avaliação de desempenho térmico. Estas etapas serão descritas a seguir.

3.1. CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA

A caracterização do clima foi realizada a partir de dados horários dos anos típicos de referência das cidades estudadas. O método escolhido para tratamento de dados foi a análise estatística descritiva do Ano Climático de Referência (TRY). De acordo com Lamberts e Naranjo (2011) o TRY mostrou ser uma base de dados mais precisa para análise da adequação da edificação ao clima, além de permitir a simulação horária do consumo de energia durante um ano para a edificação.

Os TRY utilizados foram formatados pelo grupo de pesquisadores da ANTAC e estão disponíveis para *download* no site do LABEEE-UFSC. Os arquivos dos Anos Típicos foram transformados do formato original .EPW para o formato .CSV editável no programa Excel, utilizando o programa auxiliar do Energy Plus para conversão *Weather Converter*, disponível para *download* no site do Departamento de Energia dos Estados Unidos <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>>.

Cada arquivo possui 8760 horas de dados, relativos ao período de um ano. Esses dados compreendem um conjunto de variáveis climatológicas, dentre as quais estão: temperatura de bulbo seco (°C), temperatura de ponto de orvalho (°C), umidade relativa (%), pressão atmosférica (Pa), radiação extraterrestre horizontal (Wh/m²), radiação extraterrestre direta normal (Wh/m²), radiação global horizontal (Wh/m²), radiação direta normal (Wh/m²), radiação difusa horizontal (Wh/m²), iluminância global horizontal (lux), iluminância direta normal (lux), iluminância horizontal difusa (lux), direção dos ventos (graus), velocidade dos ventos (m/s), entre outros.

A caracterização do clima foi dividida em duas etapas: definição das cartas bioclimáticas e tratamento dos dados climáticos.

3.1.1. Definição das cartas bioclimáticas

Nesta fase, foram observados os comportamentos dos climas das seis cidades da Paraíba que possuem dados horários medidos em estações climatológicas automáticas. As cartas bioclimáticas permitiram entender as principais estratégias de condicionamento passivo indicadas para cada cidade, auxiliando no entendimento do perfil climático urbano. Comparando as seis cidades, foram observadas as cidades que apresentaram desempenhos distintos, e selecionadas três cidades para aplicação nesta pesquisa.

Para cada cidade, foram inseridos dados horários de temperatura e umidade sobre a Carta Bioclimática. Foi utilizado o modelo da carta adaptada para norma NBR 15.220 a partir do programa CB15220 desenvolvido pelo Prof. Dr. Maurício Roriz, e atualizado recentemente em contribuição a esta pesquisa. O programa insere 8760 horas de cada variável, relativo a um ano típico completo, gerando um gráfico que reúne em cada estratégia pontos que representam a relação entre a temperatura do ar e umidade relativa.

3.1.2. Tratamento dos dados climáticos

A análise do perfil climático foi baseada na metodologia de análise estatística descritiva. A partir da série de dados climatológicos com medições horárias, as variáveis foram divididas e tratadas no programa Excel em planilhas e gráficos para auxílio da análise.

Foi analisado o comportamento mensal das seguintes variáveis: temperatura de bulbo seco e amplitude térmica, umidade relativa do ar, precipitação, direção e velocidade do vento. Para a variável temperatura de bulbo seco e para umidade relativa do ar, foram calculadas médias, máximas e mínimas diárias. Em seguida, foram calculadas médias mensais das temperaturas médias, médias mensais das máximas e médias mensais das mínimas, além das máximas e mínimas absolutas mensais.

Para a variável precipitação, foram observados os comportamentos mensais, identificando os meses mais e menos chuvosos. Para o tratamento da variável vento, foi elaborado um modelo gráfico conhecido como rosa dos ventos para indicar o comportamento da direção e velocidade predominantes. Foi utilizado o programa WRPLOT View, desenvolvido pela Lakes Environmental, que está disponível no site <<http://www.weblakes.com>> para *download*.

3.2. CARACTERIZAÇÃO DO CASO BASE E DOS MODELOS DE REFERÊNCIA

Para as simulações, foi adotado um modelo representativo de habitação de interesse social desenvolvido pelo Programa Minha Casa Minha Vida, do Governo Federal em parceria com os estados e municípios, gerido pelo Ministério das Cidades e operacionalizado com recursos da CAIXA. A unidade residencial unifamiliar possui 35 m² de área total construída, com os seguintes ambientes: 1 sala, 1 cozinha, 1 banheiro e 2 quartos. A edificação é térrea e possui a cobertura em duas águas no sentido leste/ oeste, conforme Figura 3 e 4 abaixo, com a planta baixa e perspectiva do modelo base.

Figura 3 – Planta baixa do modelo base



Fonte: Autor

Figura 4 – Perspectiva do modelo base



Fonte: Autor

A orientação solar é uma variável que exerce forte influência no desempenho térmico da envoltória, tendo como base a investigação de Amorim (1998), adotou-se a orientação Sul na fachada principal, para todas as simulações desta pesquisa.

3.2.1. Definição das variáveis dos fechamentos opacos

Os fechamentos opacos analisados neste trabalho diferenciam-se a partir de variações nas propriedades de transmitância térmica e atraso térmico, objetivando verificar o comportamento das vedações externas quanto ao isolamento e à inércia térmica.

A análise do sistema construtivo foi baseada em uma amostra das tipologias de edificações de interesse social construídas no período de 2000 a 2010, fornecidas pela

Prefeitura municipal de João Pessoa. Foram identificados 17 projetos distintos, sendo utilizados cinco como amostra para esta pesquisa. O levantamento reuniu as principais características das edificações em cada um dos projetos. A partir do referido levantamento, observou-se que grande parte das unidades isoladas utiliza tijolos de oito furos, reboco interno e externo nas paredes e telha de barro sem forro na cobertura. Esta solução foi adotada em um dos tipos de fechamento opaco, vertical e horizontal, investigados neste trabalho e foi denominada de modelo base (PA e CA).

A partir das indicações de fechamento vertical opaco sugeridos pela norma NBR 15.220 (ABNT, 2005), foram selecionadas 2 tipos de fechamento vertical opaco - considerando o menor e maior valor de transmitância térmica e atraso térmico, indicados para todas as zonas bioclimáticas. Seguem abaixo os códigos e descrições dos tipos de fechamentos verticais opacos (parede) adotados para esta pesquisa, com os valores das seguintes propriedades térmicas U (transmitância térmica), C_t (Capacidade térmica), α (absortância solar); Φ (atraso térmico), Tabela 3.

Tabela 3 – Propriedades dos fechamentos verticais opacos

Código	Descrição	U [W/(m ² . K)]	C_t [kJ/(m ² . K)]	α	Φ [horas]
PA (modelo base)	Parede de tijolos de 8 furos circulares, assentados na menor dimensão. Dimensões do tijolo: 10,0x20,0x20,0 cm Espessura total da parede: 15,0 cm	2,24	167	0,20	3,7
PB	Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 5,0 cm	5,04	120	0,20	1,3
PC	Parede dupla de tijolos de 8 furos circulares, assentados na maior dimensão. Dimensão do tijolo: 10,0x20,0x20,0 cm Espessura total da parede: 46,0 cm	0,98	368	0,20	10,8

Fonte: Adaptado de ABNT (2005)

Em seguida, foram selecionados 4 tipos de fechamentos horizontais opacos, considerando também o menor e maior valor de transmitância térmica e atraso térmico, indicados pela norma NBR 15.220 (ABNT, 2005). Seguem abaixo os códigos e descrições dos fechamentos horizontais opacos (cobertura) adotados nesta pesquisa, Tabela 4.

Tabela 4 - Propriedades dos fechamentos horizontais opacos

Legenda	Descrição	U [W/(m ² .K)]	Ct [kJ/(m ² .K)]	α	φ [horas]
CA (modelo base)	Cobertura de telha de barro com forro de concreto. Espessura da telha: 1,0cm Espessura do concreto: 3,0cm	2,24	84	0,7	2,6
CB	Cobertura de telha de barro com 5,0 cm de lã de vidro sobre o forro de madeira. Espessura da telha: 1,0cm Espessura da madeira: 1,0cm	0,62	34	0,7	3,1
CC	Cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 25 cm. Espessura da telha: 1,0cm	1,03	561	0,7	13,4
CD	Cobertura de telha de fibrocimento sem forro Espessura da telha: 0,7cm	4,60	18	0,7	0,2

Fonte: Adaptado de ABNT (2005)

3.2.2. Definição das variáveis dos fechamentos transparentes

Os fechamentos transparentes foram analisados em duas etapas: na primeira fase adotou-se um modelo base de abertura, constituído de janelas de correr em alumínio e vidro, com 50% da área de ventilação (1 folha fixa e 1 folha de correr) com dimensões distintas em função dos ambientes, esta configuração foi simulada para todos os tipos de fechamento opaco em análise.

Na segunda fase, foram acrescentadas três variações nas aberturas: o tamanho da abertura, o tipo de abertura e o uso de proteção solar. Essas variações foram investigadas somente com os tipos de fechamento opaco que obtiveram o melhor e o pior desempenho, dentre as combinações dos fechamentos opacos analisados na primeira fase.

Figura 5 - Tipos de aberturas



Fonte: Autor

O tamanho da abertura foi simulado com três variações: 15%, 25% e 40% do percentual de abertura em relação ao piso. Para configuração das aberturas no programa, foi necessário reverter o percentual de abertura em relação ao piso (PAP) para o percentual de abertura em relação à fachada (PAF). A relação entre a área do piso e a área da fachada foi determinada por abertura.

O uso da proteção solar foi analisada a partir de duas variações, sendo utilizado um tipo de esquadria com proteção solar e a inserção da proteção solar externa. Cada tamanho de abertura foi simulado com dois tipos de esquadrias: o primeiro tipo é composto por janelas de correr em alumínio e vidro e o segundo tipo é composto por venezianas fixas. Este segundo tipo de esquadria permite a entrada de ventilação mesmo fechada, no entanto, diminui a incidência de iluminação natural e os ganhos de calor pelas aberturas.

Na análise da proteção solar externa, foram avaliados todos os tamanhos, 15%, 25% e 40%, sombreados com brise horizontal. A definição do tipo de proteção solar externa teve como condicionante o custo e simplificação da execução (habitações de interesse social). Foi considerado um elemento horizontal em concreto armado, posicionado acima das janelas, com 0,80m de profundidade e largura variando de acordo com o tamanho das janelas.

Tabela 5 – Características dos fechamentos transparentes

Legenda	Descrição	FS	PAP
A	Janelas de correr com esquadrias de alumínio com 3 cm de espessura e vidro simples de 4 mm incolor sem proteção solar	0,90	15%
A_P	Janelas de correr com esquadrias de alumínio com 3 cm de espessura e vidro simples de 4 mm incolor com proteção solar	0,90	15%
A_V	Janelas de madeira com veneziana fixa horizontal sem proteção solar	0,90	15%
B	Janelas de correr com esquadrias de alumínio com 3 cm de espessura e vidro simples de 4 mm incolor sem proteção solar	0,90	25%
B_P	Janelas de correr com esquadrias de alumínio com 3 cm e vidro simples de 4 mm incolor com proteção solar	0,90	25%
B_V	Janelas de madeira com veneziana fixa horizontal sem proteção solar	0,90	25%
C	Janelas de correr com esquadrias de alumínio com 3 cm de espessura e vidro simples de 4 mm incolor sem proteção solar	0,90	40%
C_P	Janelas de correr com esquadrias de alumínio com 3 cm de espessura e vidro simples de 4 mm incolor com proteção solar	0,90	40%
C_V	Janelas de madeira com veneziana fixa horizontal sem proteção solar	0,90	40%

Fonte: Autor

3.3. CONFIGURAÇÃO DOS MODELOS DE SIMULAÇÃO

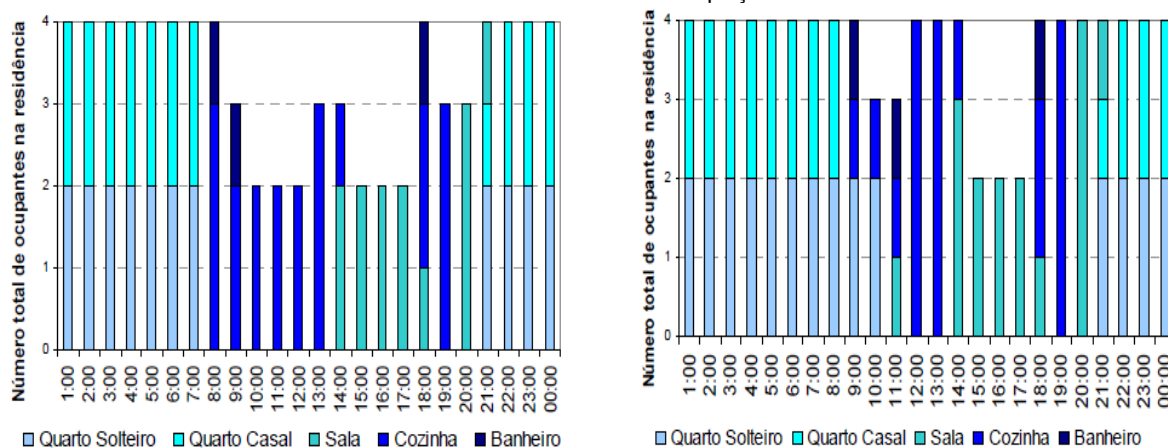
O programa de simulação computacional escolhido para utilização neste trabalho foi o *Design Builder*, por ser um dos principais programas utilizados no Brasil e utilizar o formato (.EPW) de base de dados climáticos relativo a um ano típico de referência – TRY, permitindo simulações horárias no período de um ano. A versão utilizada nas simulações foi DB 3.0.0.105, publicada em 2012 pela empresa *Design Builder Software*.

O modelo de simulação foi configurado em quatro abas distintas: padrão de ocupação, padrão de construção, padrão de abertura e padrão de consumo energético. O mesmo padrão de ocupação e de consumo energético foi mantido para todas as simulações. Integram, ainda, essa etapa do trabalho: a definição do método de cálculo da temperatura do solo e as combinações dos modelos de edificação.

3.3.1. Padrão de Ocupação

A definição do padrão de ocupação do edifício em análise teve como base o trabalho de Tavares (2006), também utilizado por Pereira (2009) e Matos (2006). O padrão de ocupação foi determinado considerando um tipo de uso para os dias da semana (segunda-sexta) e outro para os finais de semana. Foi considerado uma família composta por 4 habitantes: 1 casal e 2 filhos que estudam no período da manhã. Tavares (2006) descreve que “os quartos são ocupados por no máximo duas pessoas. A sala e a cozinha são utilizadas por toda a família, ou seja, 4 pessoas, e a ocupação máxima do banheiro é de um habitante”.

Gráfico 2 - Padrão de ocupação



Fonte: Pereira (2009)

O Gráfico 2 representa o padrão de ocupação para cada ambiente, definido por diferentes tons de azul, conforme legenda. No eixo horizontal estão localizadas as horas ao longo do dia em que estes ambientes estão ocupados, e o eixo vertical determina a quantidade de usuários em cada hora do dia. Os quartos, por exemplo, tem ocupação máxima com quatro pessoas no período das 21hs até 07hs da manhã.

3.3.2. Padrão de Consumo Energético

Os modelos simulados foram determinados como ambientes ventilados naturalmente, por tratar-se de habitações de interesse social, com a possibilidade de operação das aberturas que reproduzem os hábitos dos ocupantes, seguindo o padrão de ocupação, com acionamento da rotina (*schedule*) para temperaturas do ar internas superiores a 26°C. Em todos os casos foram desconsiderados o uso de sistemas artificiais de condicionamento, sendo desativado este *setpoint* no programa. Segundo Matos (2006):

“Em edificações residenciais, os ocupantes são os responsáveis pela abertura e fechamento das janelas e portas. O simples fato de abrir ou não uma janela pode estar associado a valores de ordem cultural, social e natural. Em Concannon (2002) ocupantes de diversos países expuseram as razões para a ventilação ou não das suas casas. Dentre as razões para ventilar a casa estão: a) Captar ar fresco em quartos e salas de estar; b) Remover odores; c) Remover o ar antigo e a condensação; d) Arejar a casa durante as atividades domésticas; e) Remover a fumaça de cigarro (em casas de fumantes a abertura de janelas é duas vezes mais frequente do que em casas de pessoas não fumantes)” (MATOS, 2006).

O padrão de uso da iluminação artificial foi determinada por ambiente, com rotinas distintas para os dias úteis e para os finais de semana, de acordo com Tavares (2006). Foram consideradas lâmpadas fluorescentes compactas em todos os ambientes - para sala e cozinha, foram estimados 40 w, no banheiro 15 w e nos quartos 25 w. A densidade de potência média é de 4,5 W/m² como pode ser observado na Tabela 6.

Tabela 6 - Densidade de potência média

Ambiente	Sala	Cozinha	Banheiro	Quarto 01	Quarto 02	TOTAL
Potência (W)	40	40	15	25	25	145
Área (m ²)	9,90	5,70	2,15	7,65	7,20	32,60
Densidade (W/m ²)	04	07	07	3,2	3,5	4,5

Fonte: Autor

O consumo mensal de energia elétrica, estimado para as duas unidades é de 150 kWh, considerando o consumo total dos equipamentos e do sistema de iluminação, a partir da descrição dos equipamentos presentes por unidade. Para a faixa de renda familiar de até 03 salários mínimos os equipamentos são: aparelho de som, chuveiro elétrico, ferro de passar, fogão, geladeira, liquidificador, televisão e ventilador (TAVARES, 2006).

3.3.3. Temperatura do solo

A temperatura do solo foi determinada com base na manual de uso do programa Design Builder, publicado por Venâncio (2009). Foram calculadas as médias mensais da temperatura do ar para cada cidade, e em seguida, inseridos no programa valores mensais de temperatura do solo 2°C abaixo da temperatura do ar. Os valores de temperatura do solo utilizados são:

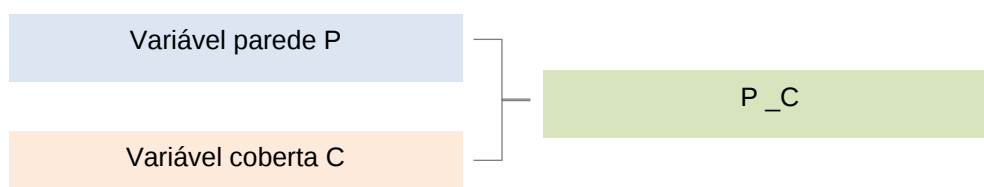
Tabela 7 - Temperaturas do solo

Cidade	João Pessoa	Campina Grande	Patos
Janeiro	25,09	22,93	26,74
Fevereiro	25,71	22,00	25,00
Março	25,04	22,57	25,08
Abril	24,29	22,24	24,34
Maio	23,68	21,41	23,99
Junho	22,65	20,98	23,19
Julho	22,17	19,65	23,72
Agosto	22,23	19,85	23,96
Setembro	23,58	20,86	25,75
Outubro	24,13	21,89	26,89
Novembro	24,71	22,21	27,12
Dezembro	24,96	22,88	27,15

Fonte: Autor

3.3.4. Combinações dos modelos

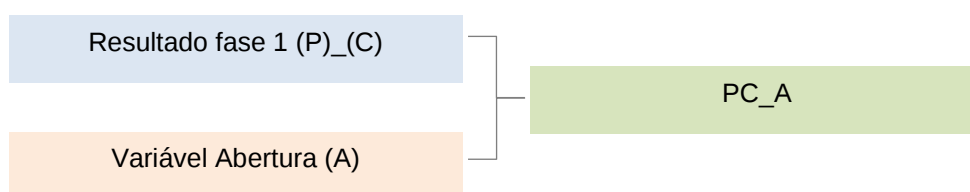
Na fase 1, analisando o desempenho dos fechamentos opacos, foram considerados três exemplos de paredes e quatro exemplos de coberturas, sendo simuladas 12 combinações em cada cidade, totalizando 36 simulações diferentes. Para nomenclatura dos modelos simulados nesta fase, adotou-se a letra P para as variações dos fechamentos verticais opacos (paredes) e a letra C para as variações dos fechamentos horizontais opacos (coberturas), conforme modelo abaixo:



As combinações entre (P) e (C) resultam das paredes e cobertas selecionadas para as simulações e foram identificadas por um código específico para cada uma das opções nas tabelas 3 e 4, resultando por exemplo, na nomenclatura P(A)_C(A), para a parede base

de tijolos de oito furos circulares, associada à coberta base de telha de barro com forro de concreto.

A fase 2 tem como objetivo analisar a influência das aberturas no desempenho da envoltória. Foram considerados o melhor e o pior desempenho da fase 1 em cada cidade. Foram simulados nove modelos de aberturas, ou seja, 18 combinações em cada cidade, totalizando 36 simulações diferentes. Para nomenclatura dos modelos simulados nesta fase, adotou-se a nomenclatura das combinações resultantes da fase anterior, somadas às variações nos fechamentos transparentes (aberturas), representados pela letra A, conforme legenda da tabela 5.



3.4. MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO

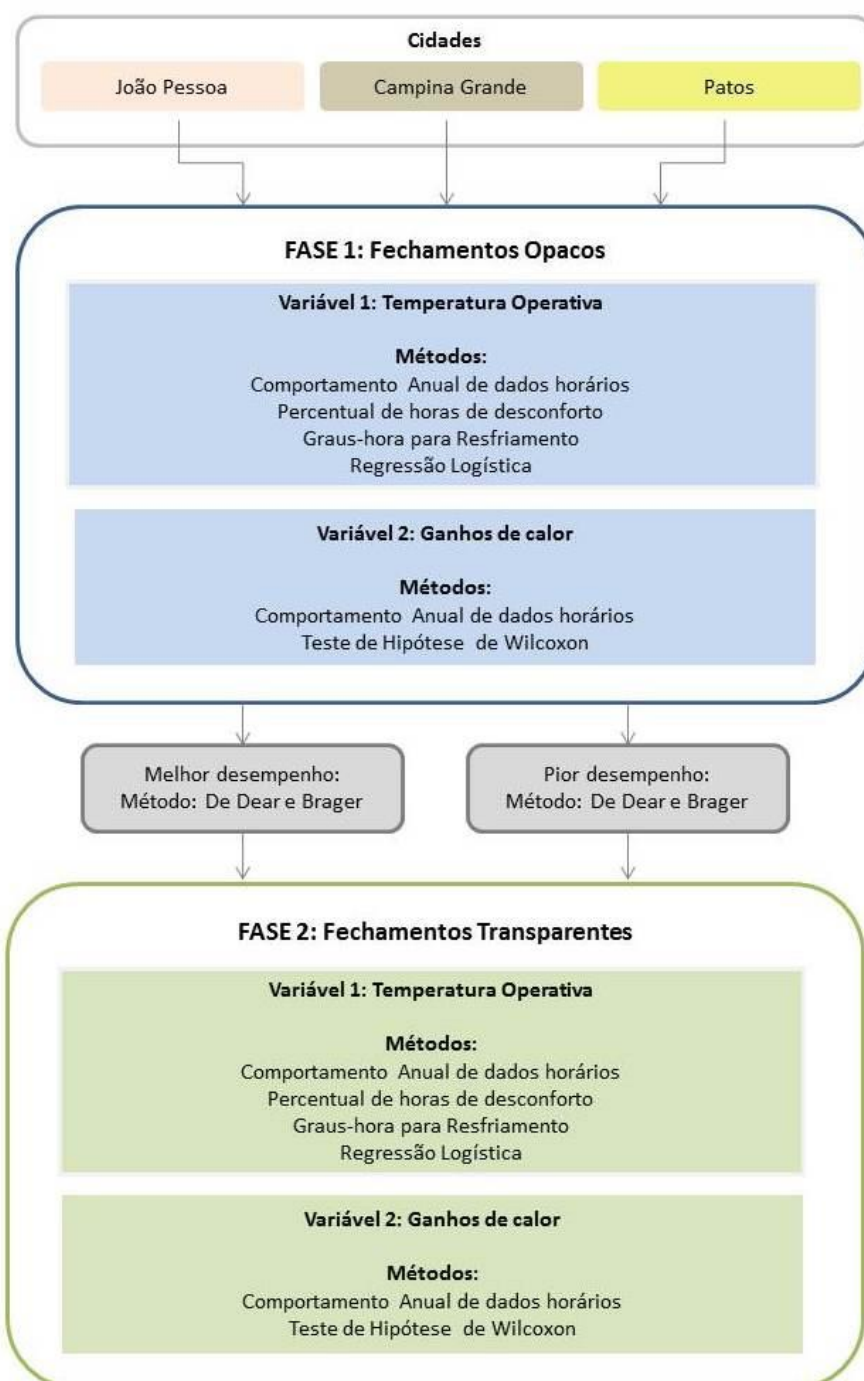
Para verificação do desempenho térmico da fase 1 – fechamentos opacos, foram escolhidas duas variáveis respostas: a temperatura operativa, resultante das combinações simuladas, e os ganhos de calor de cada componente. A temperatura operativa foi analisada a partir de quatro métodos: comparação entre o comportamento anual dos dados horários, comparação entre o percentual de horas de desconforto por calor, comparação entre os valores de graus-hora para resfriamento de cada combinação, e o método de regressão logística.

O comportamento anual dos dados horários da temperatura operativa foram verificados a partir de gráficos de caixa (boxplot). Para entender o comportamento desta variável, foram observados dados horários de um período de três dias, contando o dia anterior e o dia posterior ao dia mais quente do ano típico. Da mesma maneira, para o dia anterior e o dia posterior ao dia mais frio em cada cidade.

A segunda variável resposta, ganhos de calor, foi avaliada a partir de dois métodos: a comparação entre os valores horários resultantes de cada componente, e a aplicação do teste de hipótese de Wilcoxon, para identificar a relação entre as variáveis de entrada, ou variáveis independentes, e a variável resposta, ou seja, variável dependente.

No final desta fase, foram identificados o melhor e o pior desempenho entre os componentes avaliados nos fechamentos opacos. Nestas combinações, foram aplicados o método de De Dear e Brager, para analisar o comportamento destas combinações de maneira mais detalhada, considerando quatro zonas distintas. Na fase 2, relacionada com os fechamentos transparentes, foram analisadas as mesmas variáveis respostas: temperatura operativa e ganhos de calor, a partir dos métodos adotados na fase 1, conforme pode ser observado no esquema abaixo.

Quadro 3 – Processo dos métodos de avaliação de desempenho térmico



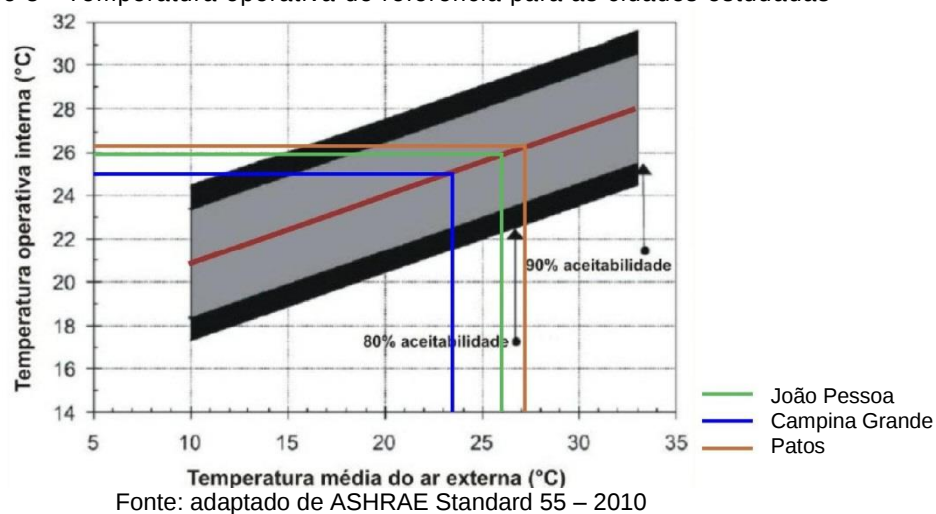
Fonte: Autor

3.4.1. Percentual de horas de desconforto por calor

O método consiste em verificar a porcentagem de horas anuais de desconforto por calor das unidades habitacionais para avaliar a adequação climática, da unidade em estudo, a cada cidade analisada. A avaliação foi realizada com a temperatura operativa horária gerada a partir de todas as zonas da edificação agrupadas. Foram utilizadas como referência, temperaturas-base distintas para cada cidade, em função de sua temperatura média anual.

Para João Pessoa, a média da temperatura do ar foi de 26°C, o que determinou uma temperatura base de 26°C como referência, visualizada no Gráfico 3 pela linha verde. Em Campina Grande, com a temperatura média de 23°C, a temperatura base foi de 25°C, visualizada pela linha azul. E em Patos, com uma temperatura do ar média de 27°C, foi determinada uma temperatura base de 26,5°C, representada pela linha na cor creme.

Gráfico 3 - Temperatura operativa de referência para as cidades estudadas



A partir dos dados horários de temperatura operativa de cada simulação, contou-se a quantidade de horas que esta variável esteve acima da temperatura base. O percentual desta quantidade foi comparado entre as combinações.

3.4.2. Graus-hora para resfriamento

O método de graus-hora para resfriamento também foi aplicado para análise de desempenho térmico da envoltória a partir dos dados horários da temperatura operativa. Este método permite a observação do excedente da temperatura em relação a uma

temperatura base, que varia de acordo com a temperatura externa, como citado anteriormente. A equação de grau-hora, explicada anteriormente, foi adaptada para a aplicação com os dados horários da variável resposta escolhida nesta fase, a temperatura operativa, conforme equação abaixo.

$$\text{Grau-hora} = \sum (T_o - T_{\text{base}}) > 0 \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

T_o = temperatura Operativa

T_{base} = temperatura de referência limite de conforto

Neste caso, foi somado o valor excedente da temperatura operativa que estivesse acima da temperatura base, determinada para cada cidade de acordo com o gráfico 3. Para João Pessoa, a temperatura base considerada foi 26°C, para Campina Grande, a temperatura base foi 25°C e, para a cidade de Patos, a temperatura base foi 26,5°C.

3.4.3. Regressão Logística

Complementando a análise do desempenho térmico, foi utilizada a regressão logística, que é um método estatístico da classe dos modelos lineares generalizados. Os modelos lineares generalizados são modelos estatísticos compostos apenas por parâmetros e variáveis, também chamados de modelos paramétricos. São obtidos a partir de um algoritmo geral para computação de estimativas de máxima verossimilhança, permitindo o ajuste de diferentes modelos para diferentes tipos de escala, quantitativas ou qualitativas (CORDEIRO e DEMÉTRIO, 2008; CODEIRO e ANDRADE, 2009).

O uso da Regressão Logística permitiu verificar a influência das combinações entre parede e cobertura sobre o conforto térmico no interior do ambiente. O método permite quantificar a diferença entre as combinações, por ser a temperatura operativa, uma variável binomial. Este modelo considera a temperatura operativa, identificada por Y_i , como uma variável resposta binária, baseada nos valores, $Y_i = 0$ e $Y_i = 1$, denominados "fracasso" e "sucesso", respectivamente, considerando o "sucesso" como evento de interesse.

Para Hosmer e Lemeshow (2000) um coeficiente importante quando se trabalha com regressão logística é a *odds ratio* (razão da chance). Esse coeficiente pode informar o

efeito da variação em uma determinada variável sobre a chance de ocorrência de um evento. Para uma variável X_j a razão da chance é expressa pela equação 5.

$$\psi = \exp(\beta_j) \quad (\text{Equação 5})$$

Em João Pessoa, por exemplo, os valores de temperatura operativa acima de 26°C, foram substituídos pelo valor 0, e os valores abaixo desta temperatura base, foram substituídos pelo valor 1. O mesmo procedimento foi aplicado em Campina Grande e Patos. No modelo de regressão logística, a equação resultante indica que o coeficiente de cada variável independente aumenta em função da chance do evento ocorrer pela variável resposta, conforme equação abaixo.

$$\text{chance} = \frac{\mu}{1-\mu} = e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k} = e^{\beta_0} \cdot (e^{\beta_1})^{X_1} \dots (e^{\beta_k})^{X_k} \quad (\text{Equação 6})$$

Para diagnosticar as irregularidades do modelo, foram aplicadas duas análises de resíduos. O teste da razão de verossimilhança, a partir do comando *Anova*, que se aproxima de uma distribuição qui-quadrado, indica o nível de associação entre as variáveis independentes e a variável resposta, sendo suficiente para julgar um ajuste como modelo razoável, nos casos de modelos lineares generalizados (CORDEIRO e DEMÉTRIO, 2008).

Foi aplicado ainda o teste qui-quadrado de Pearson. Segundo Devore (2006), um teste baseado na distribuição qui-quadrado pode ser aplicado para verificar a independência de duas variáveis qualitativas. Nesse teste, a hipótese nula considera que a categoria de uma observação em relação a um fator 1 é independente da categoria em relação ao fator 2. A decisão de rejeitar ou não a hipótese de independência é determinada pela distribuição qui-quadrado (DEVORE, 2006; HINES et al., 2006).

3.4.4. Teste de Wilcoxon

Foi aplicado o Teste de Wilcoxon, para comparar as medidas de posição entre as variáveis independentes e a variável resposta, que é a temperatura operativa. Este modelo necessita de avaliação de pressupostos, portanto, foi aplicado inicialmente o teste de composição de normalidade Lillie fours e o teste de *Non-Constant Variance erro*.

O teste de Wilcoxon-Mann-Whitney é baseado nos *postos* dos valores obtidos combinando duas amostras a serem comparadas. Para aplicar o teste de Wilcoxon-Mann-Whitney, foi considerado como hipótese nula, que as variáveis são iguais: $X = Y$. A hipótese alternativa determinada consiste em considerar que, não tendo distribuições iguais, a variável Y tende a ser maior que X .

Foram determinadas as distribuições exatas da estatística Wald e calculados os valores críticos do teste, o p-valor e as estimativas de intervalo de confiança livre de distribuição. Estas estimativas quantificaram a diferença entre as categorias analisadas.

3.4.5. Modelo de conforto adaptativo de De Dear e Brager

O modelo de conforto adaptativo proposto por De Dear e Brager (2002) foi utilizado para analisar de forma mais detalhada, a distribuição dos dados horários das combinações resultantes de melhor e pior desempenho térmico entre os fechamentos opacos. Os autores consideram mais apropriado o uso de dados horários para predição de conforto adaptativas.

O modelo considera quatro zonas principais, apartir da equação abaixo:

$$T_{\text{conforto}} = 0,31 \times T_{\text{ar}} + 17,8$$

(Equação 7)

Onde:

T_{conforto} = temperatura de conforto base

T_{ar} = temperatura do ar externa

A partir da temperatura de conforto, também denominada de temperatura neutra, os valores foram divididos em quatro zonas, considerando um intervalo de 2,5°C em relação a esta temperatura. A partir da tabela abaixo, pode-se verificar os limites para cada cidade.

Tabela 8 – Zonas de conforto pelo método de De Dear e Brager

Cidades	Frio (°C)	Conforto (°C)	Conf+ventilação (°C)	Quente (°C)
João Pessoa	$T_o < 23,4$	$23,4 < T_o < 28,4$	$28,4 < T_o < 31,0$	$T_o > 31,0$
Campina Grande	$T_o < 22,6$	$22,6 < T_o < 27,6$	$27,6 < T_o < 30,3$	$T_o > 30,3$
Patos	$T_o < 23,7$	$23,7 < T_o < 28,7$	$28,4 < T_o < 31,4$	$T_o > 31,4$

Fonte: Autor

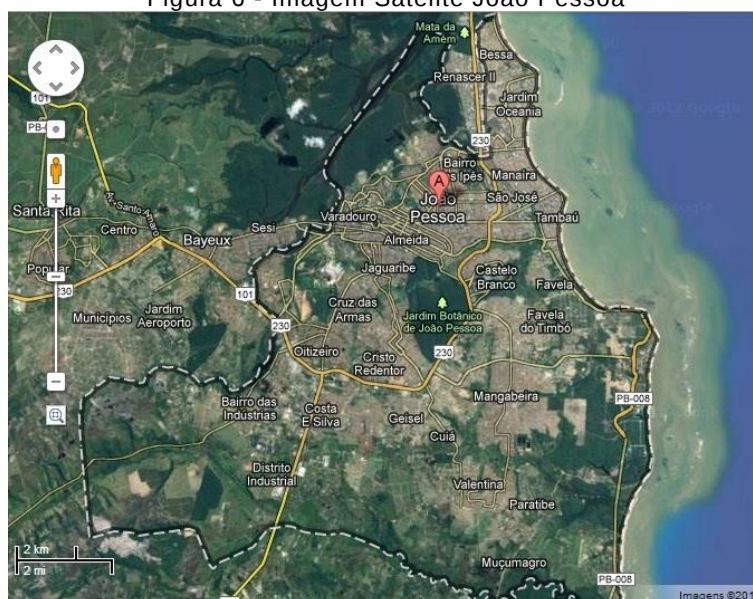
4. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DOS MUNICÍPIOS

Considerando a influência direta do clima externo sobre o desempenho térmico da envoltória, foram definidos os perfis climáticos dos municípios estudados como análise preliminar dos resultados, e posteriormente, o aprimoramento das formatações utilizadas nos modelos de simulações. Este capítulo faz parte dos resultados, incluindo a caracterização climática de João Pessoa, Campina Grande e Patos.

4.1. JOÃO PESSOA

A cidade de João Pessoa é a capital do estado da Paraíba e possui aproximadamente 723.515 habitantes. Com latitude de 7,11° sul e longitude de 34,86° oeste, a cidade está situada a 40 m acima do nível do mar. Com 211 Km² de área, sua densidade demográfica resulta em 3.421,30 hab./km² (IBGE, 2010).

Figura 6 - Imagem Satélite João Pessoa



Fonte: Google Maps

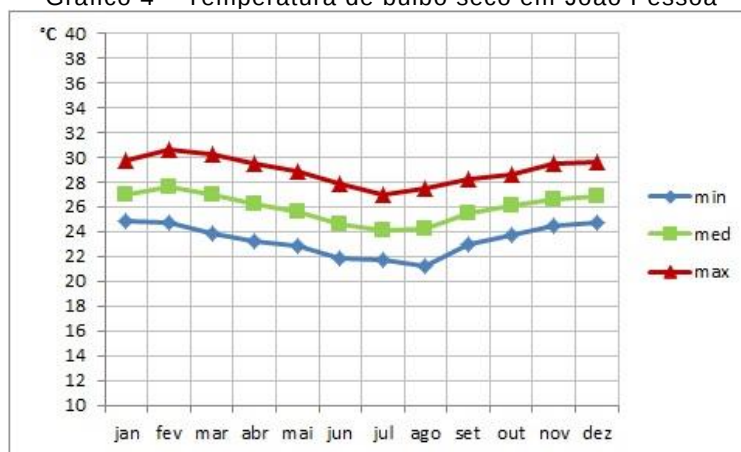
João Pessoa está localizado no litoral paraibano e inserida na mesorregião da mata paraibana (AESAs, 2009). O clima predominante da cidade é tropical úmido, a partir da classificação de Köppen.

O comportamento das variáveis observadas, a partir de dados horários do Ano Típico de João Pessoa – 2008⁶, estão detalhadas nos itens a seguir. A temperatura média anual foi de 26,02 °C, com mínima de 23,39 °C e máxima de 28,98 °C. A umidade média anual foi de 76,51% e o nível pluviométrico anual foi de 2.142,40 mm. Os meses mais chuvosos foram os meses de maio e junho e os mais secos foram os de novembro e fevereiro.

4.1.1. Temperatura de Bulbo Seco

A temperatura de bulbo seco (Gráfico 4) apresentou médias mensais entre 24°C e 28°C. As mínimas ocorrem entre os meses de junho, julho e agosto, chegando a 21°C. As médias mensais das temperaturas máximas ocorreram entre 27°C e 31°C, sendo fevereiro o mês mais quente. Observa-se que as médias, mínimas e máximas apresentam curva de comportamento semelhante, com uma baixa defasagem, demonstrando a baixa amplitude térmica da cidade.

Gráfico 4 – Temperatura de bulbo seco em João Pessoa



Fonte: Autor

Dentre as cidades estudadas, João Pessoa possui a menor amplitude térmica, com um intervalo médio 5°C entre as temperaturas mínimas e máximas, quase constante por todo o ano, como pode ser observado na Tabela 9 abaixo. Destacam-se a mínima absoluta de 19,60° C em junho e agosto, e a máxima absoluta de 31,80° C em fevereiro.

⁶ O ano de 2008 foi determinado por metodologia de TRY, representando uma série de dados de um período de 10 anos (2001-2010) desenvolvidos pelo grupo da ANTAC e publicados no site do Labeee-UFSC.

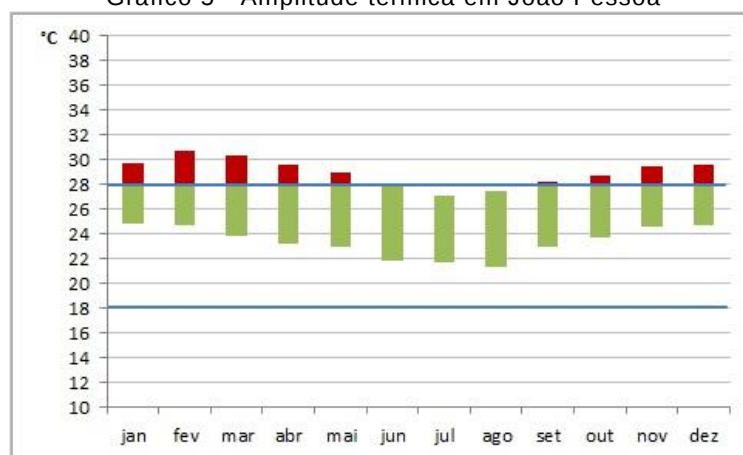
Tabela 9 - Comportamento da temperatura do ar João Pessoa

Mês	Tmin (°C)	Tmin abs (°C)	Tmed (°C)	Tmax (°C)	Tmax abs (°C)
Janeiro	24,84	22,90	27,09	29,78	30,80
Fevereiro	24,76	22,80	27,71	30,71	31,80
Março	23,85	19,60	27,04	30,29	31,60
Abril	23,26	21,90	26,29	29,55	30,70
Mai	22,96	19,60	25,68	28,94	31,10
Junho	21,87	19,60	24,65	27,87	29,30
Julho	21,73	20,10	24,17	27,08	28,70
Agosto	21,27	19,60	24,23	27,47	28,40
Setembro	22,97	20,90	25,58	28,26	29,30
Outubro	23,75	21,90	26,13	28,71	29,50
Novembro	24,58	22,40	26,71	29,47	30,20
Dezembro	24,77	22,90	26,96	29,61	30,30

Onde: Tmin (médias de temperaturas mínimas diárias); tmin abs (temperatura mínima absoluta); Tmed (médias de temperaturas médias diárias); Tmax (médias de temperaturas máximas diárias); Tmax abs (temperatura máxima absoluta). Fonte: Autor

No Gráfico 5 pode-se observar a relação entre as amplitudes médias, determinadas pelas médias das temperaturas mínimas e máximas, e a zona de conforto de Givoni. Observam-se valores de temperatura que causam desconforto por calor, representados na cor vermelha acima do limite admissível de 28°C na maior parte do ano (oito meses). Com temperaturas mínimas a partir de 21°C, não foram observados valores que caracterizam desconforto por frio.

Gráfico 5 - Amplitude térmica em João Pessoa



Fonte: Autor

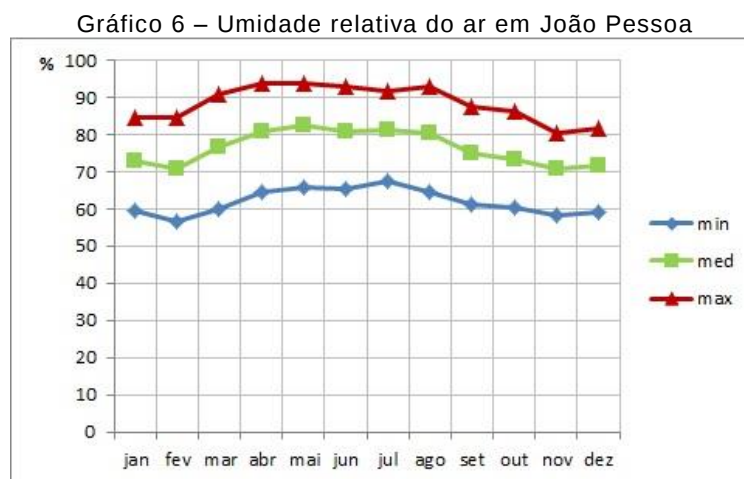
A partir da análise dos dados horários, pôde-se verificar o percentual de horas que estiveram acima da temperatura base de 26°C, correspondendo a um percentual de 50% de desconforto por calor. O somatório do valor excedente da temperatura do ar (Tar) em relação à temperatura base foi de 7.953,20 (equação abaixo). Em relação à temperatura mínima aceitável, não foi constatado desconforto por frio.

$$\text{GhR João Pessoa} = \sum (\text{Tar} - 26^{\circ}\text{C}) = 7.953,20$$

(Equação 8)

4.1.2. Umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar (Gráfico 6) apresentou médias mensais entre 70% e 80%. As mínimas ocorrem entre os meses de dezembro e fevereiro, chegando a 56%. As médias mensais das umidades máximas ocorreram entre 80% e 93%, entre os meses de abril e julho. As curvas do comportamento da umidade mínima, média e máxima possuem um comportamento semelhante, com poucas variações, destacando diferenças em fevereiro, quando os valores diminuem, e em agosto, quando os valores tendem a subir.



Fonte: Autor

Associando os valores de temperatura de bulbo seco com os valores de umidade relativa do ar, pôde-se observar que o clima caracteriza-se como quente e úmido, com baixo nível de amplitude térmica e umidade predominante acima de 70% em todo o ano. Vale destacar que a proximidade com o mar contribui para a redução das amplitudes térmicas e o aumento da umidade relativa do ar.

4.1.3. Precipitação

O nível pluviométrico anual foi de 2.142,40 mm, com o período de chuvas entre os meses de abril, maio e junho, conforme apresentado no gráfico 7. Os meses mais secos foram novembro e fevereiro, com o índice pluviométrico de 7 mm no mês de novembro.

Gráfico 7 – Precipitação em João Pessoa

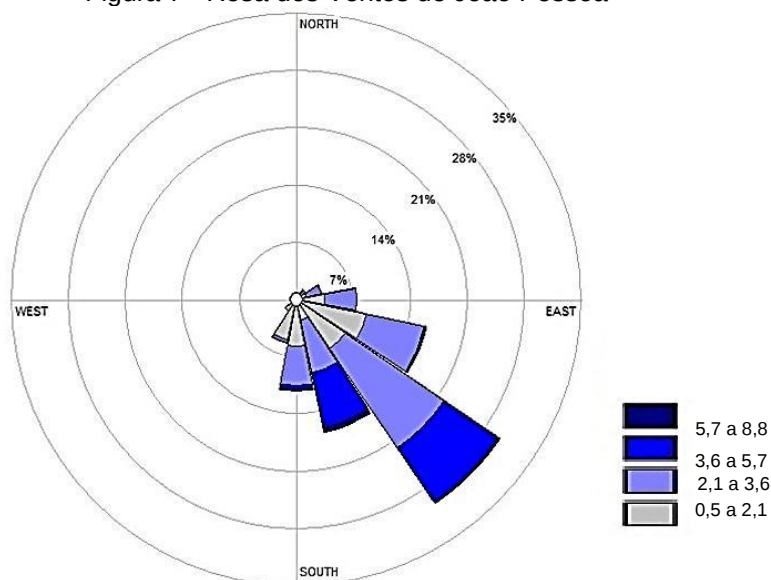


Fonte: Autor

4.1.4. Regime de Ventos

A partir da rosa dos ventos, gerada para o município de João Pessoa e apresentada na Figura 7, observa-se que a maior frequência dos ventos é proveniente da direção sudeste, com ângulo de aproximadamente 135°, em relação ao norte. A velocidade predominante variou entre 2,1 e 3,6 m/s, como pode ser visualizada na figura 6.

Figura 7 - Rosa dos Ventos de João Pessoa

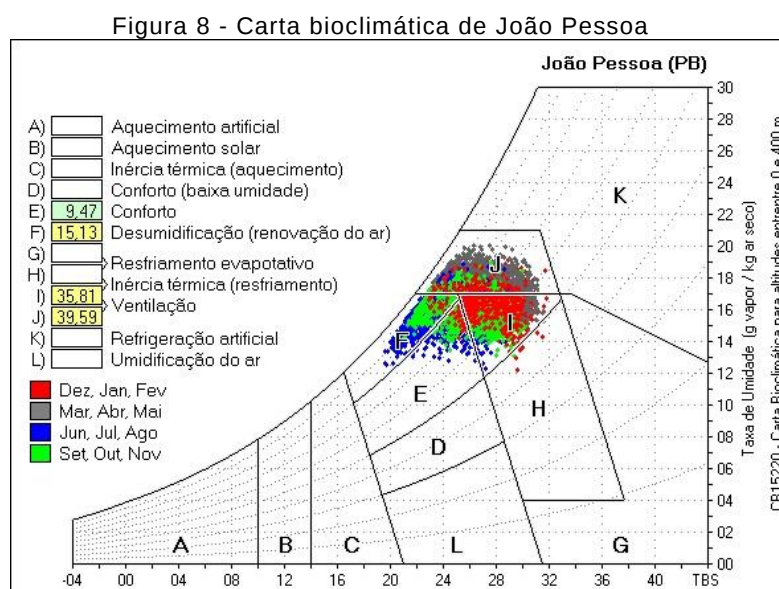


Fonte: Autor

4.1.5. Estratégias bioclimáticas

A carta bioclimática de João Pessoa indicou apenas três estratégias, tendo a ventilação natural o maior percentual de indicação, com 39,59% das horas. A zona de conforto apresentou apenas 9,47% das horas, sendo formada predominantemente por valores de junho, julho e agosto e o período de setembro a novembro. Foi sugerida ainda, a inércia térmica para resfriamento, com o percentual de 35,81% das horas, conforme figura 15, e a desumidificação (renovação do ar) com 15,13% das horas.

A estratégia ventilação concentrou a maioria dos dados horários dos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, quando as temperaturas estão mais altas e a umidade média varia entre 70 e 75%. A estratégia de resfriamento por inércia térmica complementa a ventilação no mesmo período.



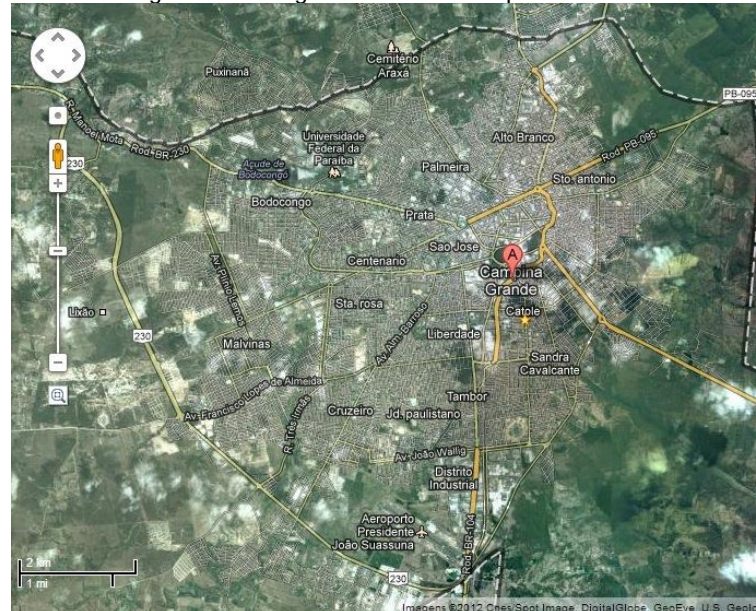
4.2. CAMPINA GRANDE

A cidade de Campina Grande está situada a 130 km da capital do estado e possui 385.213 habitantes. Com latitude de 7,23° sul e longitude de 35,88° oeste, a cidade está situada a 551 m acima do nível do mar. Com 594 Km² de área, sua densidade demográfica resulta em 648,31 hab./km² (IBGE, 2010).

Campina Grande está localizada na mesorregião do agreste paraibano e inserida na unidade geoambiental do Planalto da Borborema (AESAs, 2009). O ano típico é 2009, que

apresentou temperatura média anual de 23,62 °C, com mínima de 20,56 °C e máxima de 28,46 °C. A umidade média foi de 78,16% e o nível pluviométrico anual foi de 896,10 mm.

Figura 9 - Imagem Satélite Campina Grande

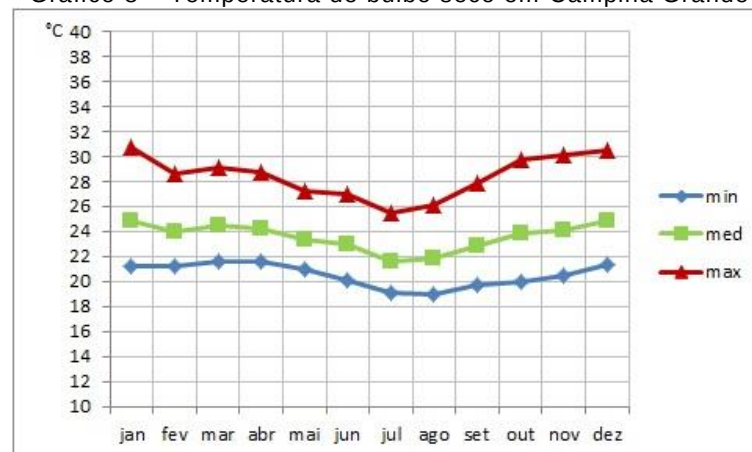


Fonte: Google Maps

4.2.1. Temperatura de Bulbo Seco

No Gráfico 8, pode-se observar que a temperatura média mensal apresentou valores entre 22°C a 25°C, no decorrer do ano analisado. As mínimas ocorrem entre os meses de julho e agosto, chegando a 19°C. As temperaturas máximas ocorreram entre 25°C e 31°C, sendo janeiro e dezembro os meses mais quentes.

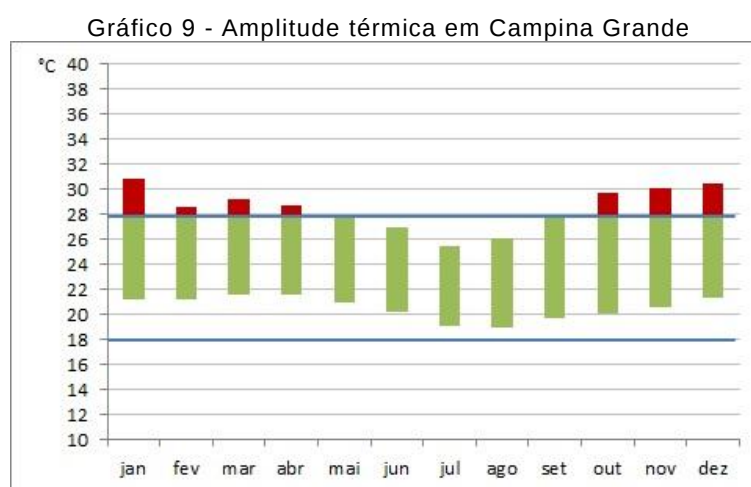
Gráfico 8 – Temperatura de bulbo seco em Campina Grande



Fonte: Autor

Neste gráfico, observa-se uma distribuição mais irregular nas curvas de comportamento, principalmente nas temperaturas máximas, mais acentuadas nos meses de outubro, novembro e dezembro. Observa-se, ainda, maior proximidade entre as curvas das temperaturas mínimas e médias.

O gráfico do comportamento de amplitude térmica indica que Campina Grande é a cidade com mais meses dentro da zona de conforto, a partir dos índices de conforto de Givoni, representado pelas duas linhas azuis do gráfico. Com temperaturas mínimas a partir de 19°C, nos meses mais frios (julho e agosto). Não foram observados valores abaixo da zona de conforto, conforme Gráfico 9.



Fonte: Autor

A partir da diferença entre as médias mensais das temperaturas máximas e mínimas de cada mês, pôde-se verificar que a amplitude térmica variou em um intervalo médio de 9°C nos meses mais quentes (janeiro, outubro, novembro e dezembro). No entanto, entre os meses de maio e setembro, a amplitude variou em um intervalo menor de 6°C. Destacam-se a mínima absoluta de 16,60° C em março, maio e setembro, e a máxima absoluta de 32,90° C em maio e dezembro.

Tabela 10 - Temperatura do ar Campina Grande

Mês	Tmin (°C)	Tmin abs (°C)	Tmed (°C)	Tmax (°C)	Tmax abs (°C)
Janeiro	21,23	20,10	24,93	30,84	32,60
Fevereiro	21,24	19,50	24,00	28,63	31,30
Março	21,64	19,60	24,57	29,15	30,60
Abril	21,65	20,60	24,24	28,74	31,60
Maio	20,96	16,60	23,41	27,23	32,90
Junho	20,17	18,30	22,98	27,02	32,00
Julho	19,11	16,80	21,65	25,49	27,10

Agosto	18,99	16,90	21,85	26,10	27,70
Setembro	19,73	16,60	22,86	27,91	30,00
Outubro	20,07	18,80	23,89	29,72	31,50
Novembro	20,53	19,50	24,21	30,15	31,70
Dezembro	21,35	20,40	24,88	30,52	32,90

Onde: Tmin (médias de temperaturas mínimas diárias); Tmin abs (temperatura mínima absoluta); Tmed (médias de temperaturas médias diárias); Tmax (médias de temperaturas máximas diárias); Tmax abs (temperatura máxima absoluta).

Fonte: Autor

A partir da análise dos dados horários do ano típico 2009, pôde-se verificar o percentual de 23% de horas de desconforto por calor. O somatório dos valores excedentes da temperatura do ar (Tar) em relação à temperatura base de 26°C foi correspondente a um valor de graus-hora para resfriamento de 4.566,30, conforme equação abaixo.

$$\text{GhR Campina Grande} = \sum (\text{Tar} - 26^\circ\text{C}) = 4.566,30 \quad (\text{Equação 9})$$

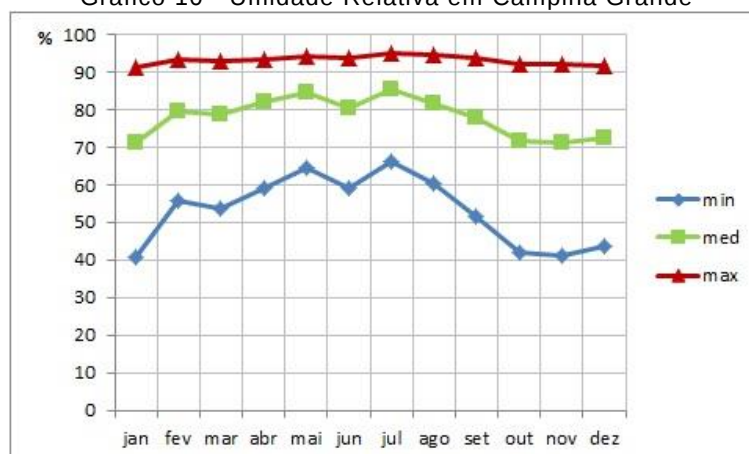
$$\text{GhF Campina Grande} = \sum (18^\circ\text{C} - \text{Tar}) = 19,30 \quad (\text{Equação 10})$$

O valor de graus-hora para aquecimento, correspondente ao somatório dos valores excedentes da temperatura do ar em relação à temperatura base de 18°C foi de 19,30. O percentual de horas de desconforto por frio resultou em 0,30%.

4.2.2. Umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar, cujo comportamento pode ser observado no Gráfico 10, apresentou médias mensais entre 70% e 85%. As mínimas ocorrem entre os meses de outubro e dezembro, chegando a 41%, nos meses mais quentes. Destaca-se a acentuada variação entre as curvas de comportamento da umidade relativa, principalmente os valores médios e mínimos.

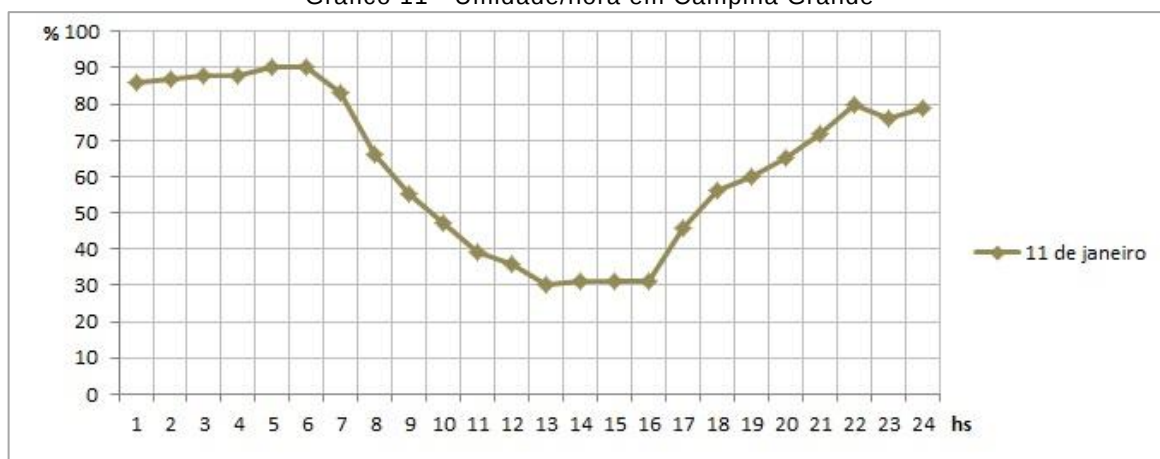
Gráfico 10 - Umidade Relativa em Campina Grande



Fonte: Autor

A umidade relativa apresentou média das máximas acima de 90% em todos os meses do ano, determinando uma umidade relativa média consideravelmente alta, com valores entre 70 e 85%, que não representa a sensação diurna na cidade. Para explicar este fenômeno, foi observado o comportamento da umidade em dados horários no dia 11 de janeiro, que apresenta a maior diferença entre valores mínimos e máximos, conforme Gráfico 11, chegando a 30% entre o período de 12hs às 16hs.

Gráfico 11 - Umidade/hora em Campina Grande



Fonte: Autor

A umidade relativa, mais elevada no período noturno, apresenta seu pico entre 01hs e 06hs, diminuindo até alcançar os menores valores entre 12hs e 16hs. Este fenômeno ocorre em todos os dias do ano, explicando a diferença entre as cidades de João Pessoa e Campina Grande, apesar de resultarem em médias diárias semelhantes.

4.2.3. Precipitação

O nível pluviométrico anual foi de 896,10 mm, com o período de chuvas indeterminado, alcançando o índice de 222,40 mm em fevereiro, conforme Gráfico 12. Os meses mais secos foram de setembro a dezembro, com o índice pluviométrico de 0,40 mm no mês de outubro.

Gráfico 12 - Comportamento Precipitação Campina Grande

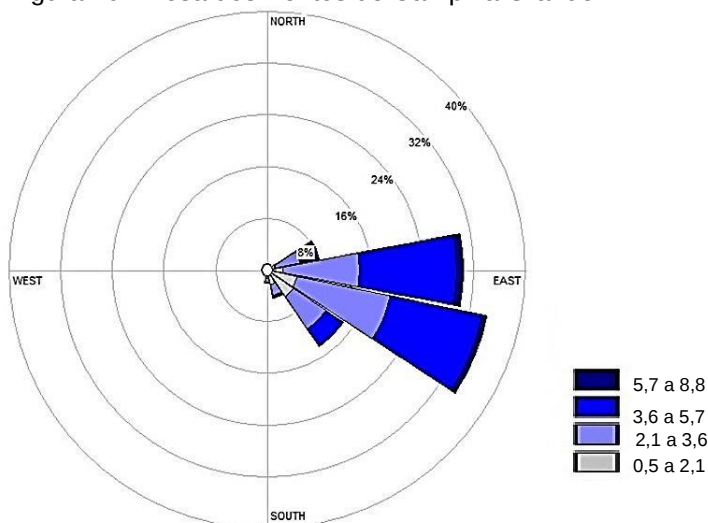


Fonte: Autor

4.2.4. Regime de Ventos

Analisando a rosa dos ventos gerada para Campina Grande, observa-se que os ventos predominantes são provenientes da direção sudeste, com azimuth de aproximadamente 110°, enquanto a velocidade predominante varia entre 3,6 e 5,7m/s, conforme pode ser observado na figura 10.

Figura 10 - Rosa dos Ventos de Campina Grande

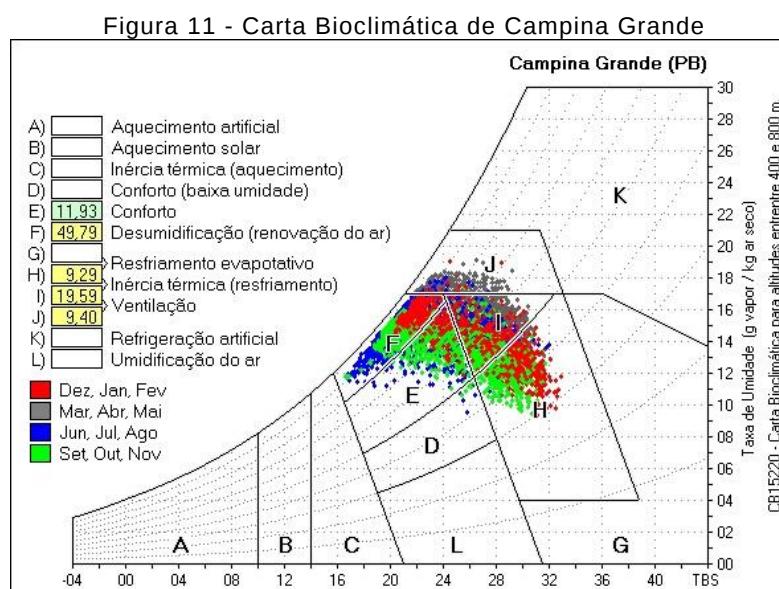


Fonte: Autor

4.2.5. Carta bioclimática

Com a construção da carta bioclimática pode-se identificar quatro estratégias para a cidade de Campina Grande (Figura 11). A necessidade de renovação de ar por desumidificação é a estratégia de maior importância, presente em aproximadamente 50% das horas. Este resultado deu-se em função dos altos níveis de umidade relativa do ar no período da noite, como observado anteriormente.

Aproximadamente 12% das horas encontram-se na zona de conforto, distribuídas em todas as estações do ano. As outras estratégias sugeridas foram: a inércia térmica para resfriamento, com 19,59% das horas, juntamente com o resfriamento evaporativo, com 9,29% das horas e a ventilação, com 9,40% das horas.

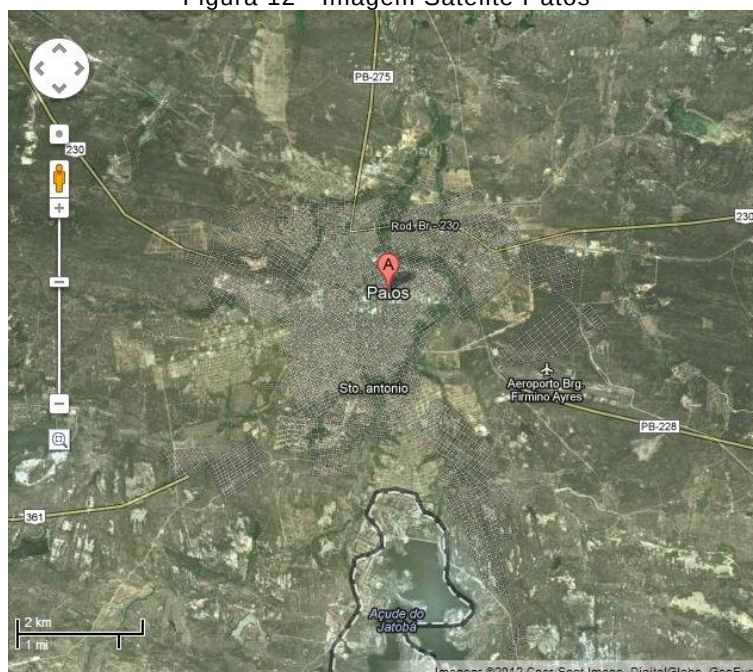


Fonte: Programa CB15220 (RORIZ, 2012).

4.3. PATOS

A cidade de Patos está localizada a 307 km da capital do estado, e possui 100.674 habitantes. Com latitude de 7,02° sul e longitude de 37,27° oeste, a cidade está situada a 249m de altitude e está inserida no Polígono das Secas. Com 473 Km² de área, sua densidade demográfica resulta em 212,82 hab./km² (IBGE, 2010).

Figura 12 - Imagem Satélite Patos



Fonte: Google Maps

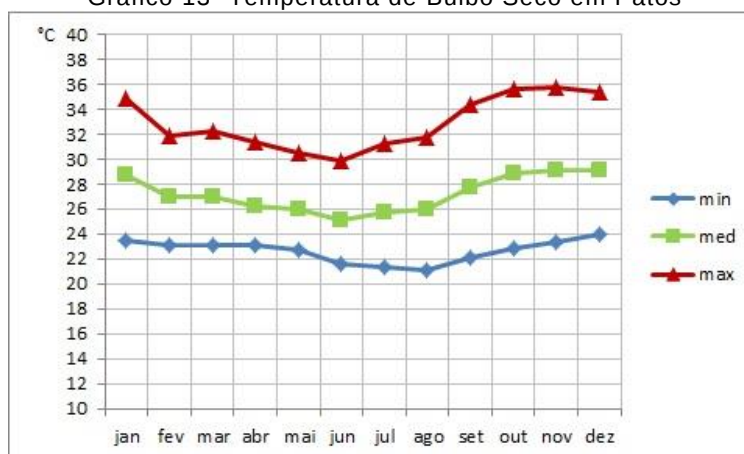
Patos está inserido no semiárido brasileiro, conforme Ministério da Integração Nacional (2005). A vegetação é do tipo Caatinga. A topografia varia entre 240 e 580 metros. O ano típico é 2009, com temperatura média anual de 27,24 °C, com mínima de 22,71 °C e máxima de 32,93 °C. Patos apresentou as maiores temperaturas entre as cidades estudadas. A umidade média foi de 62,04 % e o nível pluviométrico anual foi de 1.603,20 mm.

4.3.1. Temperatura de Bulbo Seco

A cidade de Patos apresenta as maiores temperaturas máximas entre as cidades estudadas, com valores entre 30°C e 36°C, como pode ser observado no Gráfico 13. Conhecida por suas altas temperaturas, o local representa a região árida do sertão paraibano.

As temperaturas médias mensais apresentam valores entre 25°C a 29°C. As mínimas ocorrem entre os meses de junho, julho e agosto, chegando a 21°C. As médias mensais das temperaturas máximas ocorreram entre 30°C e 36°C, sendo outubro, novembro e dezembro os meses mais quentes. Há variações significativas na defasagem entre as curvas de temperaturas médias e máximas, principalmente a partir do mês de setembro a dezembro.

Gráfico 13- Temperatura de Bulbo Seco em Patos

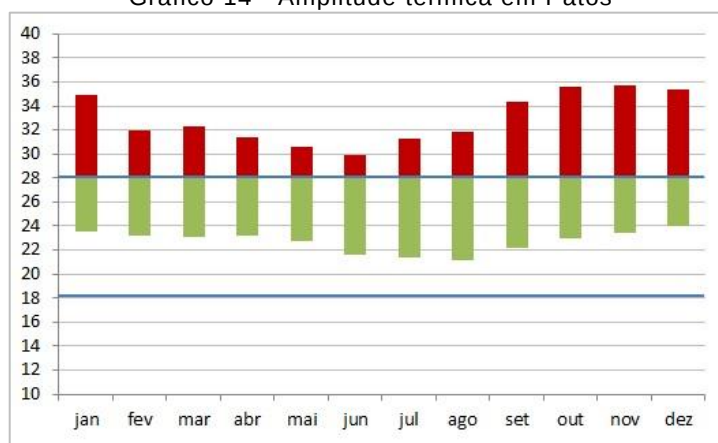


Fonte: Autor

O comportamento das três curvas demonstrou variâncias ao longo do ano, com uma proximidade entre as temperaturas mínimas e médias nos primeiros meses, de janeiro a maio, aumentando o intervalo de defasagem entre as curvas.

Dentre as cidades estudadas, Patos possui a maior amplitude térmica, com um intervalo médio de 12°C entre as temperaturas mínimas e máximas, nos meses mais quentes, como pode ser observado no Gráfico 14 abaixo. Observam-se valores de temperatura que causam desconforto por calor em todos os meses do ano.

Gráfico 14 - Amplitude térmica em Patos



Fonte: Autor

Com temperaturas mínimas a partir de 21°C em julho e agosto, não foram observados valores que caracterizam desconforto por frio. Destacam-se a mínima absoluta de 18,80° C em março, maio e julho, e a máxima absoluta de 37,70° C em janeiro, maio e novembro.

Tabela 11 - Temperatura do ar em Patos

Mês	Tmin (°C)	Tmin abs (°C)	Tmed (°C)	Tmax (°C)	Tmax abs (°C)
Janeiro	23,52	21,50	28,74	34,90	37,70
Fevereiro	23,18	21,90	27,00	31,92	34,10
Março	23,13	18,80	27,08	32,33	33,50
Abril	23,18	21,60	26,34	31,35	32,90
Maio	22,75	18,80	25,99	30,56	37,70
Junho	21,64	20,10	25,19	29,91	31,50
Julho	21,41	18,80	25,72	31,24	33,00
Agosto	21,16	19,60	25,96	31,83	34,90
Setembro	22,21	19,50	27,75	34,39	36,60
Outubro	22,94	21,30	28,89	35,61	37,00
Novembro	23,38	22,00	29,12	35,74	37,70
Dezembro	24,01	22,70	29,15	35,37	36,90

Onde: Tmin (médias de temperaturas mínimas diárias); tmin abs (temperatura mínima absoluta); Tmed (médias de temperaturas médias diárias); Tmax (médias de temperaturas máximas diárias); Tmax abs (temperatura máxima absoluta).

Fonte: Autor

A partir da análise dos dados horários do ano típico - 2009, pôde-se verificar o percentual de 52,7% de horas de desconforto por calor. O somatório do valor excedente da temperatura do ar em relação à temperatura base de 26°C foi correspondente a um valor de graus-hora para resfriamento de 19.492,50.

$$\text{GhR para Patos} = \sum (\text{Tar} - 26^\circ\text{C}) = 19.492,50$$

(Equação 11)

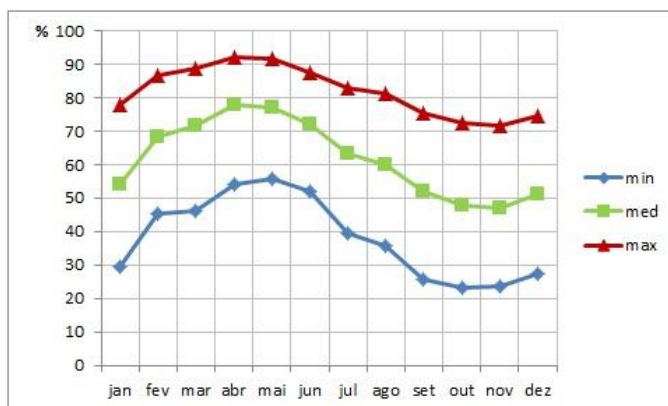
Apesar do percentual de horas de desconforto ter se aproximado do valor de João Pessoa, percebe-se que o valor de Graus-hora para resfriamento resulta em um número aproximadamente três vezes maior por serem temperaturas mais altas. Em relação à temperatura mínima aceitável, não foi constatado desconforto por frio.

4.3.2. Umidade relativa do ar

Sobre o comportamento da umidade relativa do ar, representado no Gráfico 15, pode-se observar médias mensais entre 47% e 77%. As mínimas ocorrem entre os meses de outubro a dezembro, chegando a 23%. As médias mensais, das umidades máximas, ocorreram entre 71% e 92%, com máximas entre os meses de março a junho.

Patos apresentou as umidades mais baixas entre as cidades estudadas. Comportamento esperado, posto que as amplitudes térmicas caracterizam o clima árido do sertão paraibano.

Gráfico 15 - Umidade relativa do ar em Patos



Fonte: Autor

4.3.3. Precipitação

O nível pluviométrico anual foi de 1.603,20 mm, com o período de chuvas entre os meses de março a maio, concentrando 74% do valor total, como pode ser notado no Gráfico 16. Os demais meses apresentaram valores muito baixos, com o índice pluviométrico em torno de 10 mm nos meses de junho a dezembro. Apesar do elevado índice de precipitação observado na cidade de Patos, o Gráfico 16 indica a concentração em um curto período do ano, com o mês de abril alcançando 620 mm, o dobro do segundo maior mês, que foi março com 304 mm.

Gráfico 16 - Precipitação em Patos

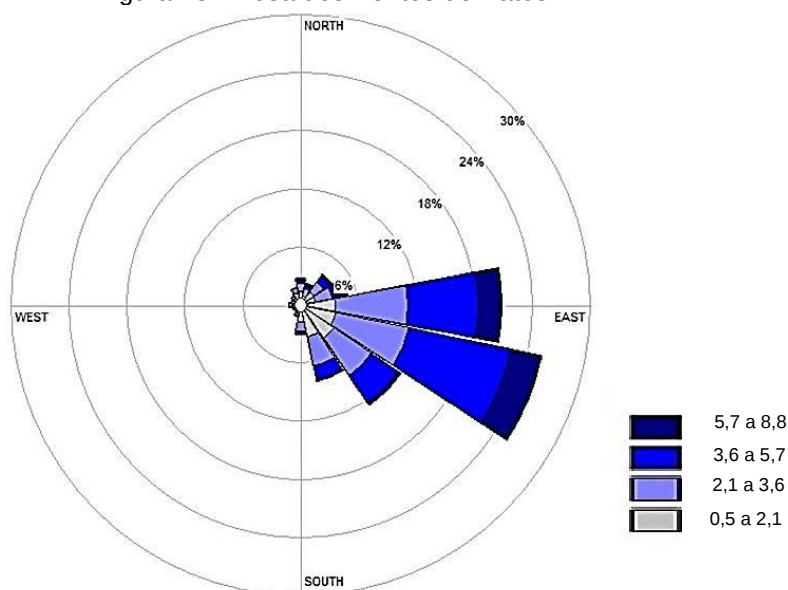


Fonte: Autor

4.3.4. Comportamento dos ventos

Ao analisar a rosa dos ventos deste município, observou-se que a maior frequência dos ventos vem da direção sudeste, com 24% da frequência com ângulo em torno de 110° e aproximadamente 20%, com ângulo de 90°. A velocidade predominante variou entre 3,6 e 5,7 m/s, como pode ser observar na Figura 13.

Figura 13 - Rosa dos Ventos de Patos



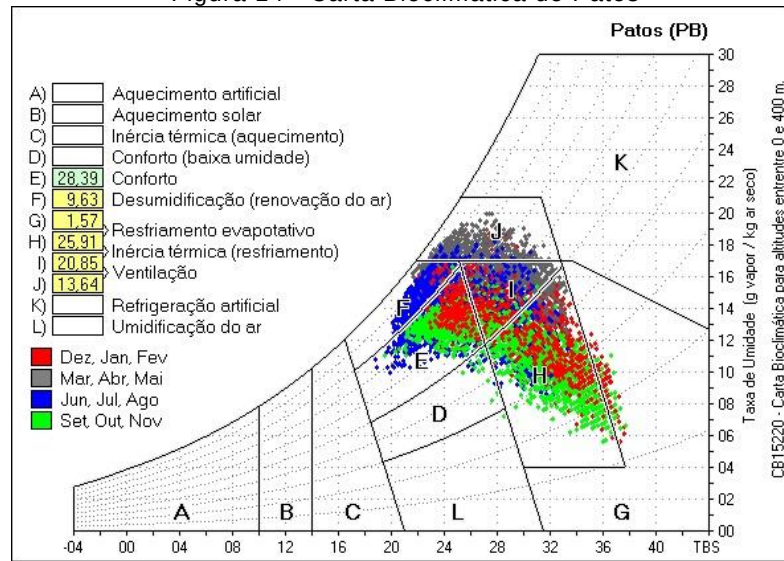
Fonte: Autor

4.3.5. Carta bioclimática

A carta bioclimática de Patos apresentou o maior número de estratégias entre as cidades estudadas. A zona de conforto também apresentou o maior valor, com 28,39% das horas. As estratégias sugeridas foram: a inércia térmica para resfriamento, com 20,85% junto com o resfriamento evaporativo, com 25,91% (H) e 1,57% (G). A ventilação resultou em 13,64% e a renovação de ar por desumidificação em 9,63% das horas, de acordo com a figura 13 abaixo.

Os meses mais secos concentraram valores associados às estratégias de inércia térmica por resfriamento e resfriamento evaporativo, em função das altas temperaturas. Os valores referentes aos meses de março, abril e maio concentraram-se na estratégia da ventilação, como pode ser observado pela cor cinza.

Figura 14 - Carta Bioclimática de Patos



5. ANÁLISE E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Os resultados serão apresentados separadamente conforme as três cidades: João Pessoa, Campina Grande e Patos. As simulações em cada cidade foram divididas em duas fases: fase 1, que avalia os fechamentos opacos, a partir da aplicação dos métodos sobre a temperatura operativa e ganhos de calor. Na fase 2, foram avaliados os fechamentos transparentes, a partir da aplicação dos métodos também sobre temperatura operativa e ganhos de calor.

No final da fase 1, foram identificados o melhor e o pior desempenho entre os fechamentos opacos para serem analisados na fase 2. O comportamento mais detalhado destes fechamentos opacos foi analisado a partir do método de De Dear e Brager.

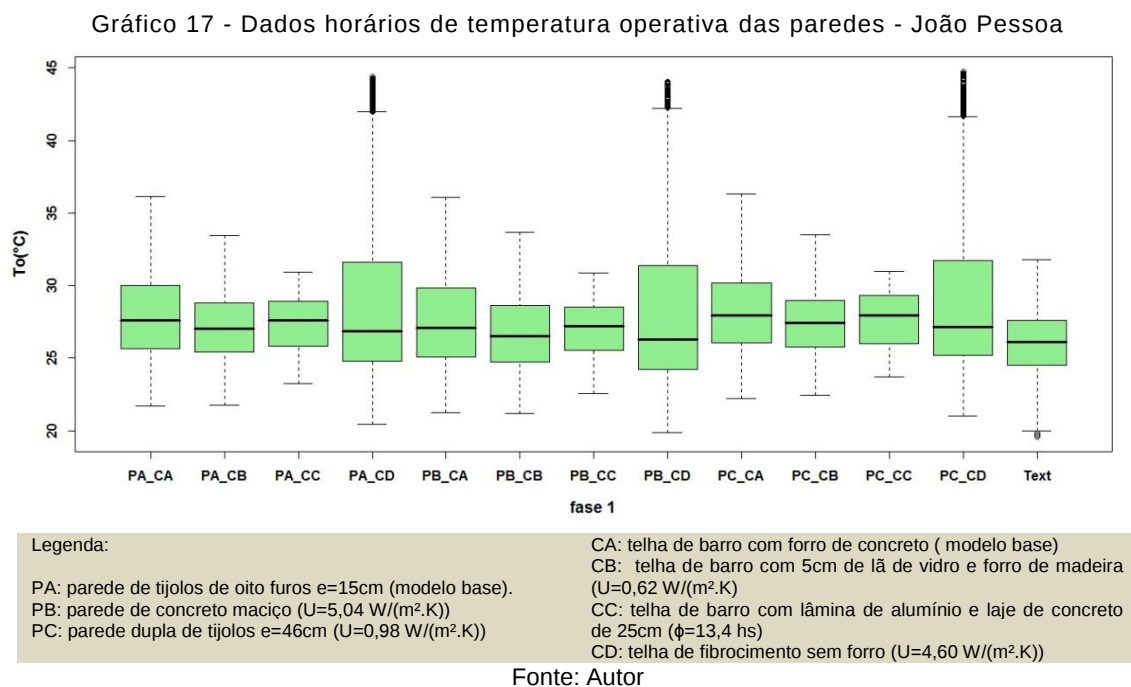
5.1 JOÃO PESSOA – FASE 1

Nesta fase, os fechamentos opacos horizontais e verticais foram combinados permitindo analisar a influência entre eles e de cada componente individualmente. Foram observados os comportamentos anuais dos dados horários das duas variáveis resposta utilizadas: temperatura operativa e ganhos de calor. Além desta análise preliminar, foram aplicados métodos distintos para cada variável, conforme quadro abaixo.

5.1.1 Fechamentos Opacos e Temperatura Operativa – Comportamento Anual

A temperatura operativa é a primeira variável resposta analisada. Inicialmente, foram comparados os dados horários anuais de temperatura operativa em cada combinação, resultando no Gráfico 17, que indica a mediana, o primeiro e terceiro quartil, os limites inferiores e superiores e os dados atípicos. As variáveis utilizadas nos fechamentos opacos verticais resultaram em comportamentos semelhantes da temperatura operativa, com influência distinta quando combinada com cada uma das cobertas. A parede (B), que

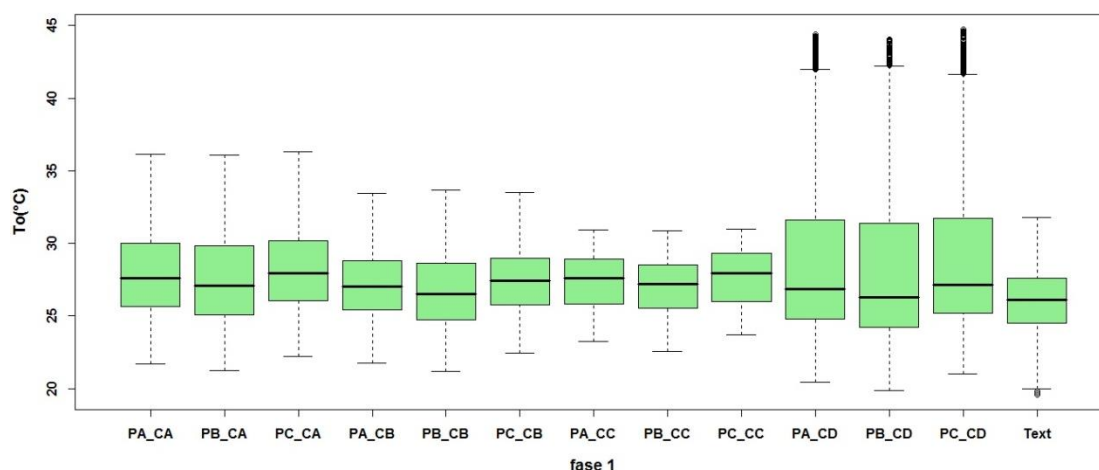
possui o maior nível de transmitância térmica e menor atraso térmico, apresentou um intervalo maior entre os quartis, quando combinada com a cobertura (A) (B) e (D).



A maior diferença ocorre entre as cobertas, com uma diferença significativa na cobertura (D), com o maior valor de transmitância térmica, que demonstrou o maior intervalo entre quartis e a maior quantidade de dados atípicos entre as combinações. A cobertura (C), com todas as paredes, possui o menor intervalo entre quartis e a menor linha inferior. Este comportamento ocorre em função de seu alto valor de atraso térmico, que retarda a transferência de calor entre o ambiente externo e interno, mantendo a temperatura operativa sem grandes oscilações, ao contrário da cobertura (D), que possui o menor atraso térmico entre as coberturas estudadas.

Agrupando as combinações pelo tipo de cobertura, observa-se de forma mais clara a diferença entre seus comportamentos. As coberturas (B) e (C), com materiais de isolamento em suas composições, resultaram em intervalos menores entre os 1º e 3º quartis, enquanto a cobertura (D) resultou nas maiores oscilações entre as temperaturas.

Gráfico 18 - Dados horários de temperatura operativa das cobertas-João Pessoa



Legenda:

PA: parede de tijolos de oito furos $e=15\text{cm}$ (modelo base).PB: parede de concreto maciço ($U=5,04 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$)PC: parede dupla de tijolos $e=46\text{cm}$ ($U=0,98 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$)

CA: telha de barro com forro de concreto (modelo base)

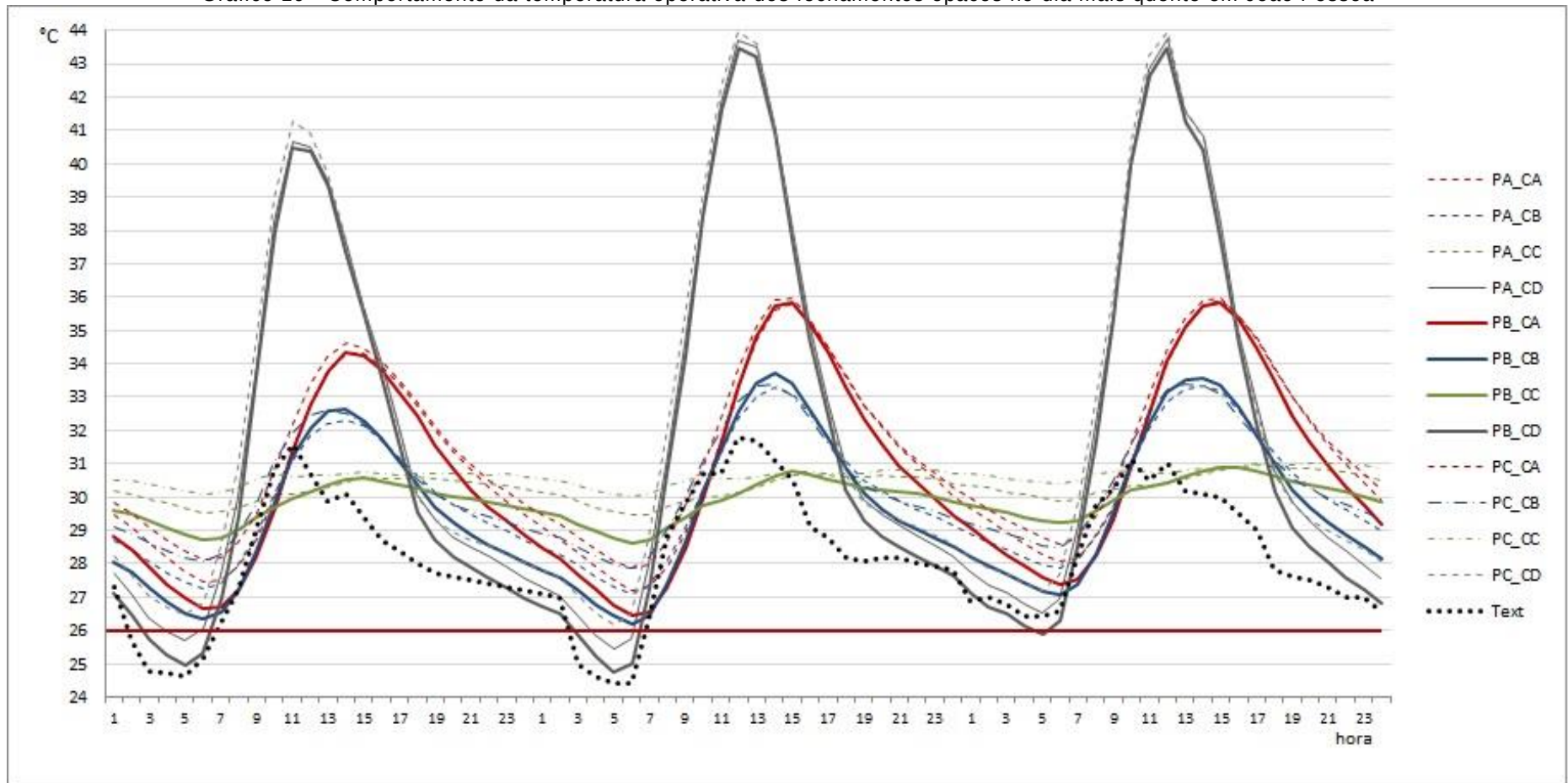
CB: telha de barro com 5cm de lã de vidro e forro de madeira ($U=0,62 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$)CC: telha de barro com lâmina de alumínio e laje de concreto de 25cm ($\phi=13,4 \text{ hs}$)CD: telha de fibrocimento sem forro ($U=4,60 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$)

Fonte: Autor

Para entender o comportamento desta variável, foram observados dados horários de um período de três dias, contando o dia anterior e o dia posterior ao dia mais quente do ano típico - 28/02. Percebe-se que as combinações com a cobertura (D) possuem as maiores oscilações entre o período noturno e diurno, chegando a temperaturas acima de 42°C , entre 12hs e 14hs, conforme Gráfico 19. Foi observado também que as combinações com a cobertura (C) resultaram em curvas de temperatura com poucas variações, com a temperatura em torno de 30°C , praticamente constante, dia e noite em função do isolamento térmico da cobertura (C), que possui telha de barro, lâmina de alumínio e laje de concreto.

Tomando como base o dia anterior e o posterior ao dia mais frio do ano típico, 18/08, observou-se que as curvas das temperaturas apresentam comportamentos próximos, com uma defasagem menor entre as temperaturas operativas das combinações e a temperatura do ar externo, representado pela série Text no Gráfico 20.

Gráfico 19 - Comportamento da temperatura operativa dos fechamentos opacos no dia mais quente em João Pessoa



Legenda:

PA: parede de tijolos de oito furos $e=15\text{cm}$ (modelo base).

PB: parede de concreto maciço ($U=5,04\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$)

PC: parede dupla de tijolos $e=46\text{cm}$ ($U=0,98\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$)

CA: telha de barro com forro de concreto (modelo base)

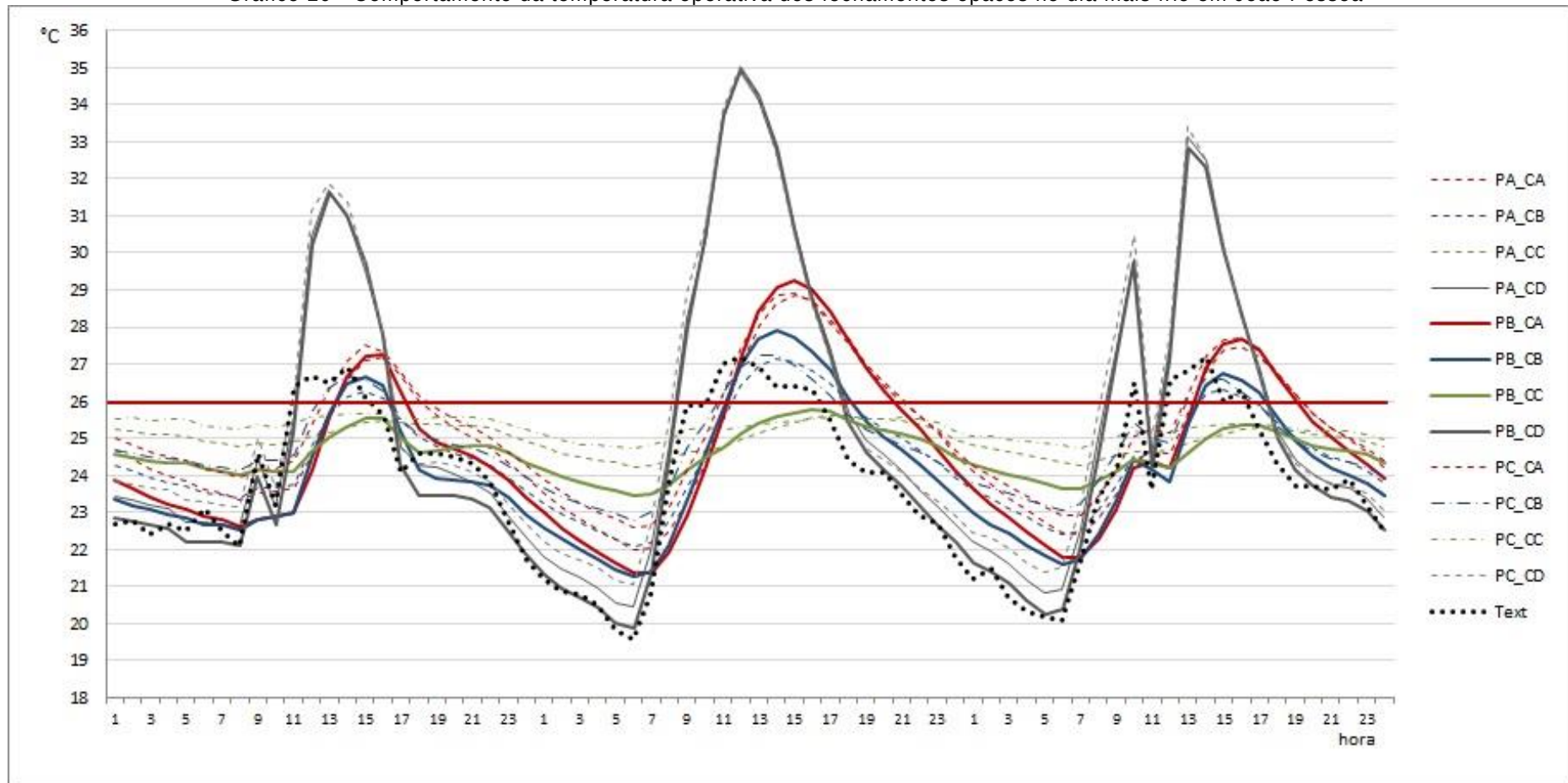
CB: telha de barro com 5cm de lâ de vidro e forro de madeira ($U=0,62\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$)

CC: telha de barro com lâmina de alumínio e laje de concreto de 25cm ($\phi=13,4\text{ hs}$)

CD: telha de fibrocimento sem forro ($U=4,60\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$)

Fonte: Autor

Gráfico 20 - Comportamento da temperatura operativa dos fechamentos opacos no dia mais frio em João Pessoa



Legenda:

PA: parede de tijolos de oito furos e=15cm (modelo base).

PB: parede de concreto maciço (U=5,04 W/(m².K))

PC: parede dupla de tijolos e=46cm (U=0,98 W/(m².K))

CA: telha de barro com forro de concreto (modelo base)

CB: telha de barro com 5cm de lã de vidro e forro de madeira (U=0,62 W/(m².K))

CC: telha de barro com lâmina de alumínio e laje de concreto de 25cm (φ=13,4 hs)

CD: telha de fibrocimento sem forro (U=4,60 W/(m².K))

Fonte: Autor

Nos itens a seguir, foram aplicados três métodos de análise, para avaliar o desempenho da variável temperatura operativa, comparando as combinações da primeira fase: Percentual de horas de desconforto por calor, Graus-hora para resfriamento e Regressão logística.

5.1.2 Fechamentos Opacos e Temperatura Operativa – Percentual de horas de desconforto

Ao comparar as combinações a partir dos resultados do percentual de horas de desconforto acima da temperatura base adotada de 26°C, se observa que a parede (C), com maior inércia térmica, apresentou os piores desempenhos entre as paredes, combinadas com as quatro cobertas. E a parede (B), com maior transmitância térmica, apresentou os melhores desempenhos.

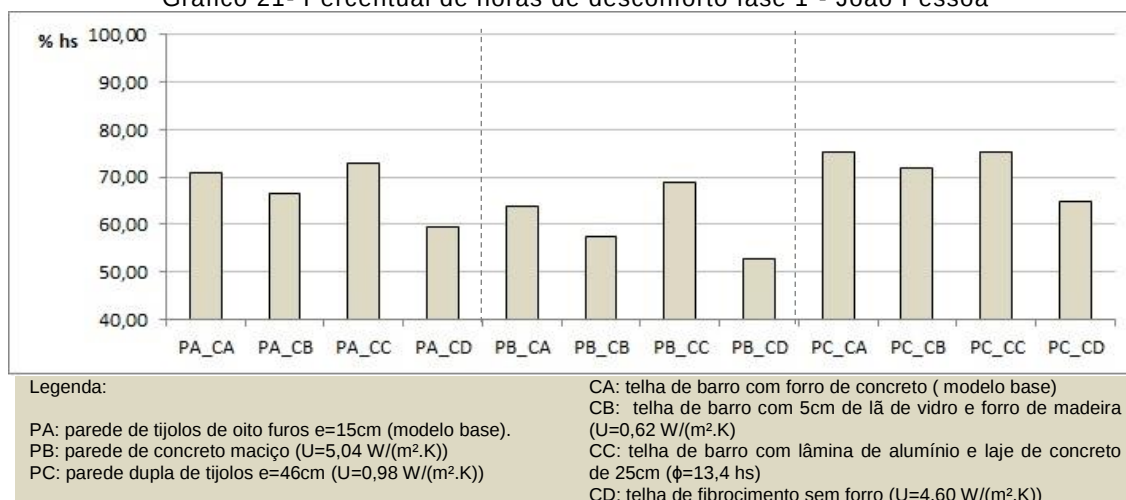
Tabela 12 - Percentual de horas de desconforto fase 1-João Pessoa

	PA_CA	PA_CB	PA_CC	PA_CD	PB_CA	PB_CB	PB_CC	PB_CD	PC_CA	PC_CB	PC_CC	PC_CD
%	71,0	66,6	73,1	59,4	63,9	57,5	68,8	52,8	75,3	72,0	75,1	64,7

Fonte: Autor

Observa-se que a cobertura (D), quando combinadas com todas as paredes, demonstrou uma redução no percentual de horas de desconforto, se comparadas com as demais cobertas. O mesmo comportamento, em segundo grau de influência, ocorre com a cobertura (B), que também diminui o percentual de horas de desconforto, quando combinados com todas as paredes. O melhor desempenho entre as combinações foi a parede (B) cobertura (D), com 52% de horas acima da temperatura base de 26°C.

Gráfico 21- Percentual de horas de desconforto fase 1 - João Pessoa



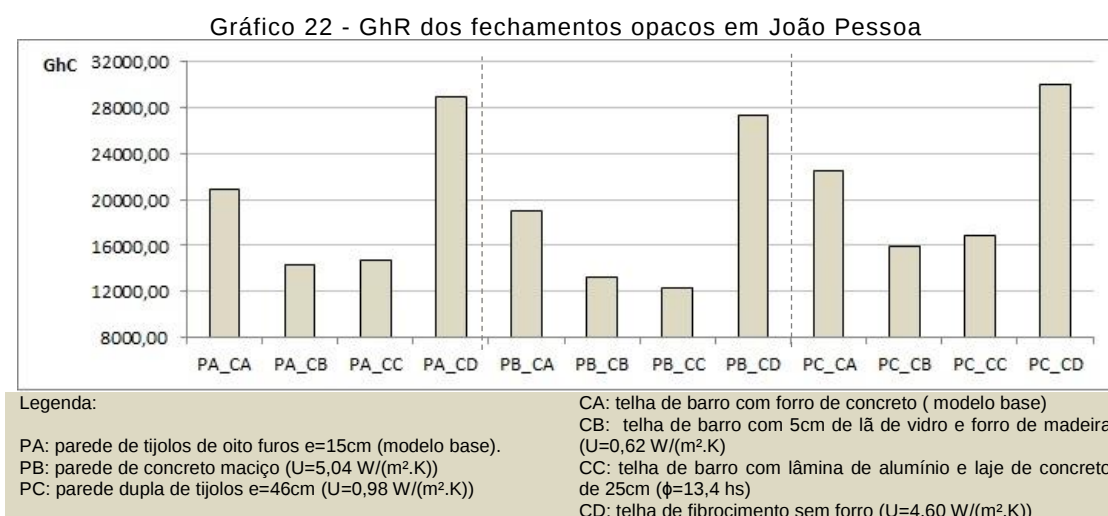
Fonte: Autor

A parede (C) apresentou os piores desempenhos, quando combinada com todas as cobertas. Entre as cobertas, percebe-se que os percentuais de horas mais altos sempre ocorrem nas combinações com a cobertura (C), que representa o menor valor de transmitância térmica. Nas combinações com a parede (C), as cobertas (A) e (C) resultaram em desempenhos semelhantes, com 75,3% e 75,1%, respectivamente, sendo o valor da cobertura (A) ainda mais alto. O pior desempenho entre as combinações foi a parede (C) cobertura (A), com 75,3% de horas de desconforto por calor.

5.1.3 Fechamentos Opacos e Temperatura Operativa – Graus hora para resfriamento

Foram observados ainda, os dados resultantes a partir da aplicação do método de análise de Graus-hora para resfriamento (GhR) para as combinações da fase 1, que indicaram diferenças significativas quando comparadas com os resultados dos percentuais de horas de desconforto, analisado no item anterior.

A partir do Gráfico 22, observa-se que as cobertas com isolamento térmico em sua composição, resultaram nos melhores desempenhos neste critério. A cobertura (C), com menor valor de transmitância térmica, possui o menor valor de graus-hora para resfriamento, quando combinada com a parede (B), com 12.238,48 GhR. No caso da parede (A) e (C), o melhor desempenho foi da cobertura (B). A combinação parede (C)_cobertura (D) possui o maior valor entre as combinações, com 30.072,04 GhR.



Pôde-se observar que algumas combinações obtiveram comportamentos distintos em função da influência da cobertura, apesar de resultarem em comportamentos

semelhantes no método das horas de desconforto, tais como: as combinações parede (C)_coberta (A) e parede (C)_coberta (C), por exemplo, que resultaram em 75% de horas de desconforto, mas apresentaram valores de 22.519 graus-hora e 16.888 graus-hora, respectivamente. Essas diferenças entre os graus-hora demonstram que na combinação parede (C)_coberta (A), os valores de temperatura operativa acima da temperatura base estiveram mais altos que os valores da combinação parede (C)_coberta (C).

Em resumo, a cobertura (D) demonstra o pior desempenho entre as cobertas estudadas, com valores mais elevados que as demais cobertas, seguido da cobertura (A), também com altos valores de graus-hora para resfriamento. O comportamento da cobertura (D) pode ser explicado pelo seu alto valor de transmitância térmica com $U = 4,60 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$, que reduz o tempo de transferência de calor entre o ambiente externo e o ambiente interno.

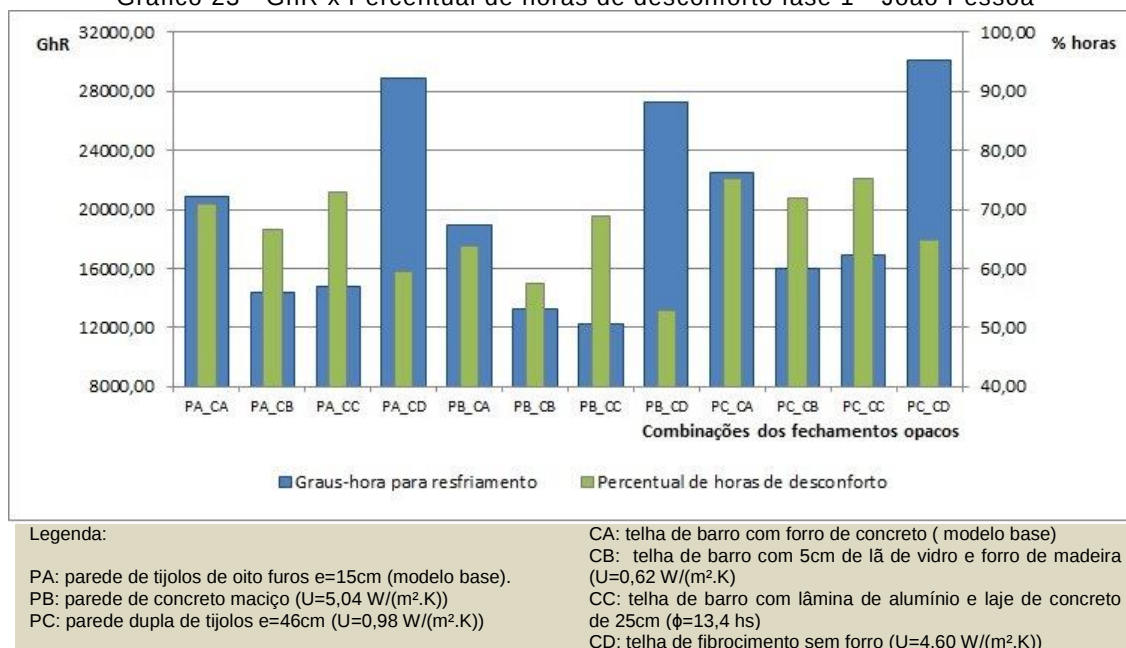
5.1.4 Fechamentos Opacos e Temperatura Operativa – Percentual de horas de desconforto x Graus hora para resfriamento

Ao observar a relação entre o percentual de horas de desconforto por calor e a quantidade de graus-hora para resfriamento, pôde-se confirmar a observação de Negreiros (2010), que diz que o método de determinação do percentual de horas de desconforto quantifica o total de horas que a temperatura ultrapassou o limite da temperatura de conforto, mas não considera as temperaturas atingidas nestas horas de desconforto.

A avaliação da quantidade de horas que a temperatura esteve ou não na zona de conforto não foi suficiente para caracterizar o desempenho das combinações de parede e cobertura estudadas, pois não determina a intensidade do nível de desconforto. Ao observar a combinação PB_CD, por exemplo, obteve-se o melhor percentual de horas de desconforto, em função da diminuição das temperaturas no período da noite, mas não foram considerados aos altos valores de temperatura entre 11hs e 15hs, alcançando 44°C no dia mais quente, conforme Gráfico 19, citado anteriormente na página 66.

Desta maneira, é importante também observar a quantidade de graus-hora que essa temperatura excedeu a zona de conforto, complementando a análise da temperatura operativa, apesar de não demonstrar a distribuição da temperatura ao longo do tempo.

Gráfico 23 - GhR x Percentual de horas de desconforto fase 1 - João Pessoa



Fonte: Autor

A diferença dos métodos pode ser exemplificada com a combinação parede (C)_coberta (D), que demonstrou o pior desempenho no método de graus-hora para resfriamento, apesar de não ter demonstrado resultado significativo no método de análise do percentual de horas de desconforto por calor. A coberta (D), quando combinada com todas as paredes, demonstrou os melhores resultados no percentual de horas de desconforto, e também os maiores valores de graus-hora para resfriamento.

5.1.5 Fechamentos Opacos e Temperatura Operativa – Regressão Logística

O uso da Regressão Logística permitiu verificar o limite da temperatura operativa para João Pessoa. O objetivo é quantificar a diferença entre os desempenhos das combinações, determinando o melhor e o pior resultado, a partir da equação abaixo que foi determinada para este modelo, considerando grupo, a combinação da parede e coberta.

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Grupo} \quad (\text{Equação 12})$$

Inicialmente, foram determinadas as estimativas de cada combinação e os coeficientes de significância, segundo o Teste de Wald, para verificar quais possuem diferença significativa isoladamente, considerando como modelos de referência, a parede (A) e a coberta (A). A combinação G10, que reúne a parede (C) e a coberta (B), não demonstrou diferença significativa, não rejeitando a hipótese nula (Ho) de que o desempenho é semelhante para valores de temperatura operativa abaixo da temperatura base, conforme Tabela 13 abaixo.

Tabela 13 - Coeficientes de significância To- João Pessoa

Coeficientes	Estimativa	Pr(> z)	Resultado
(Intercept)	-0,114319	$1,65 \times 10^{-5}$	Rejeita a Ho
factor(G)2	0,214112	$1,43 \times 10^{-10}$	Rejeita a Ho
factor(G)3	-0,105071	0,00224	Rejeita a Ho
factor(G)4	0,540786	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho
factor(G)5	0,340638	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho
factor(G)6	0,620762	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho
factor(G)7	0,108756	0,00124	Rejeita a Ho
factor(G)8	0,82079	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho
factor(G)9	-0,227135	$7,24 \times 10^{-11}$	Rejeita a Ho
factor(G)10	-0,051975	0,12833	Não rejeita a Ho
factor(G)11	-0,215698	$5,79 \times 10^{-11}$	Rejeita a Ho
factor(G)12	0,302093	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho
hora	-0,066016	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho

Legenda:

G1 – parede A-coberta A	G5 – parede B-coberta A	G9 – parede C-coberta A
G2 – parede A-coberta B	G6 – parede B-coberta B	G10 – parede C-coberta B
G3 – parede A-coberta C	G7 – parede B-coberta C	G11 – parede C-coberta C
G4 – parede A-coberta D	G8 – parede B-coberta D	G12 – parede C-coberta D

Fonte: Autor

Desconsiderando a combinação G10, foram determinadas as estimativas resultantes pelo teste de Wald, que indicaram o aumento da probabilidade de ocorrer conforto na maior parte das combinações, reduzindo essa chance apenas nas combinações G3, G9 e G11. A partir das estimativas, foram calculados os exponenciais, que permitiram quantificar a razão da chance de ocorrer o evento de interesse, conforme Tabela 14.

Tabela 14 – Modelo simplificado de coeficientes de significância To - João Pessoa

Coeficientes	Estimativas	Pr(> z)	Resultado	Exponenciais	Chance
(Intercept)	-0,140189	$6,77 \times 10^{-12}$	Rejeita a Ho	0,87	
factor(G)2	0,239966	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	1,27	Aumenta em 27%
factor(G)3	-0,079217	0,00811	Rejeita a Ho	0,92	Reduz em 8%
factor(G)4	0,566639	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	1,76	Aumenta em 76%
factor(G)5	0,366491	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	1,44	Aumenta em 44%
factor(G)6	0,646615	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	1,91	Aumenta em 91%
factor(G)7	0,134609	$3,77 \times 10^{-6}$	Rejeita a Ho	1,14	Aumenta em 14%
factor(G)8	0,846643	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	2,33	Aumenta em 133%
factor(G)9	-0,201281	$4,02 \times 10^{-11}$	Rejeita a Ho	0,82	Reduz em 18%
factor(G)11	-0,189843	$4,39 \times 10^{-10}$	Rejeita a Ho	0,82	Reduz em 18%
factor(G)12	0,327946	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	1,38	Aumenta em 27%
hora	-0,066015	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho		

Legenda:

G1 – parede A-coberta A	G5 – parede B-coberta A	G9 – parede C-coberta A
G2 – parede A-coberta B	G6 – parede B-coberta B	G10 – parede C-coberta B
G3 – parede A-coberta C	G7 – parede B-coberta C	G11 – parede C-coberta C
G4 – parede A-coberta D	G8 – parede B-coberta D	G12 – parede C-coberta D

Fonte: Autor

O modelo de regressão logística utiliza um valor de referência, a temperatura base de 26°C, que permite quantificar o conforto a partir dos dados horários, semelhante ao método de percentual de horas de desconforto. Neste modelo, foi possível quantificar a diferença da probabilidade de conforto entre o modelo base e as demais combinações, aumentando a chance a partir do exponencial da estimativa. Pôde-se verificar que o melhor desempenho ocorreu no G8, referente à combinação da parede (B) e coberta (D), ambas com maiores valores de transmitância térmica analisada.

A equação da regressão logística encontrada para as variáveis estudadas indica a probabilidade de p ocorrer em cada parâmetro analisado. A partir desta equação, foi observado que a combinação G8 aumenta a chance de conforto em duas vezes mais do que o modelo base. Observa-se ainda que as melhores chances são relativas às combinações com a parede (B), que resultou nos melhores percentuais, como o G6 e o G8.

Outro fator que pode ser observado é que a chance reduziu na cobertura (C), quando combinadas com dois tipos de parede, a parede (A) e a parede (C), mas esta cobertura recebeu influência da parede (B)⁷ aumentando a chance em 14%, diferente das demais paredes. Percebe-se que o pior desempenho ocorreu nas combinações G9 e G11, reduzindo a chance em 18%, conforme equação 13.

$$\left(\frac{p}{1-p} \right) = e^{\beta_0 + \beta_1 G_2 + \beta_2 G_3 + \beta_3 G_4 + \beta_4 G_5 + \beta_5 G_6 + \beta_6 G_7 + \beta_7 G_8 + \beta_8 G_9 + \beta_9 G_{11} + \beta_{10} G_{12} + \beta_{11} Hora}$$

(Equação 13)

$$e^{0,87+1,27.G_2+0,92.G_3+1,76.G_4+1,44.G_5+1,91.G_6+1,14.G_7+2,33.G_8+0,82.G_9+0,82.G_{11}+1,38.G_{12}+0,94.Hora}$$

Em resumo, o modelo de regressão logística contribuiu para avaliar a temperatura operativa de maneira mais precisa, confirmando o resultado do percentual de horas de desconforto estimado para as combinações simuladas nesta fase.

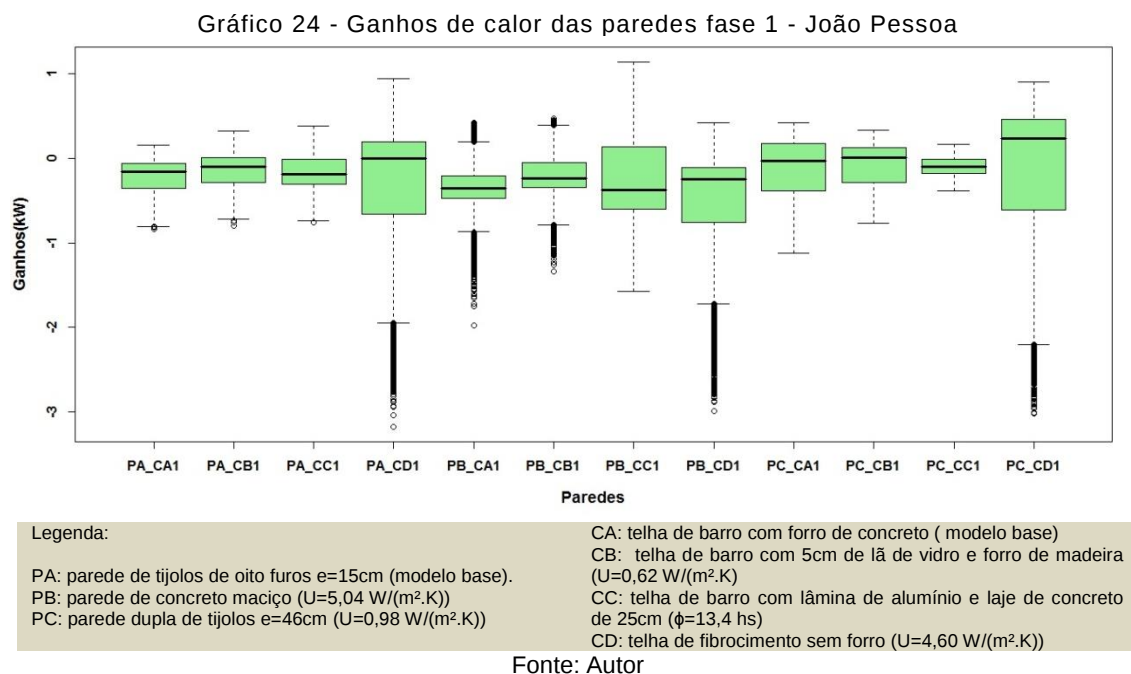
Por ser um modelo linear generalizado, foi suficiente para sua validação, observar que os coeficientes do componente foram significativos, rejeitando a hipótese nula, conforme Tabela 14. Não foram considerados nestes modelos, os valores do pseudo-R², sendo utilizadas para diagnosticar as irregularidades do modelo, duas análises de resíduos: 1) o resíduo de Pearson (teste qui-quadrado) que rejeitou a hipótese de que não há diferenças entre a temperatura operativa e as variáveis independentes, com p-value menor que $2,2 \times 10^{-16}$, e 2) o teste de hipótese de análise de variância (Anova), que rejeitou a

⁷ A parede (B) é de concreto maciço, com maior valor de transmitância térmica. A combinação da cobertura (C) com a parede (B) resulta na combinação G(7).

hipótese da variância dos dados serem semelhantes entre as combinações, com resultado de p-value menor que $2,2 \times 10^{-16}$ (CORDEIRO e DEMÉTRIO, 2008).

5.1.6 Fechamentos Opacos e Ganhos de calor – Comportamento Anual x Teste de Wilcoxon

A segunda variável resposta avaliada foram os ganhos de calor dos fechamentos opacos. Inicialmente, foi utilizado o gráfico de caixa para avaliar a distribuição dos ganhos de calor das cobertas em cada uma das combinações, a partir de dados horários, totalizando 8760 dados por variável. Este gráfico indica que os maiores limites inferiores ocorrem em todas combinadas com a cobertura (D), com valores atípicos chegando a -3kW. A parede (B), com maior transmitância térmica, demonstrou os menores intervalos entre os quartis, quando combinada com as cobertas (A) e (B). A parede (C), com maior atraso térmico, combinada com a cobertura (C), com isolamento térmico, resultou no menor valor de mediano e menor intervalo entre os quartis. No entanto, a parede (B), combinada com esta cobertura, resultou nos maiores ganhos, representada pelo maior valor do terceiro quartil e maior limite superior entre as combinações.



Foram aplicados os seguintes pressupostos: testes de normalidade Lillie Fours e teste de variância Ncvteste, que permitiram observar que as distribuições dos ganhos de calor não são normais e não possuem variância constante. Foi aplicado o teste de hipótese de Wilcoxon, para determinar a diferença entre os ganhos, a partir da alternativa greater,

sendo comparadas todas as combinações com o modelo base. Foi definido o intervalo de confiança entre eles e a estimativa de intervalo de confiança em kW, conforme Tabela 15.

Tabela 15 – Teste de Wilcoxon - ganhos de calor das paredes - JP

Coeficientes	Alternativa “Greater”	p-value conf.int	Resultado	Estimativa da diferença
GC1 - GC2	1	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	-0,0693
GC1 – GC3	1	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	-0,0372
GC1 – GC4	1	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	-0,1600
GC1 – GC5	$<2,2 \times 10^{-16}$	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,1502
GC1 – GC6	$2,33 \times 10^{-5}$	$4,68 \times 10^{-5}$	Rejeita a Ho	0,0149
GC1 – GC7	$<2,2 \times 10^{-16}$	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,1179
GC1 – GC8	$<2,2 \times 10^{-16}$	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,1130
GC1 – GC9	1	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	-0,1502
GC1 – GC10	1	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	-0,1580
GC1 – GC11	1	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	-0,0859
GC1 – GC12	1	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	-0,3995

Legenda:

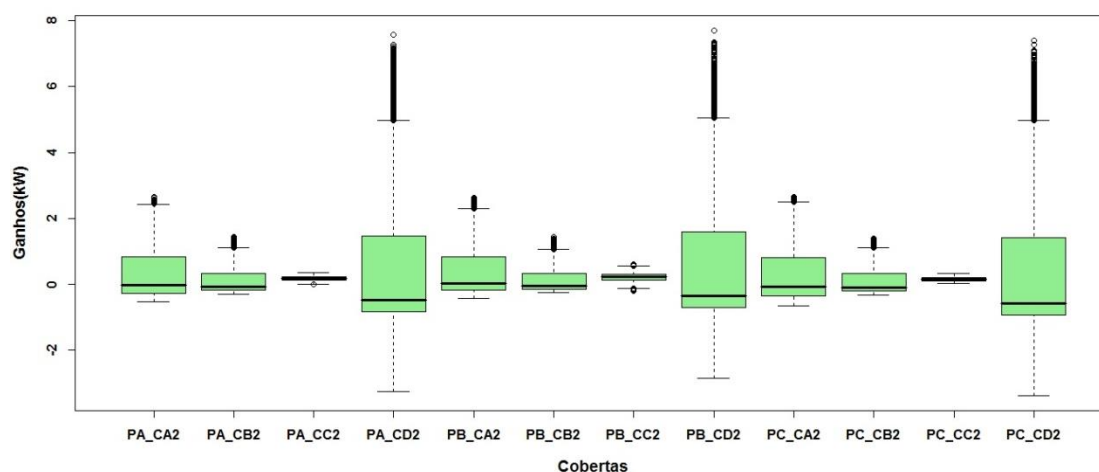
G1 – parede A-coberta A	G5 – parede B-coberta A	G9 – parede C-coberta A
G2 – parede A-coberta B	G6 – parede B-coberta B	G10 – parede C-coberta B
G3 – parede A-coberta C	G7 – parede B-coberta C	G11 – parede C-coberta C
G4 – parede A-coberta D	G8 – parede B-coberta D	G12 – parede C-coberta D

Fonte: Autor

A partir do teste de Wilcoxon, foram verificadas diferenças positivas entre as combinações G (5), G (6), G (7) e G (8), comparadas com o modelo base. As estimativas esperadas resultaram em valores baixos, sendo 0,15 kW a maior estimativa referente à parede (B)_coberta (A). As maiores diferenças ocorreram nas combinações com a parede (B) de concreto maciço, com o maior valor de transmitância térmica, que ganha menos calor que o modelo base. A maior diferença ocorreu entre a combinação G12 e o modelo base, com valor negativo de 0,3995 kW, demonstrando que os fechamentos opacos com alta inércia térmica ganham mais calor que o modelo base.

O Gráfico 25 avalia a distribuição dos ganhos de calor das cobertas em cada uma das combinações. O maior intervalo entre os quartis ocorreu na cobertura (D), combinada com todas as paredes. Esta cobertura também apresenta os maiores ganhos, com valores atípicos acima do terceiro quartil, que chegam a 8 kW. Esta cobertura também apresenta os mais baixos limites inferiores. A cobertura (C) demonstrou o menor intervalo entre os quartis, ou seja, os 50% centrais dos ganhos de calor desta cobertura mantiveram os valores muito próximos da mediana, sem grandes variações ao longo do ano.

Gráfico 25 - Ganhos de calor fase 1 cobertas - João Pessoa



Legenda:

PA: parede de tijolos de oito furos $e=15\text{cm}$ (modelo base).
 PB: parede de concreto maciço ($U=5,04\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$)
 PC: parede dupla de tijolos $e=46\text{cm}$ ($U=0,98\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$)

CA: telha de barro com forro de concreto (modelo base)

CB: telha de barro com 5cm de lã de vidro e forro de madeira ($U=0,62\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$)CC: telha de barro com lâmina de alumínio e laje de concreto de 25cm ($\phi=13,4\text{ hs}$)CD: telha de fibrocimento sem forro ($U=4,60\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$)

Fonte: Autor

Para determinar a diferença entre os ganhos de calor das cobertas, foram comparadas as combinações, definindo o intervalo de confiança entre eles e a estimativa da diferença do intervalo de confiança livre de distribuição, através do teste de hipótese de Wilcoxon, conforme Tabela 16 abaixo.

Tabela 16 – Teste de Wilcoxon - ganhos de calor das cobertas - JP

Coeficientes	Alternativa "Greater"	p-value conf.int	Resultado	Estimativa da diferença
GC1 - GC2	0,9997	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a H_0	-0,0184
GC1 - GC3	1	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a H_0	-0,2081
GC1 - GC4	$<2,2 \times 10^{-16}$	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a H_0	0,4578
GC1 - GC5	1	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a H_0	-0,0825
GC1 - GC6	1	$4,68 \times 10^{-5}$	Rejeita a H_0	-0,0469
GC1 - GC7	1	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a H_0	-0,2198
GC1 - GC8	$<2,2 \times 10^{-16}$	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a H_0	0,3327
GC1 - GC9	$<2,2 \times 10^{-16}$	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a H_0	0,0652
GC1 - GC10	0,6072	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a H_0	-0,0014
GC1 - GC11	1	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a H_0	-0,1869
GC1 - GC12	$<2,2 \times 10^{-16}$	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a H_0	0,5520

Legenda:

G1 – parede A-coberta A

G2 – parede A-coberta B

G3 – parede A-coberta C

G4 – parede A-coberta D

G5 – parede B-coberta A

G6 – parede B-coberta B

G7 – parede B-coberta C

G8 – parede B-coberta D

G9 – parede C-coberta A

G10 – parede C-coberta B

G11 – parede C-coberta C

G12 – parede C-coberta D

Fonte: Autor

Foram verificadas diferenças significativas entre as combinações G (4), G (8), G (9) e G (12), comparadas com o modelo base. As maiores estimativas esperadas ocorreram nas combinações associadas à coberta (D), telha de fibrocimento sem forro, sendo 0,55 kW

a maior diferença entre elas, referente à parede (C)_coberta (D). Portanto, os menores ganhos de calor ocorreram nas combinações com a cobertura que representa o maior valor de transmitância térmica analisado.

5.1.7 Fechamentos Opacos – Comparação entre os métodos da fase 1

A partir da comparação entre os métodos adotados nesta fase, foram identificados diferentes resultados entre as combinações. A parede (C) demonstrou o pior desempenho na maioria dos métodos, enquanto a parede (B) demonstrou o melhor desempenho. Quanto à cobertura, os desempenhos foram inversos, conforme Quadro 4.

Quadro 4 - Comparação entre métodos - João Pessoa

Variável resposta 1 analisada: Temperatura Operativa	
Métodos	Resultado
Comportamento Anual	Maior influência das cobertas. Coberta D = maiores oscilações de temperatura operativa. Parede B = menores medianas.
Percentual de horas de desconforto	Maior influência da parede (C) = aumento das horas de desconforto. Parede (C) com cobertura (C) = pior desempenho Parede (B) com cobertura (D) = melhor desempenho
Graus-hora para Resfriamento	Maior influência da cobertura (D) = aumento dos GhR. Parede (C) com cobertura (D) = pior desempenho Parede (B) com cobertura (C) = melhor desempenho
Regressão Logística	Maior influência da cobertura (C). Parede (C) com cobertura (C) = pior desempenho Parede (B) com cobertura (D) = melhor desempenho
Variável resposta 2 analisada: Ganhos de calor	
Métodos	Resultado
Comportamento Anual	Maior influência da cobertura Todas as paredes combinadas com a cobertura (D) possuem ganhos de calor negativo A cobertura (D) possui as maiores oscilações.
Teste de Hipótese de Wilcoxon	Parede (B) menor ganho de calor Coberta (D) menor ganho de calor

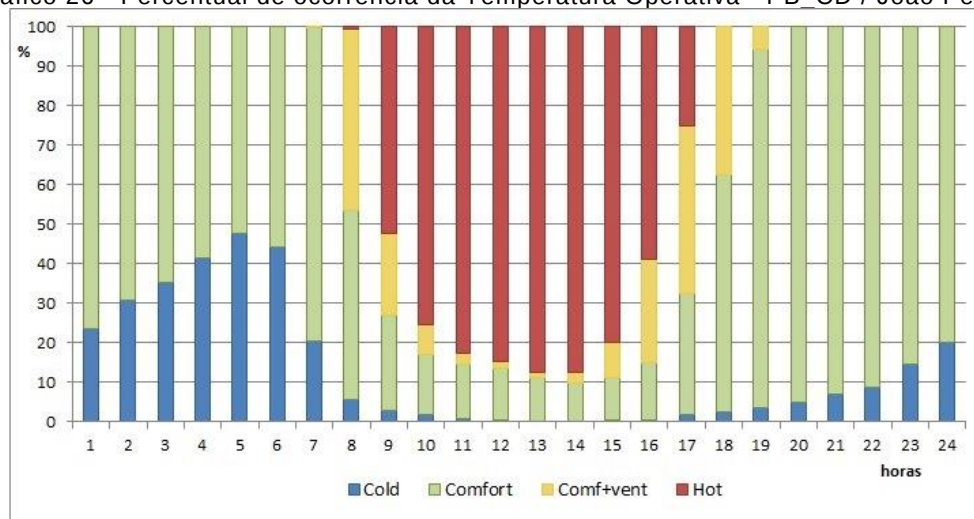
Fonte: Autor

Para as simulações da fase 2, foram definidas duas combinações de fechamentos opacos com maior relevância nos métodos aplicados. Destaca-se que, estes desempenhos não estão relacionados com os métodos aplicados. Foram selecionados os desempenhos extremos (melhor e pior) para que sejam aplicados métodos de avaliação mais detalhados, que contribuem na análise dos fechamentos opacos, e permitir as simulações da fase 2, em relação às aberturas.

A partir do método de Percentual de horas de desconforto, pôde-se observar que o melhor desempenho entre as combinações foi a parede (B)_coberta(D), que caracterizam os sistemas construtivos com valores de transmitância térmica mais elevados. O pior desempenho resultante das simulações da fase 1 foi a combinação parede (C)_coberta(C), com os menores valores de transmitância térmica analisados. A partir destas combinações, foram aplicados dois métodos de avaliação de desempenho: o método de De Dear e Brager e o método de Regressão Linear.

A partir do método de De Dear e Brager, pôde-se observar mais claramente como as temperaturas se comportaram ao longo do ano, conforme Gráfico 26 abaixo, com a ocorrência de temperaturas em quatro zonas distintas.

Gráfico 26 - Percentual de ocorrência da Temperatura Operativa - PB_CD / João Pessoa

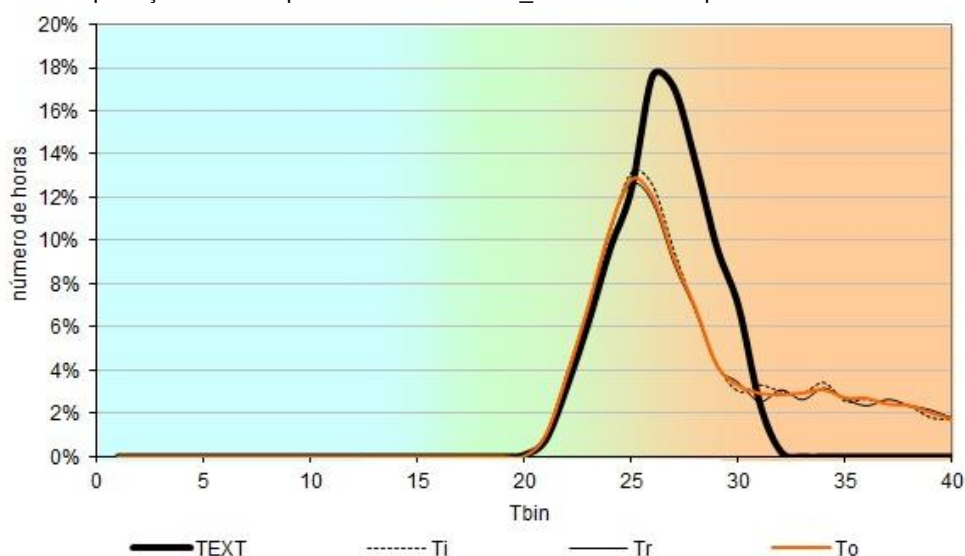


Fonte: Adaptado de NEGREIROS (2010)

Observam-se maiores ocorrências na zona *cold*, das 2hs às 7hs. A maior ocorrência em todas as horas do dia resulta na zona de conforto. Das 19hs às 24hs, mais de 80% de ocorrência está dentro da zona de conforto, que pode ser visualizada no Gráfico 26 na cor verde, conforme legenda. A partir das 09hs, o percentual de ocorrência na zona de calor predomina, alcançando mais de 80% até às 16hs.

Ao comparar as temperaturas do ar interna, temperatura radiante e temperatura operativa com a temperatura do ar externa, observa-se um comportamento distinto, principalmente nas temperaturas acima dos 30°C, conforme Gráfico 27 abaixo. A maior frequência das temperaturas internas ocorre em 25°C, com 12% a 13% do número de horas, sendo um valor mais baixo que a predominância da temperatura externa com 18% a 27°C. A diferença é significativa nas temperaturas mais elevadas, pois a temperatura externa demonstrou ocorrências até 32°C, enquanto as temperaturas internas demonstram ocorrências em torno de 3%, nas temperaturas acima de 30°C até 40°C.

Gráfico 27 - Comparação da Temperatura interna PB_CD com a temperatura externa - João Pessoa

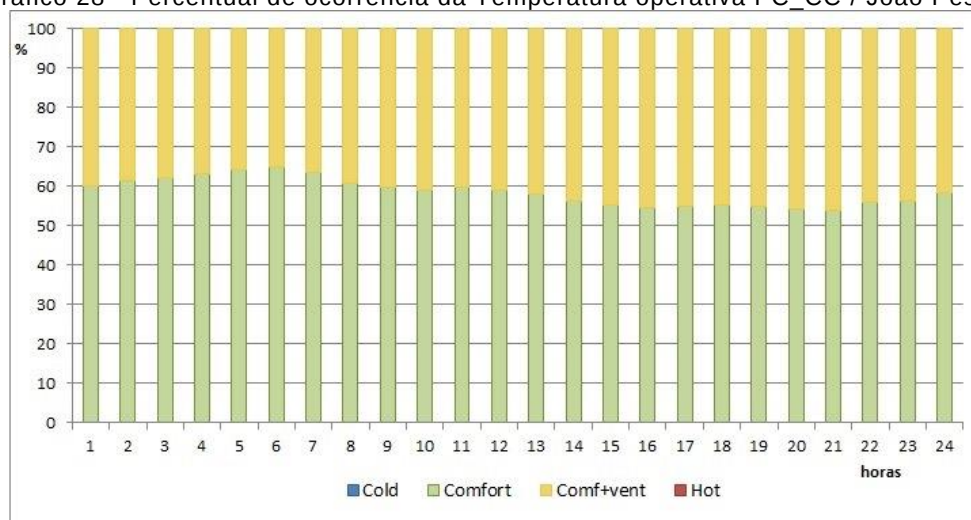


Fonte: Adaptado de NEGREIROS (2010)

Na combinação com pior desempenho, a diferença entre as temperaturas, demonstrou o menor percentual de ocorrência da zona de conforto, constante em torno de 60% entre as 01hs e 12hs da manhã, como pode ser observada no Gráfico 28. A partir das 13hs, o percentual de ocorrência diminuiu, chegando a 55% e mantendo uma frequência aproximadamente constante até o fim do dia.

Comparando o Gráfico 26 e o Gráfico 28, que demonstram as frequências de ocorrência dentro da zona de conforto nos dois desempenhos resultantes da fase 1, observa-se que o melhor desempenho, parede(B)_coberta(D), apresentou maiores percentuais de ocorrência dentro da zona de conforto com um intervalo de 55% a 98%, enquanto o pior desempenho, parede (C)_coberta (C), apresentou a maior parte dos percentuais de ocorrência aproximadamente constante em torno de 60%, com maior necessidade de ventilação inclusive no período da noite, em função do menor poder de trocas térmicas, pelos elevados valores de atraso térmico da parede, com $\phi = 10,8$ hs, e da coberta, com $\phi = 13,4$ hs.

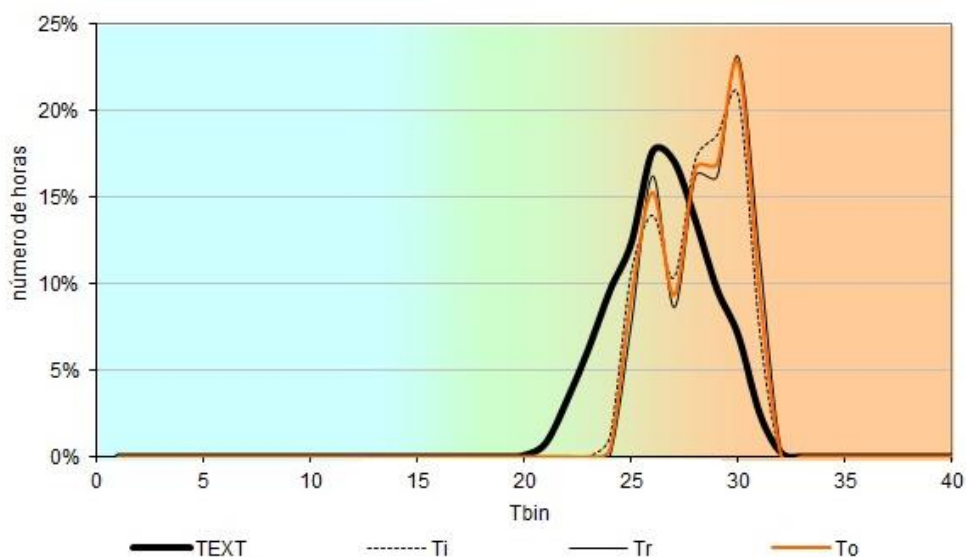
Gráfico 28 - Percentual de ocorrência da Temperatura operativa PC_CC / João Pessoa



Fonte: Adaptado de NEGREIROS (2010)

Com os dados do Gráfico 29 pode-se comparar a temperatura do ar interno, temperatura radiante e temperatura operativa com a temperatura do ar externo. A temperatura operativa esteve entre 24°C e 32°C, com a maior frequência de horas em torno de 30°C, representando 24% das horas. Percebe-se que as temperaturas relativas ao ambiente interno alcançam valores até 32°C, finalizando sua curva no mesmo ponto da temperatura externa, diferente da combinação parede (B)_coberta (D), que demonstrou temperaturas mais altas que o ambiente externo.

Gráfico 29 - Comparação da Temperatura interna PC_CC com a temperatura externa - João Pessoa

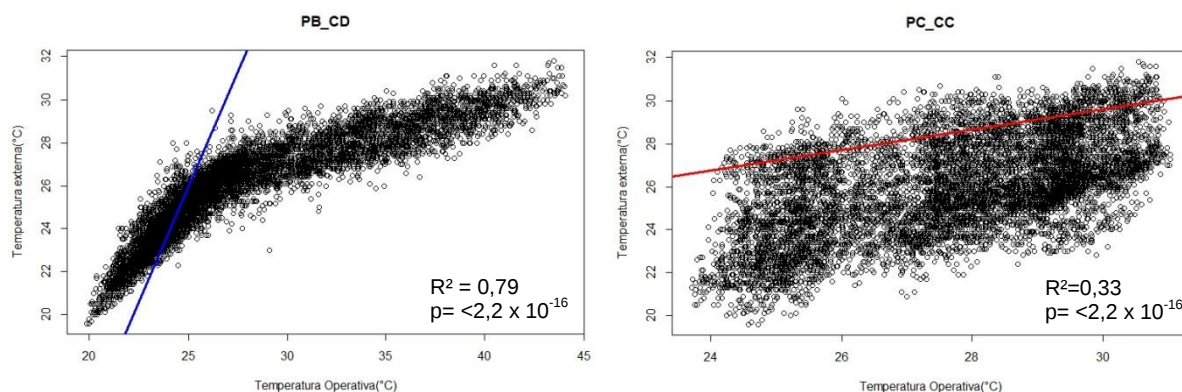


Fonte: Adaptado de NEGREIROS (2010)

Aplicando o método de regressão linear, pôde-se observar a correlação entre a temperatura operativa e a temperatura do ar externa nas duas combinações e comparar a diferença entre elas. Percebe-se que a maior relação ocorre na parede (B)_coberta(D), com

melhor desempenho térmico, que indicou um coeficiente de determinação $R^2 = 0,79$, enquanto a parede(C)_coberta(C), com pior desempenho, resultou no coeficiente de determinação $R^2 = 0,33$, conforme gráficos de dispersão abaixo:

Gráfico 30 - Gráficos de Dispersão (a) PB_CD (b) PC_CC- JP



Fonte: Autor

5.2 JOÃO PESSOA – FASE 2

A partir da análise anterior, foram selecionados os modelos considerados de pior e melhor desempenho entre os fechamentos opacos (fase 1) e, com essas soluções, foram adicionadas duas variáveis independentes: o tamanho das aberturas e a proteção solar.

O modelo base de abertura, utilizado na fase 1, corresponde a esquadria de alumínio e vidro (4 mm). Nas variações relacionadas com a área da abertura, foram verificados três tamanhos distintos, conforme as recomendações da norma 15.220 (ABNT, 2005), sendo elas: 15%, 25% e 40% em relação ao percentual de área do piso (PAP). Quanto à proteção solar, foram comparados os modelos de esquadria de alumínio e vidro com e sem proteção solar externa e esquadrias com veneziana de madeira fixa. A análise dessa fase também considera duas variáveis respostas: a temperatura operativa e os ganhos de calor das aberturas.

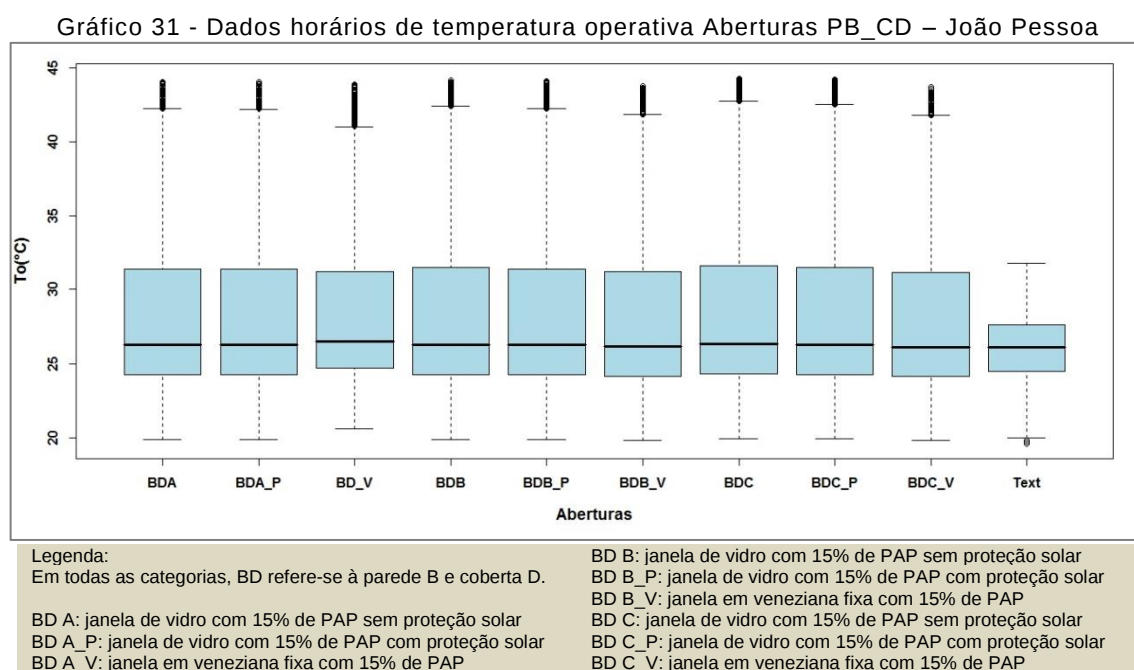
A configuração de fechamento opaco de melhor desempenho é formado pela parede (B) combinada com a cobertura (D) por apresentar o menor percentual de horas de desconforto por calor, em função da temperatura base, que foi definido como método de classificação, apesar de corresponder ao maior número de graus-hora para resfriamento. A parede (B) é referente à parede com maior valor de transmitância térmica escolhida: a parede de concreto maciço, com espessura total da parede de 5,0 cm, com valor de $U = 5,04 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$, atraso térmico de 1,3 hs e absorvância solar de 0,20. A cobertura (D) é

referente à cobertura com maior valor de transmitância térmica: a cobertura de telha de fibrocimento sem forro, com espessura da telha de 0,7 cm, com valor de $U = 4,60 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$, atraso térmico de 0,2 hs e absorptância solar de 0,70.

O pior desempenho é formado pela parede (C) combinada com a cobertura (C). A parede (C) é referente à parede com maior atraso térmico escolhido: a parede dupla de tijolos de 8 furos circulares, assentados na maior dimensão, com espessura total da parede de 46,0 cm, com valor de $U = 0,98 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$, atraso térmico de 10,8 hs e absorptância solar de 0,20. A cobertura (C) é referente à cobertura com maior valor de atraso térmico: a cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 25 cm, com espessura da telha de 1,0 cm, com valor de $U = 1,03 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$, atraso térmico de 13,4 hs e absorptância solar de 0,70.

5.2.1 Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho: Temperatura Operativa - Comportamento Anual

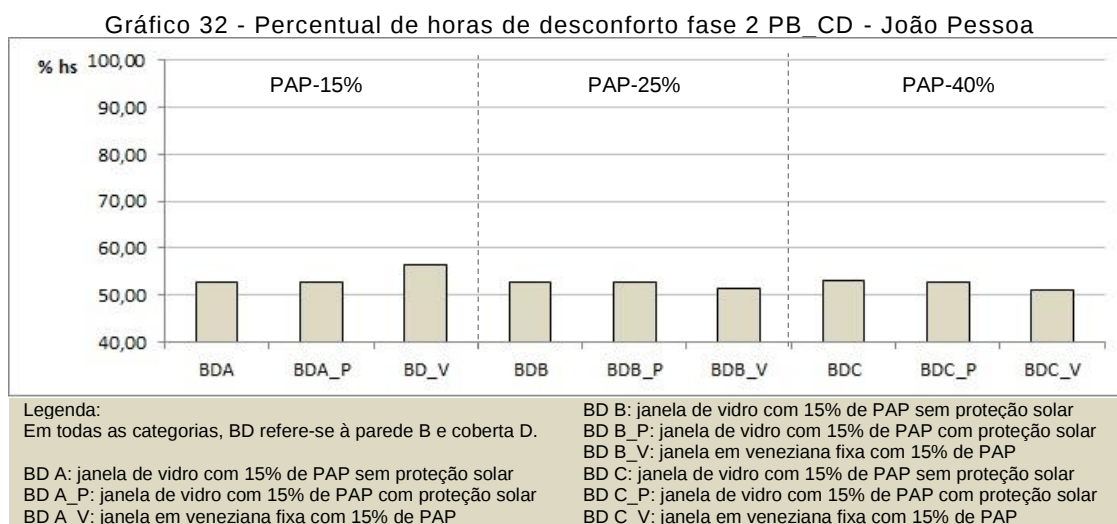
No Gráfico 31 pode-se analisar a distribuição dos dados horários de temperatura operativa em cada um dos tipos de aberturas simuladas, totalizando 8760 dados em cada categoria analisada na combinação resultante da fase com melhor desempenho. Observa-se que as diferentes categorias de aberturas simuladas resultaram em comportamentos semelhantes entre as temperaturas operativas. Os intervalos entre o primeiro e o terceiro quartis são nivelados em torno de 25°C e 32°C, respectivamente, em todas as combinações.



As medianas permaneceram em torno de 24°C, em todas as categorias, com intervalos semelhantes entre o primeiro e terceiro quartil. Da mesma maneira, as linhas superiores e inferiores indicaram comportamentos semelhantes, resultando na observação de que somente as variações das aberturas, baseadas na recomendação da norma de desempenho térmico NBR 15.220 (ABNT, 2005), que foram analisadas neste trabalho, podem não exercer influência significativa sobre a temperatura operativa dos ambientes simulados. Pôde-se observar que o comportamento da temperatura operativa pode não ser o parâmetro mais indicado para avaliar a contribuição da abertura em relação ao desempenho térmico da envoltória.

5.2.2 Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho: Temperatura Operativa - Percentual de horas de desconforto

Ao comparar os percentuais de horas de desconforto das categorias de aberturas, observa-se que não houve grandes diferenças entre os percentuais de horas de desconforto ao variar os tipos de aberturas, com intervalo de 51% a 56%, conforme Gráfico 32 abaixo. O pior desempenho ocorreu na abertura com 15% de PAP do tipo veneziana fixa. Percebe-se que, em todas as variações de tamanho, houve uma redução proporcional nas horas de desconforto na categoria com proteção solar, se comparada com a mesma abertura sem proteção solar, isto é, a abertura de 15% reduziu 0,10% com proteção solar; a abertura de 25% reduziu 0,20% e a abertura de 40% reduziu 0,30% com proteção solar, confirmando a importância do uso da proteção solar nas aberturas. O uso da veneziana na abertura com 15% de PAP resultou no aumento do percentual de horas de desconforto, diferente dos resultados dos outros tamanhos.



Fonte: Autor

O melhor desempenho ocorreu na abertura com 25% de PAP do tipo veneziana fixa. O tipo de esquadria não determina, isoladamente, o desempenho da abertura, pois o melhor e o pior percentual de horas de desconforto ocorreram em janelas do tipo veneziana. Estes resultados indicam que outras variáveis podem ter maior impacto na temperatura operativa, como o controle da taxa de ventilação distinto para o período da noite e o período do dia (STEPHAN, BASTIDE e WURTZ, 2011).

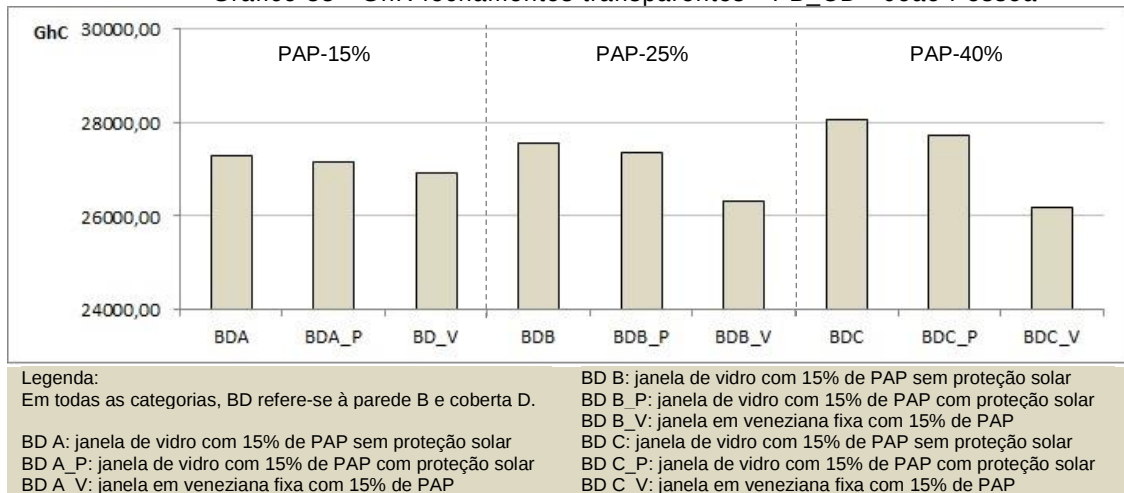
No caso analisado o padrão de trocas de ar adotado considera ventilação e infiltração. A infiltração considera frestas em portas e janelas, que permitem o fluxo de ar, independente do padrão de adaptação do usuário. A ventilação está diretamente ligada ao padrão de ocupação, variando de acordo com a temperatura do ar interno. O modelo foi configurado para que a abertura de portas e janelas, contribua para o conforto do ambiente, sendo alterado intencionalmente pelo usuário a partir de temperaturas internas de 26,5°C. Os modelos de aberturas simulados com veneziana fixa, permitiram um fluxo de ar constante penetrando no ambiente. O aumento do percentual de abertura nas janelas com veneziana reduziu o percentual de horas de desconforto, mas não foi suficiente para uma ventilação suficiente para resfriar o ambiente.

Stephan, Bastide e Wurtz (2011) demonstraram que a otimização da ventilação natural é alcançada a partir de uma taxa mínima de fluxo volumétrico durante o dia e uma alta taxa de ventilação conveniente durante a noite, a fim de reduzir o desconforto térmico durante o dia seguinte. Utilizando o algoritmo híbrido desenvolvido nesta pesquisa, foi possível reduzir em 92% o percentual de horas de desconforto em comparação aos modelos iniciais. Com base nos resultados apresentados, Stephan, Bastide e Wurtz (2011) afirmam que o sistema de regulação do controle de aberturas resulta em uma otimização do conforto interno, especialmente em edifícios com elevada inércia térmica.

5.2.3 Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho: Temperatura operativa – Graus-hora para resfriamento

Ao observar os valores de graus-hora das diferentes aberturas no melhor desempenho da fase 1, percebe-se que houve uma redução no valor de graus-hora na abertura com 15% de PAP ao inserir a proteção solar, assim como, observa-se redução ao alterar o tipo de esquadria para veneziana fixa. A mesma redução ocorreu na abertura com 25% com a inserção da proteção solar e novamente com a alteração do tipo de esquadria. Essa redução é maior na abertura com 40% de PAP, que reduz 315 GhR com proteção solar e reduz 1.858,55 GhR com veneziana fixa.

Gráfico 33 - GhR fechamentos transparentes - PB_CD - João Pessoa

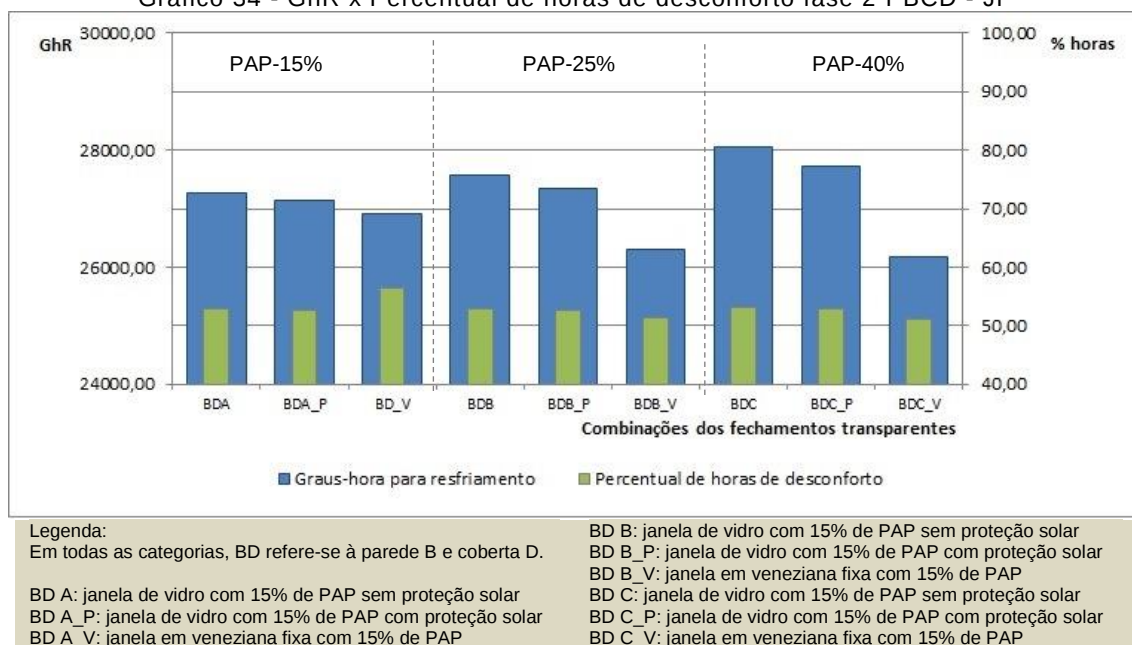


Fonte: Autor

5.2.4 Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho: Temperatura Operativa – Graus-hora para resfriamento x Percentual de horas de desconforto

Ao comparar os dois métodos, pôde-se observar que apenas nas aberturas com 15% de PAP, os resultados obtidos apresentam comportamento distinto. Para os tamanhos com 25% de PAP e com 40% de PAP, os resultados obtidos, através dos dois métodos, são similares: observa-se a redução das horas de desconforto e de resfriamento nas aberturas com proteção solar externa e veneziana (Gráfico 34).

Gráfico 34 - GhR x Percentual de horas de desconforto fase 2 PBCD - JP



Fonte: Autor

5.2.5 Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho: Temperatura Operativa – Regressao Logistica

O uso da Regressão Logística nesta fase permitiu verificar a influência das variações das aberturas sobre a temperatura operativa do ambiente interno, determinando o evento de interesse $y=1$, para os valores abaixo da temperatura base de 26°C. O objetivo é quantificar a diferença entre os desempenhos das combinações, a partir da equação abaixo que foi determinada para este modelo.

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1.TA2 + \beta_2.TA3 + \beta_3.MO2 + \beta_4.MO3 \quad (\text{Equação 14})$$

Aplicando o Teste de Wald, foram determinadas as estimativas de cada combinação e os coeficientes de significância, comparados com os modelos de referência: TA1, janela com PAP de 15%, e MO1, janela de vidro sem proteção solar. Quanto ao tamanho das aberturas, observou-se diferença significativa entre todos os tamanhos. Quanto ao modelo, não houve diferença significativa entre os modelos, por não rejeitar a hipótese (H_0) de que o desempenho é semelhante para valores de temperatura operativa abaixo da temperatura base, conforme Tabela 17 abaixo.

Tabela 17 - Coeficientes de significância To fase 2 PBCD- João Pessoa

Coeficientes	Estimativa	Pr(> z)	Resultado
(Intercept)	0,7870566	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a H_0
factor(TA)2	0,0714175	$7,82 \times 10^{-5}$	Rejeita a H_0
factor(TA)3	0,0696229	0,000118	Rejeita a H_0
factor(MO)2	0,0073503	0,684250	Não rejeita a H_0
factor(MO)3	-0,0006535	0,971112	Não rejeita a H_0
hora	-0,0767808	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a H_0

Fonte: Autor

Desconsiderando o MO(2) e o MO(3), foram determinadas as estimativas resultantes pelo teste de Wald e calculados os exponenciais, que permitiram quantificar a razão da chance de ocorrer o evento de interesse, conforme Tabela 18 abaixo.

Tabela 18 – Modelo simplificado de coeficientes de significância To - João Pessoa

Coeficientes	Estimativas	Pr(> z)	Resultado	Exponenciais	Chance
(Intercept)	0,789286	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a H_0	2,20	
factor(TA)2	0,071417	$7,82 \times 10^{-5}$	Rejeita a H_0	1,07	Aumenta em 7%
factor(TA)3	-0,069623	0,000118	Rejeita a H_0	1,07	Aumenta em 7%
hora	-0,076781	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a H_0	0,93	

Fonte: Autor

A partir da equação 15 da regressão logística encontrada, pôde-se verificar que o uso das aberturas com 25% de PAP aumenta em 7% o desempenho quando comparada com o uso das aberturas com 15% de PAP. Da mesma maneira, o uso das aberturas com 25% de PAP aumenta em 7% a chance de conforto.

$$\left(\frac{p}{1-p} \right) = e^{\beta_0 + \beta_1 TA_2 + \beta_2 TA_3 + \beta_3 Hora} = e^{2,20 + 1,07.TA_2 + 1,07.TA_3 + 0,93.Hora} \quad (\text{Equação 15})$$

Por ser um modelo linear generalizado, foram utilizadas para diagnosticar suas irregularidades, duas análises de resíduos: 1) o resíduo de Pearson (teste qui-quadrado) e 2) o teste de hipótese de análise de variância (Anova), conforme a tabela Tabela 19. As análises de resíduos confirmam a veracidade do modelo que possui coeficientes significativos, sendo suficiente para sua validação.

Tabela 19 – Análise de resíduos da regressão logística fase 2 PB_CD– JP

Coeficientes	Pearson	Resultado	Anova	Resultado
	p-value		Pr(>Chi)	
TO x TA	$7,61 \times 10^{-6}$	Rejeita a Ho	$7,58 \times 10^{-5}$	Rejeita a Ho
hora			$<2,2 \times 10^{-16}$	

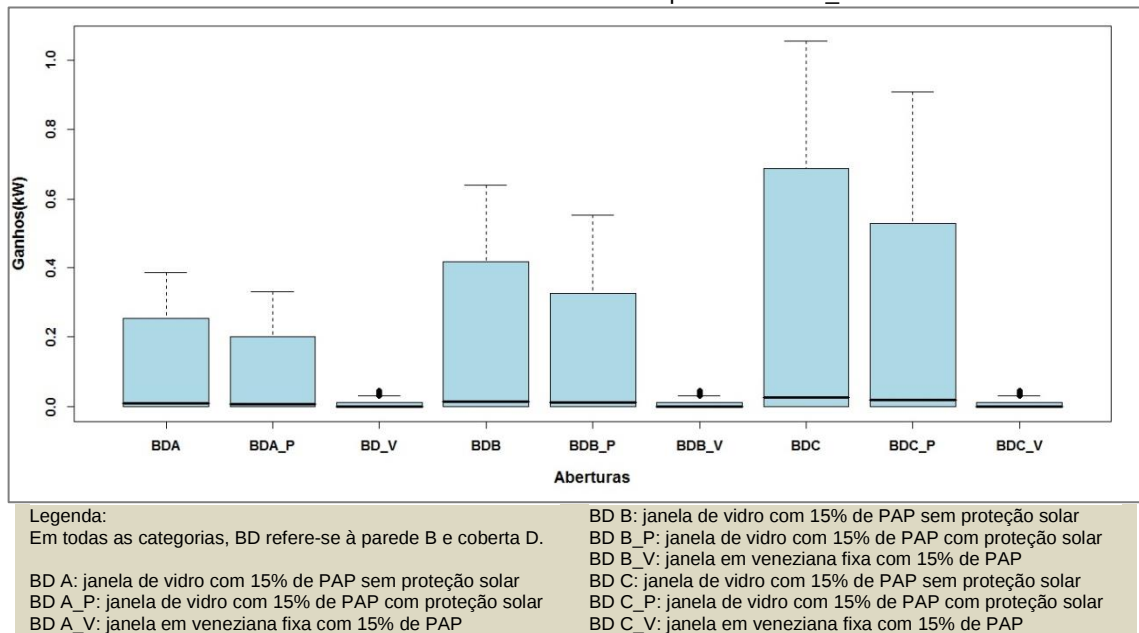
Fonte: Autor

O modelo de regressão logística confirmou que o aumento da área efetiva da abertura melhora o desempenho térmico da envoltória, por diminuir a temperatura operativa diretamente, nas simulações com esta combinação em João Pessoa. Para condições de fechamentos opacos com elevados valores de amplitude térmica, alcançando valores em torno de 42°C à tarde, o aumento das aberturas permite o melhor aproveitamento da estratégia de ventilação natural.

5.2.6 Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho: Ganhos de calor – Comportamento Anual

Quanto a segunda variável resposta, o Gráfico 35 avalia a distribuição dos ganhos de calor das categorias de aberturas simuladas, a partir de 8760 dados horários em cada tipo de abertura. O maior intervalo entre os quartis ocorreu na abertura com 40% sem proteção solar. Percebe-se uma redução nos ganhos de calor nos três tamanhos, quando foi inserida a proteção solar. A abertura, do tipo veneziana fixa, resultou no menor intervalo entre os quartis, ou seja, os 50% centrais dos ganhos de calor mantiveram os valores muito próximos da mediana, em todos os tamanhos: 15%, 25% e 40% de PAP.

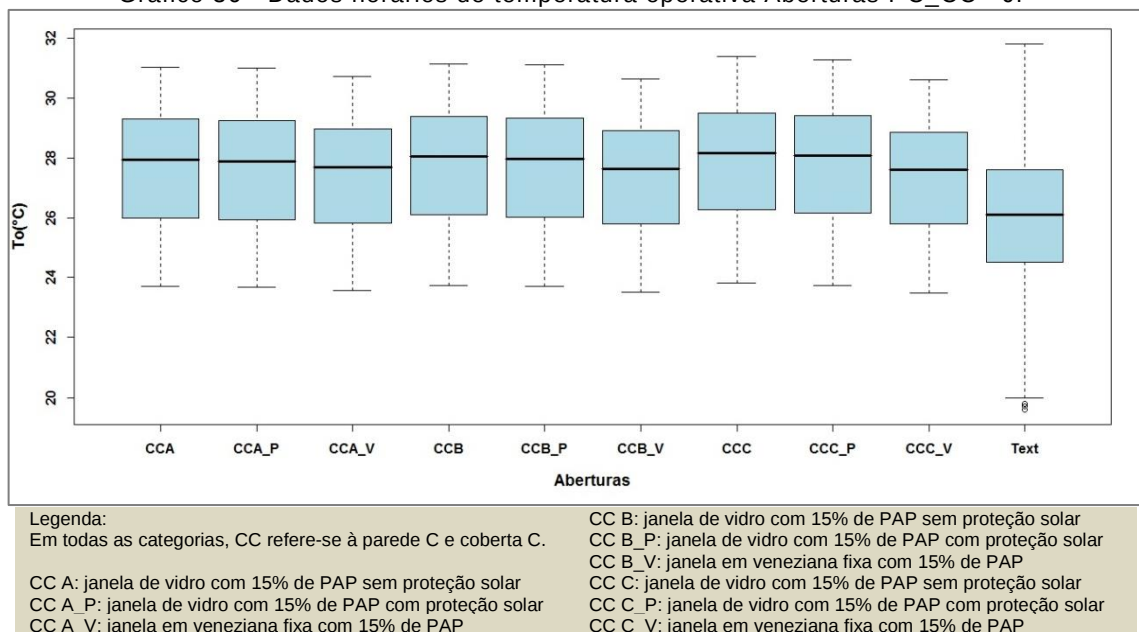
Gráfico 35 - Ganhos de calor fechamentos transparentes -PB_CD - João Pessoa



5.2.7 Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de pior desempenho: Temperatura Operativa – Comportamento Anual

A distribuição dos dados horários de temperatura operativa em cada um dos tipos de aberturas simuladas está apresentada no gráfico 36, totalizando 8760 dados em cada categoria analisada, na combinação resultante da fase com melhor desempenho. Observa-se que as diferentes categorias de aberturas simuladas resultaram em comportamentos semelhantes entre as temperaturas operativas.

Gráfico 36 - Dados horários de temperatura operativa Aberturas PC_CC - JP

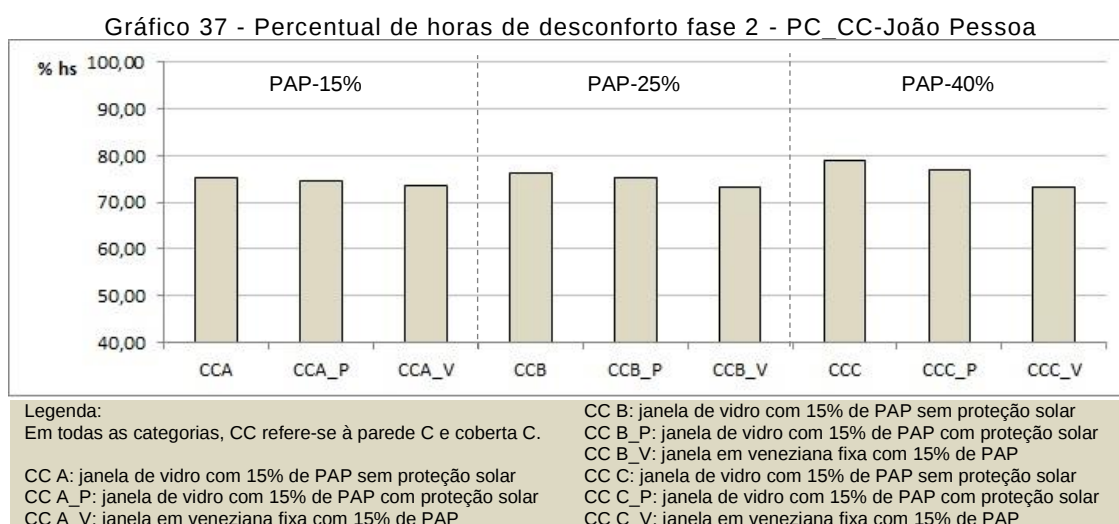


Pôde-se observar um deslocamento das linhas das medianas nos três tamanhos de abertura, à medida que foram alterados os modelos das aberturas. As aberturas com janelas em venezianas fixas resultaram na menor diferença entre os primeiro e terceiro quartis. Em todas as categorias, as medianas mantiveram valores acima da mediana da temperatura externa, como pode ser observado no Gráfico 36.

5.2.8 Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de pior desempenho: Temperatura Operativa - Percentual de horas de desconforto

No Gráfico 37 pode-se observar os percentuais de horas de desconforto das categorias de aberturas, com variação de 73 % a 78 %. O pior desempenho ocorreu na abertura com 40% de PAP sem proteção solar, que apresentou 78,78% de horas de desconforto. Em todos os tamanhos, a abertura sem proteção solar apresentou os maiores percentuais.

Percebe-se que, nos tamanhos de 25% e 40%, houve uma redução proporcional nas horas de desconforto na categoria com proteção solar, se comparada com o mesmo tamanho de abertura sem proteção solar, ou seja, a abertura de 25% reduziu 0,97% com proteção solar e a abertura de 40% reduziu 1,92% com proteção solar, confirmando a importância do uso da proteção solar nas aberturas.

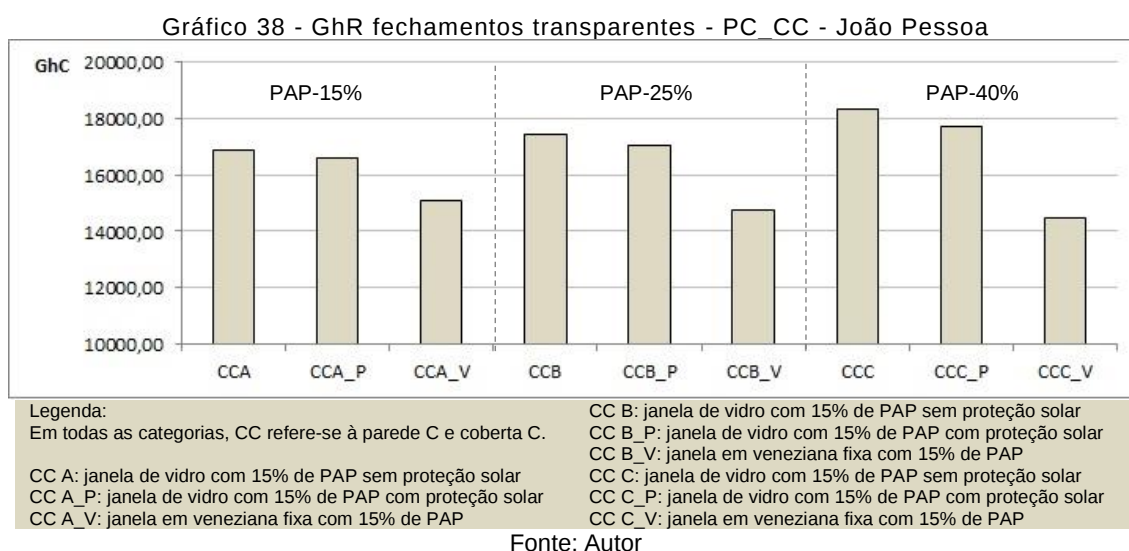


Fonte: Autor

Ao comparar o gráfico 31, referente ao percentual de horas de desconforto na combinação PB_CD, com o gráfico 37 da combinação PC_CC, percebe-se mais influência do tamanho da abertura sobre o desempenho da envoltória, para a condição de fechamento opaco com melhor desempenho.

5.2.9 Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de pior desempenho: Temperatura Operativa - Graus hora para resfriamento

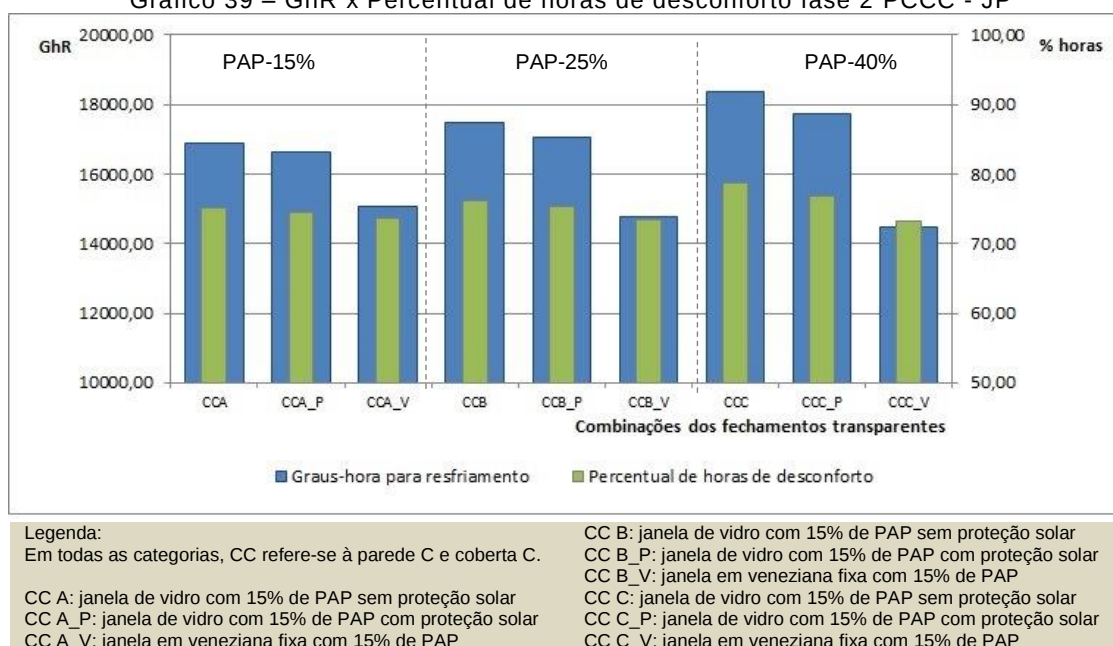
Ao aplicar o método de graus-hora para resfriamento nas diferentes aberturas, percebe-se que houve uma redução no valor de graus-hora na abertura com 15% de PAP ao inserir a proteção solar e novamente reduziu ao alterar o tipo de esquadria para veneziana fixa. A mesma redução ocorreu na abertura com 25% e com 40% de PAP. As maiores diferenças ocorrem nas aberturas com 40% de PAP, reduzindo 613,63 GhR quando utilizada a proteção solar e 3.884,6 GhR, quando alterado o tipo de janela de vidro para veneziana.



5.2.10 Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de pior desempenho: Temperatura Operativa - Percentual de horas de desconforto x Graus-hora para resfriamento

Ao comparar os dois métodos, pôde-se observar que em todos os tamanhos: 15%, 25% e 40% de PAP, os resultados obtidos indicam comportamento semelhante das variáveis analisadas, ocorrendo a redução gradativa das horas de desconforto e de resfriamento com a alteração dos modelos para janela com proteção solar e veneziana fixa.

Gráfico 39 – GhR x Percentual de horas de desconforto fase 2 PCCC - JP



Fonte: Autor

5.2.11 Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de pior desempenho: Temperatura Operativa – Regressão Logística

O uso da Regressão Logística nesta fase permitiu verificar a influência das variações das aberturas sobre a temperatura operativa do ambiente interno, determinando o evento de interesse $y=1$, para os valores abaixo da temperatura base de 26°C . O objetivo é quantificar a diferença entre os desempenhos das aberturas, a partir da equação abaixo.

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1.TA2 + \beta_2.TA3 + \beta_3.MO2 + \beta_4.MO3 \quad (\text{Equação 16})$$

Foram determinadas as estimativas e os coeficientes de significância, a partir do Teste de Wald, de cada categoria comparada com os modelos de referência: TA, janela com PAP de 15%, e MO, janela de vidro sem proteção solar. Quanto ao tamanho das aberturas, observou-se que as simulações com percentuais de aberturas de 25% de PAP, não indicaram diferença significativa, por não rejeitar a hipótese (H_0) de que o desempenho é semelhante para valores de temperatura operativa abaixo de 26°C , conforme Tabela 20.

Tabela 20 - Coeficientes de significância To fase 2 PCCC- João Pessoa

Coeficientes	Estimativa	Pr(> z)	Resultado
(Intercept)	-1,009148	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a H_0
factor(TA)2	-0,029456	0,14255	Não rejeita a H_0
factor(TA)3	-0,099159	$9,99 \times 10^{-7}$	Rejeita a H_0
factor(MO)2	0,063153	0,00205	Rejeita a H_0
factor(MO)3	0,180239	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a H_0
hora	-0,011396	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a H_0

Fonte: Autor

Desconsiderando o TA(2), foram determinadas as estimativas resultantes pelo teste de Wald e calculados os exponenciais, que permitiram quantificar a razão da chance de ocorrer o evento de interesse, conforme Tabela 21 abaixo.

Tabela 21 – Modelo simplificado de coeficientes de significância To - João Pessoa

Coeficientes	Estimativas	Pr(> z)	Resultado	Exponenciais	Chance
(Intercept)	-1,023825	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,35	
factor(TAbin)3	-0,084484	$1,69 \times 10^{-6}$	Rejeita a Ho	0,92	Reduz em 8%
factor(MO)2	0,063151	0,00205	Rejeita a Ho	1,07	Aumenta em 7%
factor(MO)3	0,180234	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	1,20	Aumenta em 20%
hora	-0,011396	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,99	

Fonte: Autor

A partir da equação da regressão logística encontrada, pôde-se verificar que o uso das aberturas com 40% de PAP, reduziu a chance de conforto em 8%, em relação ao tamanho de referência. Quanto ao modelo, observou-se que o uso de esquadrias com veneziana fixa obteve o melhor desempenho com um aumento da chance em 20%.

$$\left(\frac{p}{1-p} \right) = e^{\beta_0 + \beta_1 TA3 + \beta_2 MO2 + \beta_3 MO3 + \beta_4 Hora} = e^{0,35 + 0,92.TA3 + 1,07.MO2 + 1,20.MO3 + 0,99.Hora} \quad (\text{Equação 17})$$

Para diagnosticar as irregularidades do modelo, foram realizadas duas análises de resíduos: 1) o resíduo de Pearson (teste qui-quadrado) e 2) o teste de hipótese de análise de variância (Anova), conforme a Tabela 22.

Tabela 22 – Análise de resíduos da regressão logística fase 2 PB_CD– JP

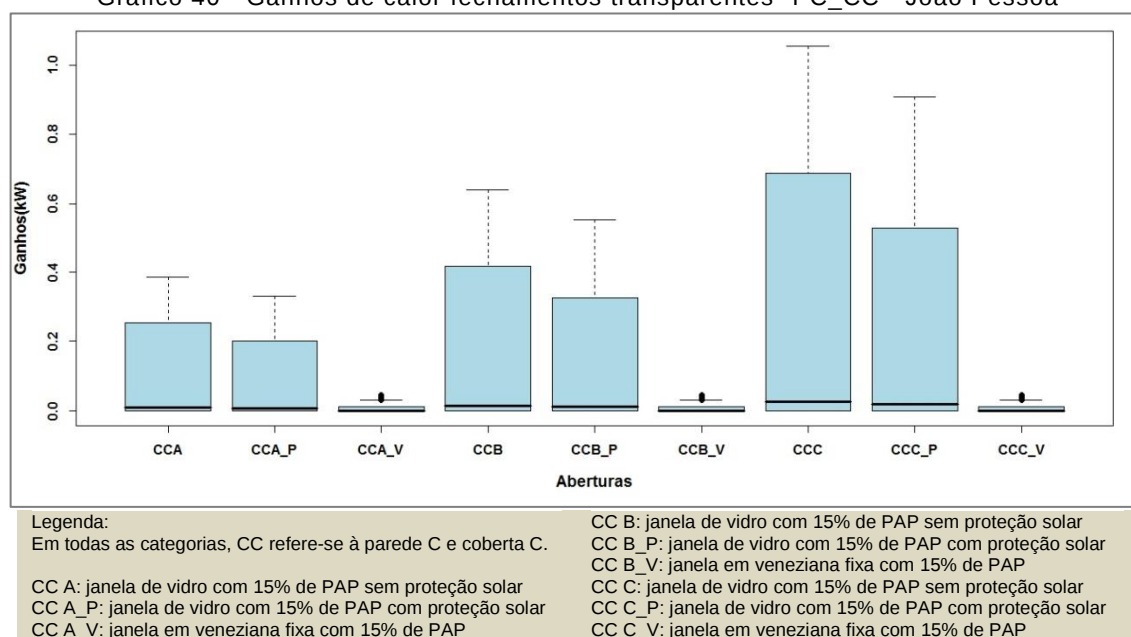
Coeficientes	Pearson	Resultado	Anova	Resultado
	p-value		Pr(>Chi)	
TO x TAbin	$1,808 \times 10^{-6}$	Rejeita a Ho	$1,633 \times 10^{-6}$	Rejeita a Ho
TO x MO	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho
hora			$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho

Fonte: Autor

5.2.12 Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de pior desempenho: Ganhos de calor – Comportamento Anual

Ao observar a segunda variável resposta: os ganhos de calor das aberturas, pôde-se observar a distribuição dos ganhos de calor, a partir de 8760 dados horários em cada tipo de abertura, como se pode visualizar no Gráfico 39.

Gráfico 40 - Ganhos de calor fechamentos transparentes -PC_CC - João Pessoa



Fonte: Autor

O maior intervalo entre os quartis ocorreu na abertura com 40% sem proteção solar. Foi observada uma redução nos ganhos de calor em todos os tamanhos, ao inserir a proteção solar. Já a abertura com veneziana fixa, resultou no menor intervalo entre os quartis, com valores muito próximos das medianas, em todos os tamanhos.

5.3. CONCLUSÕES SOBRE OS RESULTADOS DE JOÃO PESSOA

Pôde-se observar que os métodos utilizados resultam em observações distintas, com contribuições que se complementam. Sobre os fechamentos opacos, observou-se que os elementos com altos índices de transmitância térmica resultaram nos menores percentuais de desconforto por calor, enquanto, os elementos com maior inércia térmica resultaram nos piores desempenhos. A maior influência vem da cobertura de fibrocimento sem forro, com os maiores intervalos entre os quartis, representando as maiores variações de temperatura operativa. Esta cobertura também apresenta os menores percentuais de horas de desconforto por calor e, contudo, os maiores valores de graus-horas para resfriamento.

Sobre as paredes, percebe-se pouca diferença entre as combinações em função da contribuição das cobertas, mas pôde-se observar um aumento no percentual de horas de desconforto em todas as combinações com a parede (C), que representa a parede dupla de tijolos de oito furos assentadas na maior dimensão, totalizando 46 cm, ou seja, a parede com maior inércia térmica resultou em desempenhos piores em função da quantidade de horas que a temperatura operativa se mantém acima de 26°C, que é a temperatura base.

Outra consideração importante refere-se à cobertura (C) com telha de barro, lâmina de alumínio e laje de concreto de 25 cm, representando a cobertura com isolamento térmico. As combinações de fechamentos opacos com esta cobertura resultaram em condições internas de temperatura operativa quase constante, sem muitas oscilações, no entanto, com valores em torno de 30°C durante o dia e à noite, ou seja, as condições noturnas ficam comprometidas pela diferença entre as temperaturas do ar interna e a temperatura externa.

Quanto às aberturas, as variações verificadas na fase 2, resultaram em desempenhos distintos quando simuladas em combinações de fechamentos opacos com características termofísicas distintas. A combinação com maior transmitância térmica, a parede (B) com a cobertura (D), não indicou diferença significativa na temperatura operativa, resultando em percentuais de horas de desconforto muito semelhantes. Não houve grandes diferenças entre os valores de graus-hora para resfriamento em cada categoria, com redução de graus-hora no uso de proteção solar e no uso da veneziana fixa, quando comparados com o modelo base em todos os tamanhos. No entanto, as variações das aberturas não exerceram influência significativa nos percentuais de horas de desconforto, com diferença média de 2% entre elas.

Variando os tipos de abertura na combinação parede (B) com a cobertura (D), percebe-se ainda que os ganhos de calor aumentaram em função do aumento de seu tamanho, isto é, quanto maior o percentual de área de abertura maior o seu ganho de calor. Outra contribuição refere-se ao uso de proteção solar, que reduz o ganho de calor em todos os tamanhos de aberturas, bem como o uso de veneziana fixa, que tende a zero, em função da redução da incidência solar direta.

A combinação com maior inércia térmica resultou na maior influência das variações das aberturas sobre a temperatura operativa, com percentuais de horas de desconforto mais distintos, aumentando à medida que aumenta o tamanho da abertura. Portanto, percebe-se uma maior influência da abertura no desempenho térmico da envoltória, em condições de fechamentos opacos com maior inércia térmica do que em condições com maior transmitância térmica.

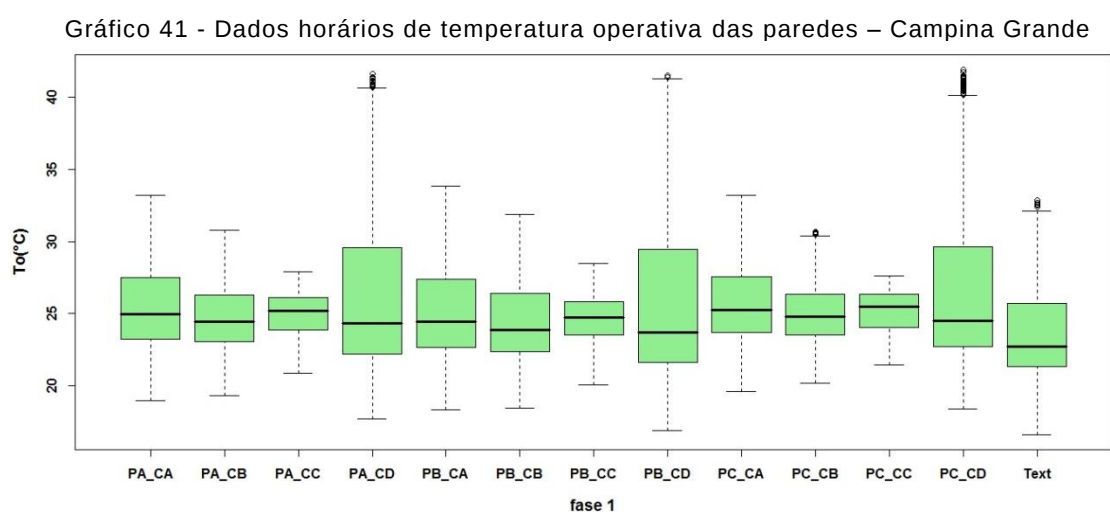
Variando os tipos de abertura na combinação parede (C) com a cobertura (C), os ganhos de calor aumentaram em função de seu tamanho, assim como na combinação da parede (B) com a cobertura (D), demonstrando diferenças significativas entre os tamanhos simulados. Desta maneira, observa-se que quanto maior o percentual de área de abertura maior o seu ganho de calor. Porém, se a abertura é sombreada o aumento da ventilação tende a favorecer a redução das temperaturas internas.

5.4. CAMPINA GRANDE – FASE 1

A fase 1 refere-se aos fechamentos opacos horizontais e verticais. Com combinações de diferentes tipos de paredes e cobertas, foram observados os seguintes métodos: Comportamento Anual dos dados horários, Percentual de horas de desconforto, Graus-hora para resfriamento e Regressão Logística, considerando a temperatura operativa como variável resposta. Foram aplicados métodos distintos para os Ganhos de calor: Comportamento Anual e Teste de Hipótese de Wilcoxon.

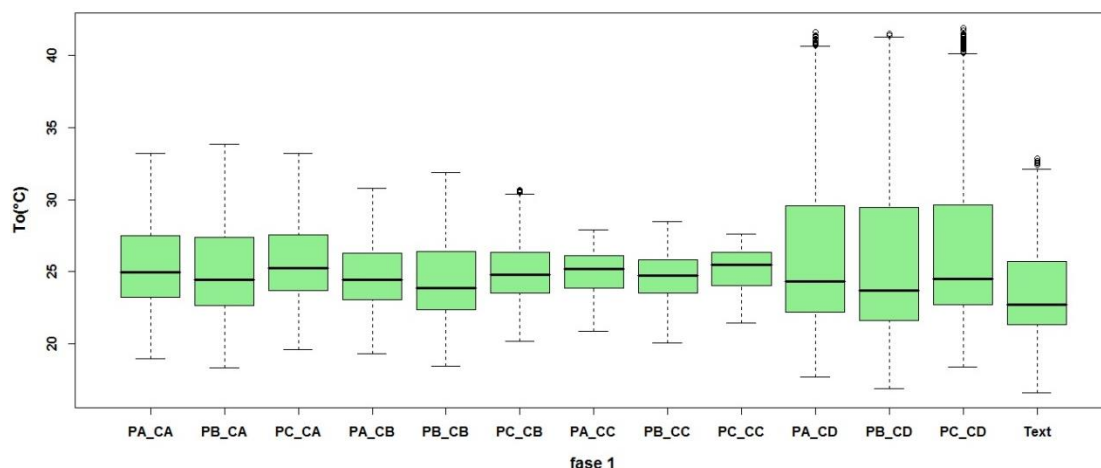
5.4.1. Temperatura Operativa dos Fechamentos Opacos – Comportamento Anual

Inicialmente, foram comparados os dados de temperatura operativa, resultando no Gráfico 41, com a mediana, o primeiro e terceiro quartil, os limites inferiores e superiores e os dados atípicos, a partir do tratamento de 113.880 dados horários relativos a um período de um ano de cada combinação. Observa-se que a cobertura apresenta impacto significativo sobre a temperatura operativa, quando comparada com os fechamentos verticais. Tomando por exemplo, a cobertura A (CA) combinada com os fechamentos verticais PA, PB e PC apresenta comportamento similar, porém o fechamento PA ao ser combinado com as coberturas CA, CB, CC e CD apresenta variações significativas em relação à variável observada - temperatura operativa.



Todas as combinações associadas com a cobertura (D) indicaram um intervalo entre quartis maior que as demais, com valores que chegam a 30°C no terceiro quartil e o limite superior alcançando os 40°C. A cobertura (C) resultou nos menores intervalos entre os quartis, com poucas oscilações nos 50% centrais de dados. Ao agrupar os dados pelas cobertas, torna-se mais clara a diferença entre o comportamento dos dados da cobertura (C) e da cobertura (D), como pode ser visto no Gráfico 42.

Gráfico 42 - Dados horários de temperatura operativa das cobertas – Campina Grande



Legenda:

PA: parede de tijolos de oito furos $e=15\text{cm}$ (modelo base).
PB: parede de concreto maciço ($U=5,04 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$)
PC: parede dupla de tijolos $e=46\text{cm}$ ($U=0,98 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$)

CA: telha de barro com forro de concreto (modelo base)

CB: telha de barro com 5cm de lã de vidro e forro de madeira ($U=0,62 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$)

CC: telha de barro com lâmina de alumínio e laje de concreto de 25cm ($\phi=13,4 \text{ hs}$)

CD: telha de fibrocimento sem forro ($U=4,60 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$)

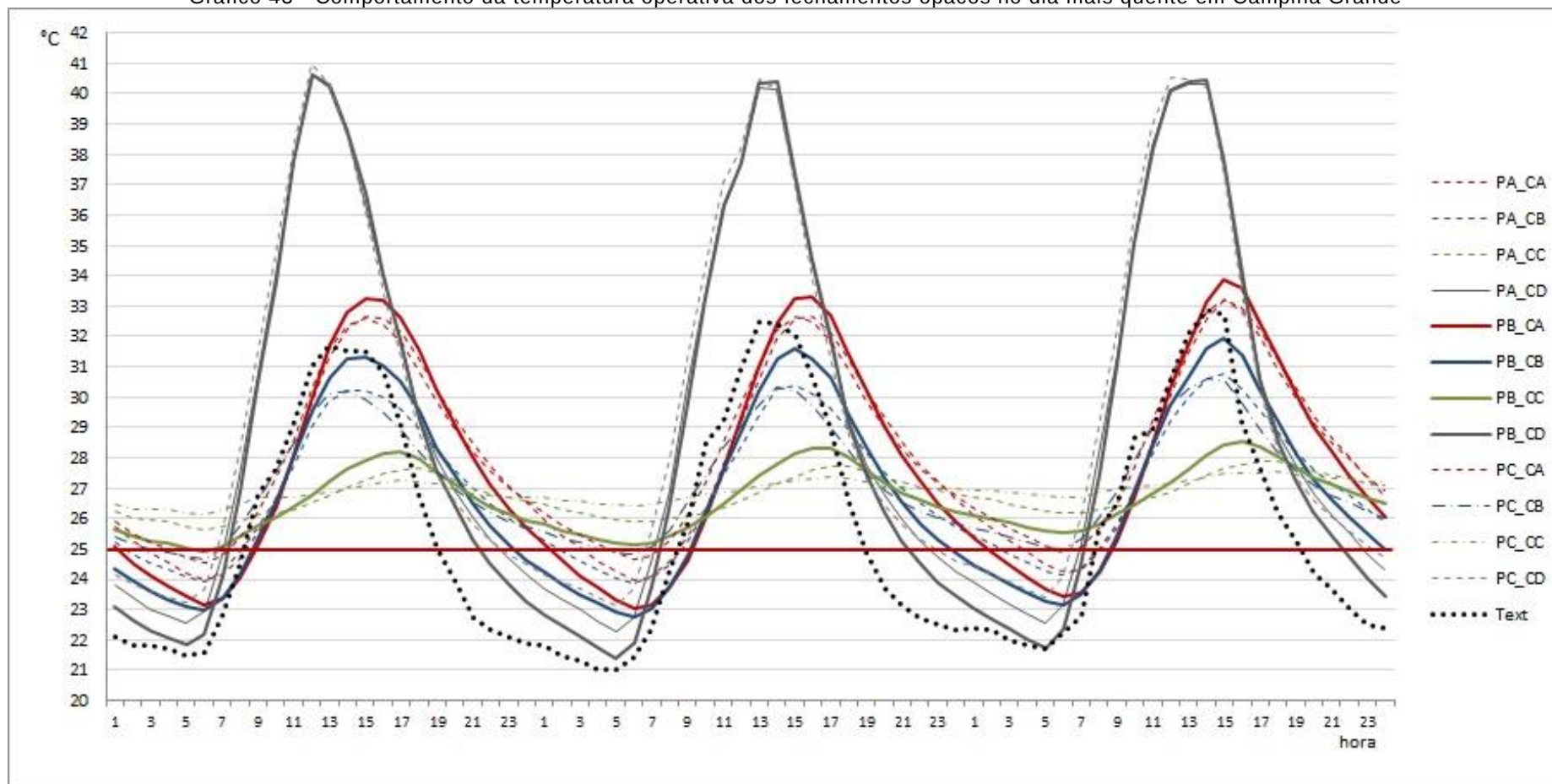
Fonte: Autor

Foram observados ainda dados horários no dia mais quente do ano, no intuito de contribuir para entendimento dos comportamentos distintos entre as combinações. O Gráfico 43 apresenta curvas de todas as combinações em um período de três dias, contando o dia anterior e o dia posterior ao dia mais quente do ano típico, que em Campina Grande foi 30 de dezembro. Percebe-se que as combinações com a cobertura (D) possuem as maiores oscilações entre o período noturno e diurno, chegando a temperaturas acima de 38°C.

As combinações com a cobertura (C) demonstraram curvas com poucas variações, mantendo a temperatura em torno de 27°C constante durante todo o dia. A condição constante da temperatura no ambiente interno é favorável para a sensação de conforto, por não ter grandes oscilações de temperatura, no entanto, esta temperatura está acima do limite da zona de conforto adaptativo de 25°C.

Foram observados também o dia anterior e o dia posterior ao dia mais frio do ano típico, que em Campina Grande foi 06 de maio. As curvas apresentam uma defasagem menor entre as temperaturas operativas das combinações, quando comparadas com a temperatura do ar externa, com valores que chegam a 35°C, na parede (B)_coberta (D).

Gráfico 43 - Comportamento da temperatura operativa dos fechamentos opacos no dia mais quente em Campina Grande



Legenda:

PA: parede de tijolos de oito furos $e=15\text{cm}$ (modelo base).

PB: parede de concreto maciço ($U=5,04\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$)

PC: parede dupla de tijolos $e=46\text{cm}$ ($U=0,98\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$)

CA: telha de barro com forro de concreto (modelo base)

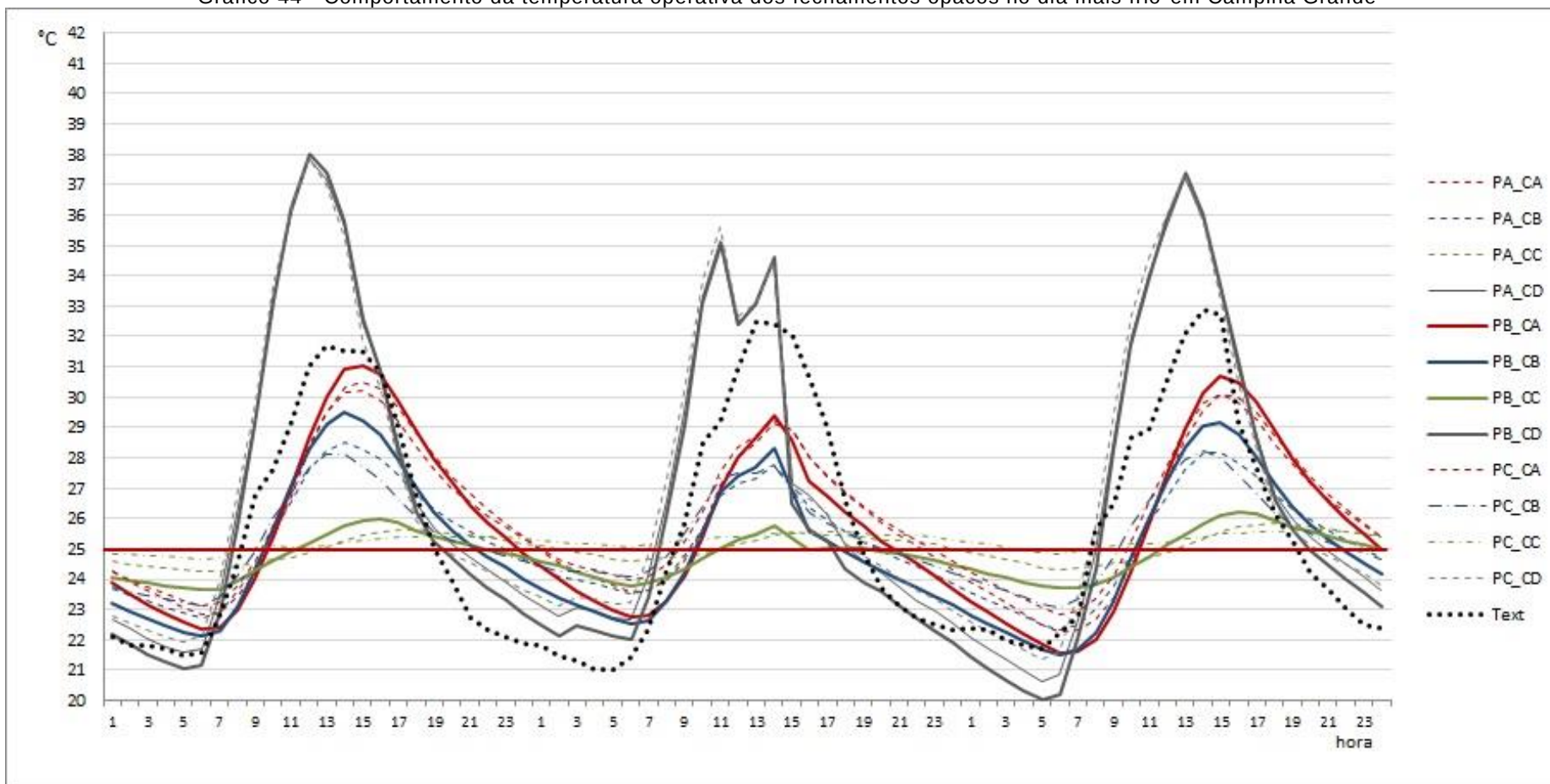
CB: telha de barro com 5cm de lã de vidro e forro de madeira ($U=0,62\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$)

CC: telha de barro com lâmina de alumínio e laje de concreto de 25cm ($\phi=13,4\text{ hs}$)

CD: telha de fibrocimento sem forro ($U=4,60\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$)

Fonte: Autor

Gráfico 44 - Comportamento da temperatura operativa dos fechamentos opacos no dia mais frio em Campina Grande



Legenda:

PA: parede de tijolos de oito furos $e=15\text{cm}$ (modelo base).

PB: parede de concreto maciço ($U=5,04\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$)

PC: parede dupla de tijolos $e=46\text{cm}$ ($U=0,98\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$)

CA: telha de barro com forro de concreto (modelo base)

CB: telha de barro com 5cm de lâ de vidro e forro de madeira ($U=0,62\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$)

CC: telha de barro com lâmina de alumínio e laje de concreto de 25cm ($\phi=13,4\text{ hs}$)

CD: telha de fibrocimento sem forro ($U=4,60\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$)

Fonte: Autor

5.4.2. Temperatura Operativa dos Fechamentos Opacos - Percentual de horas de desconforto

A partir da Tabela 23, pôde-se comparar os resultados do percentual de horas de desconforto das combinações e observar que a parede (B), com maior transmitância térmica, apresentou os melhores desempenhos. E a parede (C) com maior inércia térmica, apresentou os piores desempenhos entre as paredes, combinadas com as quatro cobertas.

Tabela 23 - Percentual de horas de desconforto fase 1-Campina Grande

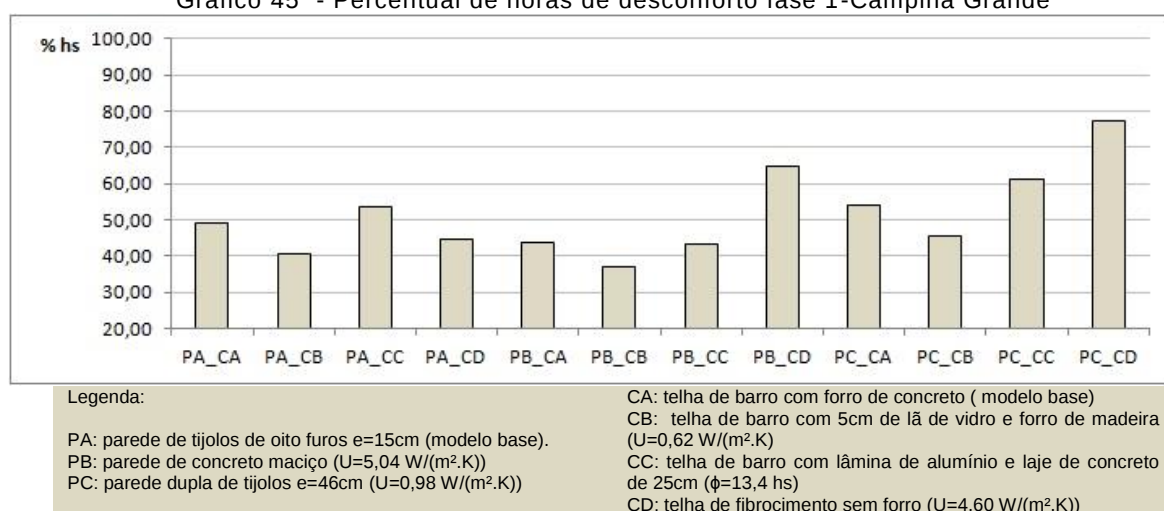
	PA_CA	PA_CB	PA_CC	PA_CD	PB_CA	PB_CB	PB_CC	PB_CD	PC_CA	PC_CB	PC_CC	PC_CD
%	48,90	40,73	53,77	44,47	43,80	36,86	43,26	64,73	53,92	45,58	61,39	77,33

Fonte: Autor

Percebe-se que as paredes resultaram em comportamentos distintos, independente das cobertas, por exemplo, a cobertura (D) combinada com a parede (A) obteve um percentual menor que a cobertura (C), diferentemente das demais paredes (B) e (C) que obtiveram o maior percentual de horas de desconforto junto à cobertura (D).

A partir do Gráfico 45, observou-se que o melhor desempenho é a parede (B) com a cobertura (B), que representa a parede de concreto maciço, com maior valor de transmitância térmica associada à cobertura de telha de barro com lã de vidro e forro de madeira, com menor valor de transmitância térmica estudada. Pode-se verificar que a cobertura (B) combinada com todas as paredes, obteve os melhores desempenhos, permitindo considerar a influência da cobertura com menor transmitância térmica.

Gráfico 45 - Percentual de horas de desconforto fase 1-Campina Grande



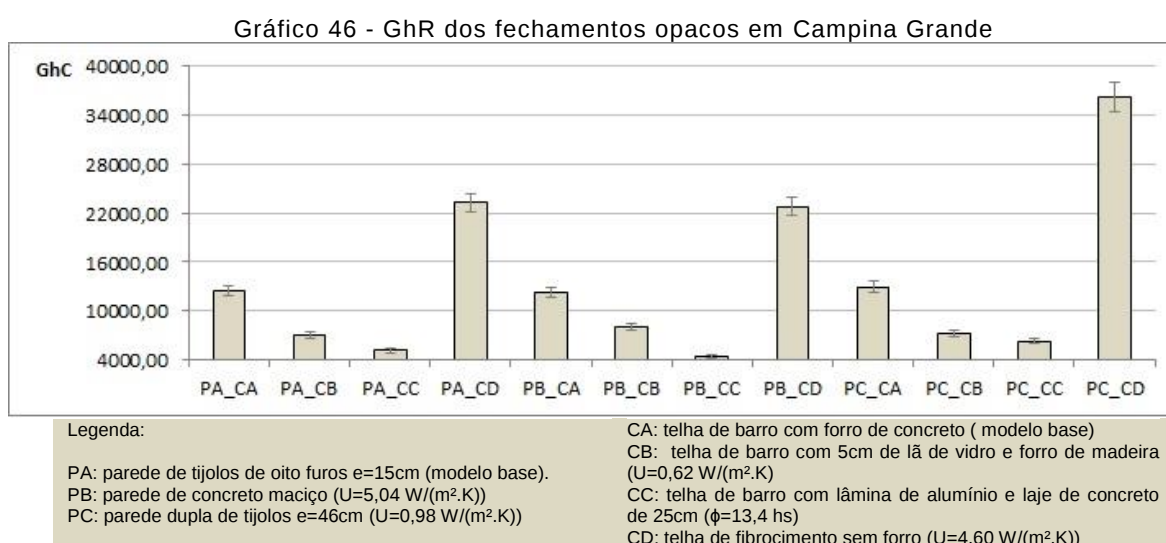
Fonte: Autor

O pior desempenho resultante deste método foi a parede (C) com a cobertura (D), que representa a parede dupla de tijolos de oito furos com 46 cm de espessura, com maior valor de atraso térmico, associada à cobertura de telha de fibrocimento sem forro, com maior

valor de transmitância térmica. Pode-se considerar que a maior influência nesta combinação deve ser da cobertura (D), que obteve um percentual elevado associada também à parede (B).

5.4.3. Temperatura Operativa dos Fechamentos Opacos - Graus-hora para resfriamento

Ao observar o Gráfico 46, verifica-se que o desempenho da cobertura (C), com isolamento térmico, associada a todas as paredes resulta em valores em torno de 4.000 GhR, enquanto a cobertura (D), com maior transmitância térmica, resulta em valores de graus-hora entre 24.000 e 36.000 GhR. Os valores de graus-hora das combinações com a cobertura (C), de telha de barro, lâmina de alumínio e laje de concreto, resultaram em comportamentos semelhantes, em função das pequenas oscilações de temperatura operativa no ambiente, com um comportamento constante ao longo do dia, como já foi observado anteriormente.

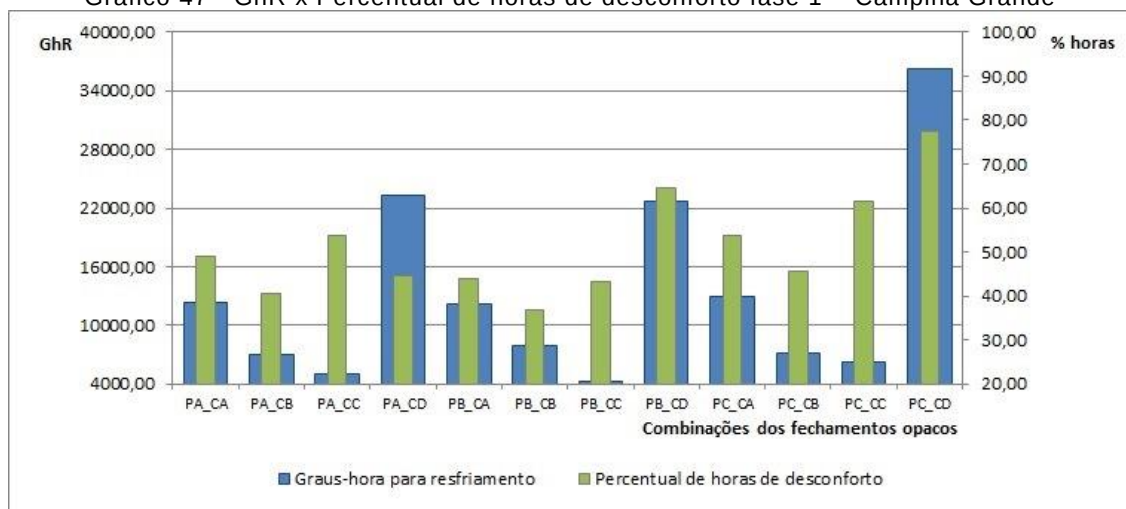


Fonte: Autor

5.4.4. Temperatura Operativa dos Fechamentos Opacos - Graus-hora para resfriamento x Percentual de horas de desconforto

Ao observar a relação entre o percentual de horas de desconforto por calor e a quantidade de graus-hora para resfriamento, pôde-se observar as variações resultantes dos dois métodos, principalmente nas combinações com a cobertura (C) e com a cobertura (D).

Gráfico 47 - GhR x Percentual de horas de desconforto fase 1 – Campina Grande



Legenda:

PA: parede de tijolos de oito furos e=15cm (modelo base).

PB: parede de concreto maciço (U=5,04 W/(m².K))

PC: parede dupla de tijolos e=46cm (U=0,98 W/(m².K))

CA: telha de barro com forro de concreto (modelo base)

CB: telha de barro com 5cm de lã de vidro e forro de madeira (U=0,62 W/(m².K))

CC: telha de barro com lâmina de alumínio e laje de concreto de 25cm (φ=13,4 hs)

CD: telha de fibrocimento sem forro (U=4,60 W/(m².K))

Fonte: Autor

5.4.5. Temperatura Operativa dos Fechamentos Opacos - Regressão Logística

No modelo de Regressão Logística, foram comparadas os dados horários de temperatura operativa das combinações analisadas, determinando como evento de interesse $y=1$, todos os valores que estiveram abaixo da temperatura base de 25°C. A partir da equação determinada para este modelo permitiu quantificar a diferença entre os desempenhos das combinações, determinando o melhor e o pior resultado.

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Grupo} \quad (\text{Equação 18})$$

A partir do Teste de Wald, foram determinadas as estimativas e os coeficientes de significância que permitiu verificar que todas as combinações indicaram diferença significativa, quando comparadas com o modelo base: parede (A) e a coberta (A). A partir das estimativas, foram calculados os exponenciais, que permitiram quantificar a razão da chance de ocorrer o evento de interesse, conforme Tabela 24.

Tabela 24 – Coeficientes de significância To – Campina Grande

Coeficientes	Estimativas	Pr(> z)	Resultado	Exponenciais	Chance
(Intercept)	1,0773813	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	2,94	
factor(G)2	0,3574312	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	1,43	Aumenta em 43%
factor(G)3	-0,2103865	$2,25 \times 10^{-11}$	Rejeita a Ho	0,81	Reduz em 9%

factor(G)4	0,1922495	$1,04 \times 10^{-9}$	Rejeita a Ho	1,21	Aumenta em 21%
factor(G)5	0,2217216	$2,02 \times 10^{-12}$	Rejeita a Ho	1,25	Aumenta em 25%
factor(G)6	0,5328775	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	1,70	Aumenta em 70%
factor(G)7	0,245265	$7,56 \times 10^{-15}$	Rejeita a Ho	1,28	Aumenta em 28%
factor(G)8	0,3284622	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	1,39	Aumenta em 39%
factor(G)9	-0,216833	$5,46 \times 10^{-12}$	Rejeita a Ho	0,80	Reduz em 20%
factor(G)10	0,1439686	$4,76 \times 10^{-6}$	Rejeita a Ho	1,15	Aumenta em 15%
factor(G)11	-0,5476574	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,58	Reduz em 42%
factor(G)12	0,1519191	$1,39 \times 10^{-6}$	Rejeita a Ho	1,16	Aumenta em 16%
hora	-0,0824023	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,92	

Legenda:

G1 – parede A-coberta A	G5 – parede B-coberta A	G9 – parede C-coberta A
G2 – parede A-coberta B	G6 – parede B-coberta B	G10 – parede C-coberta B
G3 – parede A-coberta C	G7 – parede B-coberta C	G11 – parede C-coberta C
G4 – parede A-coberta D	G8 – parede B-coberta D	G12 – parede C-coberta D

Fonte: Autor

A equação da regressão logística encontrada para as variáveis estudadas mostrou a probabilidade de p ocorrer em cada parâmetro analisado. A partir desta equação, pôde-se verificar que o melhor desempenho ocorreu no G6, referente à combinação da parede (B) e coberta (B), que é parede de maior transmitância térmica combinada com a coberta com menor transmitância. Esta combinação aumenta a chance da temperatura operativa permanecer abaixo da temperatura base em 70% em relação ao modelo base, com parede de tijolos de oito furos, com $U = 2,24 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ e coberta com telha de barro e forro de concreto, com $U = 2,24 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$.

Percebe-se que todas as combinações associadas à parede (B) aumentam a chance de ocorrer conforto. O pior desempenho ocorreu em G11, que representa a combinação da parede (C) e coberta (C), com a parede com menor transmitância térmica e a coberta simulada com isolamento térmico, que inclui como componente a lâmina de alumínio. Esta combinação reduz a chance de ocorrer conforto pela temperatura operativa em 42% em relação ao modelo base.

$$\left(\frac{p}{1-p} \right) = e^{\beta_0 + \beta_1 G_2 + \beta_2 G_3 + \beta_3 G_4 + \beta_4 G_5 + \beta_5 G_6 + \beta_6 G_7 + \beta_7 G_8 + \beta_8 G_9 + \beta_9 G_{10} + \beta_{10} G_{11} + \beta_{11} G_{12} + \beta_{12} \text{Hora}}$$

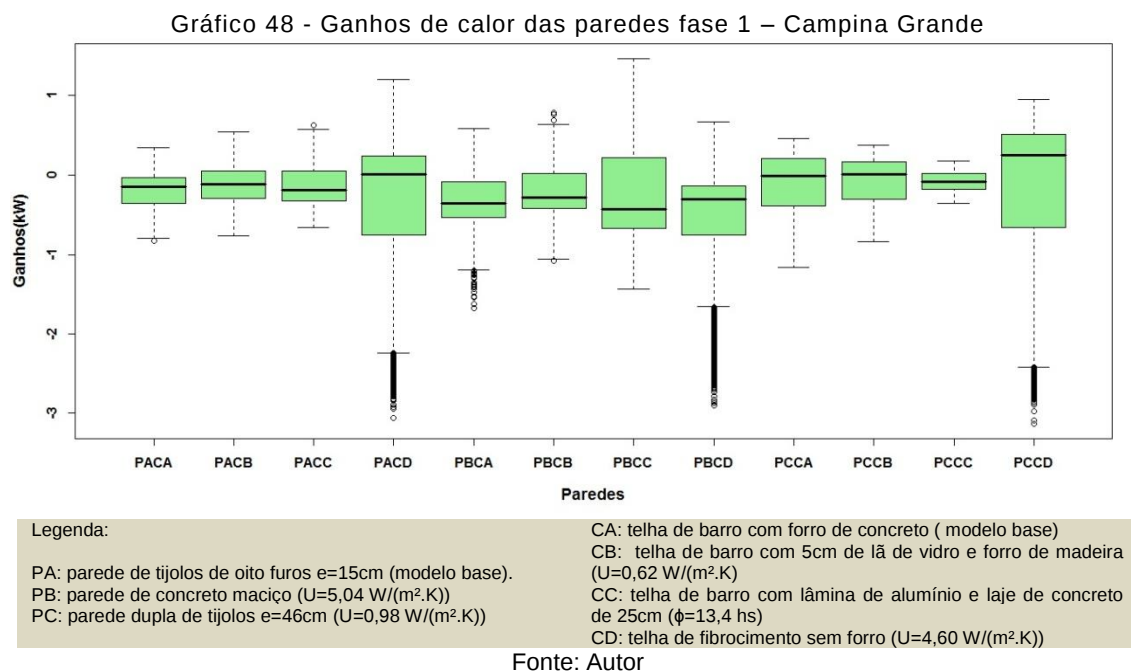
(Equação 19)

$$e^{2,94 + 1,43.G_2 + 0,81.G_3 + 1,21.G_4 + 1,25.G_5 + 1,70.G_6 + 1,28.G_7 + 1,39.G_8 + 0,80.G_9 + 1,15.G_{10} + 0,58.G_{11} + 1,16.G_{12} + 0,92.Hora}$$

Para diagnosticar as irregularidades do modelo, foram realizadas duas análises de resíduos: 1) o resíduo de Pearson (teste qui-quadrado) que rejeitou a hipótese de que não há diferenças entre a variável resposta e as variáveis independentes, com p-value menor que $2,2 \times 10^{-16}$, e ainda, 2) o teste de hipótese de análise de variância (Anova), que rejeitou a hipótese, com resultado de p-value menor que $2,2 \times 10^{-16}$.

5.4.6. Ganhos de calor dos Fechamentos Opacos – Comportamento Anual x Teste de Wilcoxon

Ao observar a distribuição dos ganhos de calor das cobertas em cada uma das combinações, a partir de 8760 dados horários por variável, percebe-se que os limites inferiores ocorrem na cobertura (D), assim como a maior quantidade de valores atípicos chegando a - 3 kW.



Percebe-se também um intervalo maior entre os quartis na combinação da parede (B) com a cobertura (C), com o maior comprimento do limite superior, conforme Gráfico 48. O menor intervalo entre os quartis foi constatado na combinação parede (C) com a cobertura (C), com a maior parte dos valores muito próximos à mediana.

Por meio da análise estatística, foram observados os dados referente aos ganhos de calor pelas paredes, sendo aplicados os pressupostos, que resultaram no uso de modelos não paramétricos, por rejeitar as hipóteses nulas dos testes de normalidade Lilliefors e Ncvteste. Portanto, foi aplicado o teste de hipótese de Wilcoxon, para determinar a diferença entre os ganhos de calor, sendo comparadas as combinações com o modelo base para definir o intervalo de confiança entre eles e a estimativa esperada.

Tabela 25 – Intervalo de confiança ganhos de calor das paredes - CG

Coeficientes	Alternativa "Greater"	p-value conf.int	Resultado	Estimativa da diferença
GC1 - GC2	1	$< 2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a H_0	-0,0607
GC1 – GC3	1	$4,03 \times 10^{-16}$	Rejeita a H_0	-0,0334

GC1 – GC4	1	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	-0,1373
GC1 – GC5	$<2,2 \times 10^{-16}$	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,1370
GC1 – GC6	$<2,2 \times 10^{-16}$	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,0410
GC1 – GC7	$<2,2 \times 10^{-16}$	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,1693
GC1 – GC8	$<2,2 \times 10^{-16}$	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,1669
GC1 – GC9	1	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	-0,1408
GC1 – GC10	1	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	-0,1496
GC1 – GC11	1	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	-0,0881
GC1 – GC12	1	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	-0,3836

Legenda:

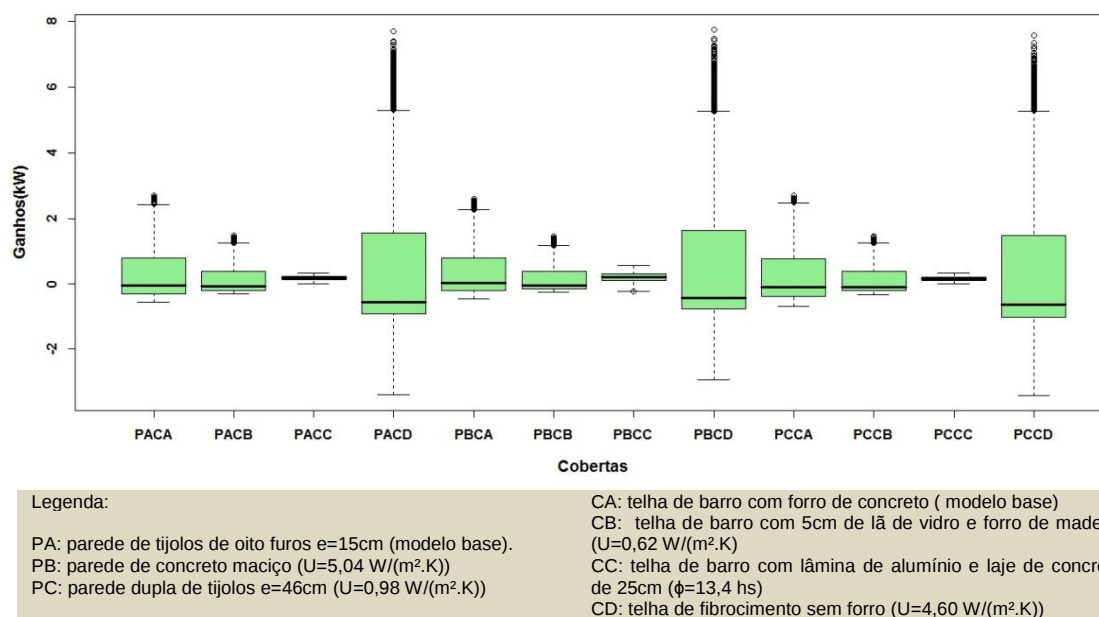
G1 – parede A-coberta A	G5 – parede B-coberta A	G9 – parede C-coberta A
G2 – parede A-coberta B	G6 – parede B-coberta B	G10 – parede C-coberta B
G3 – parede A-coberta C	G7 – parede B-coberta C	G11 – parede C-coberta C
G4 – parede A-coberta D	G8 – parede B-coberta D	G12 – parede C-coberta D

Fonte: Autor

Ao observar a Tabela 25, percebe-se que a maior estimativa esperada ocorre na combinação G(12), referente à parede (C) com a cobertura (D), com valor negativo de 0,3836 kW. Pôde-se observar ainda que todas as combinações que resultaram em estimativas positivas estão associadas à parede (B), com maior transmitância térmica, resultando em ganhos de calor menores que o modelo base.

O Gráfico 49 avalia a distribuição dos ganhos de calor das cobertas em cada uma das combinações. O maior intervalo entre os quartis ocorreu na cobertura (D), combinada com todas as paredes. Esta cobertura também apresenta os maiores ganhos, com valores atípicos acima do terceiro quartil, que chegam a 8 kW. A cobertura (C) indicou o menor intervalo entre os quartis, ou seja, os 50% centrais dos ganhos de calor desta cobertura mantiveram os valores muito próximos da mediana, sem grandes variações ao longo do ano.

Gráfico 49 - Ganhos de calor fase 1 cobertas – Campina Grande



Para determinar a diferença entre os ganhos, foram comparadas as combinações com o modelo base, definindo qual o maior ganho e o intervalo de confiança entre eles, através do teste de hipótese de Wilcoxon, conforme Tabela 26 abaixo. Foram aplicados ainda os pressupostos de normalidade e verificação de variância constante.

Tabela 26 – Intervalo de confiança ganhos de calor das cobertas - CG

Coeficientes	Alternativa "Greater"	p-value conf.int	Resultado	Estimativa da diferença
GC1 - GC2	1	$1,366 \times 10^{-7}$	Rejeita a Ho	-0,0344
GC1 - GC3	1	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	-0,2108
GC1 - GC4	$<2,2 \times 10^{-16}$	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,4970
GC1 - GC5	1	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	-0,0847
GC1 - GC6	1	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	-0,0623
GC1 - GC7	1	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	-0,2147
GC1 - GC8	$<2,2 \times 10^{-16}$	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,3687
GC1 - GC9	$<2,2 \times 10^{-16}$	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,0672
GC1 - GC10	0,9986	0,002721	Rejeita a Ho	-0,0188
GC1 - GC11	1	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	-0,1893
GC1 - GC12	$<2,2 \times 10^{-16}$	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,5927

Legenda:

G1 – parede A-coberta A	G5 – parede B-coberta A	G9 – parede C-coberta A
G2 – parede A-coberta B	G6 – parede B-coberta B	G10 – parede C-coberta B
G3 – parede A-coberta C	G7 – parede B-coberta C	G11 – parede C-coberta C
G4 – parede A-coberta D	G8 – parede B-coberta D	G12 – parede C-coberta D

Fonte: Autor

Observou-se que, das quatro combinações que apresentaram estimativas positivas, três são associadas à cobertura (D), as combinações G(4), G(8) e G(12), sendo o aumento do valor da estimativa resultante do aumento do ganho de calor por esta cobertura. A maior diferença ocorreu na combinação da parede (C) com a cobertura (D), com 0,5927 kW de diferença em relação ao modelo base.

5.4.7. Fechamentos Opacos – Comparação entre os métodos da fase 1

Comparando os métodos adotados nesta fase, pôde-se observar resultados distintos para os fechamentos opacos. O Quadro 5 mostra que a parede (C) com a cobertura (D) demonstraram os piores desempenhos em todos os métodos. Percebe-se também que a parede (B) demonstrou o melhor desempenho combinada com cobertas distintas, em função de cada método.

Quadro 5 - Comparação entre métodos – Campina Grande

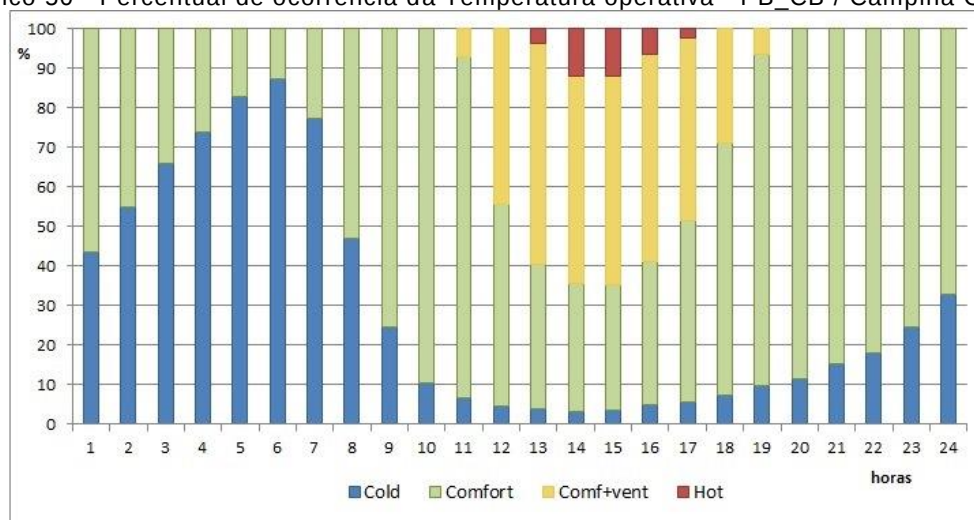
Variável resposta 1 analisada: Temperatura Operativa	
Métodos	Resultado
Comportamento Anual	Maior influência das cobertas. Coberta D = maiores oscilações de temperatura operativa.
Percentual de horas de desconforto	Maior influência da parede (C) = aumento das horas de desconforto. Parede (C) com cobertura (D) = pior desempenho Parede (B) com cobertura (B) = melhor desempenho
Graus-hora para Resfriamento	Maior influência da cobertura (D) = aumento dos GhR. Parede (C) com cobertura (D) = pior desempenho Parede (B) com cobertura (C) = melhor desempenho
Regressão Logística	Maior influência da cobertura (C). Parede (C) com cobertura (D) = pior desempenho Parede (B) com cobertura (B) = melhor desempenho
Variável resposta 2 analisada: Ganhos de calor	
Métodos	Resultado
Comportamento Anual	Todas as paredes combinadas com a cobertura (D) possui ganhos de calor negativo A cobertura (D) possui as maiores oscilações. A cobertura (C) possui as menores oscilações.
Teste de Hipótese de Wilcoxon	Parede (B) menor ganho de calor Coberta (D) menor ganho de calor

Fonte: Autor

Considerando como método principal de referência o percentual de horas de desconforto por calor, observou-se que o melhor desempenho dos fechamentos opacos foi a combinação parede (B)_coberta(B), que caracterizam os sistemas construtivos com valores de transmitância térmica distintos, sendo a parede com maior transmitância térmica e a cobertura com menor transmitância térmica. O pior desempenho, segundo este método, foi a combinação da parede (C) com a cobertura (D), que representam os valores de maior transmitância térmica e menor transmitância térmica, respectivamente.

Para entender melhor o seu comportamento, foi aplicado o método de De Dear e Brager, com a ocorrência da temperatura operativa, conforme Gráfico 50 abaixo.

Gráfico 50 - Percentual de ocorrência da Temperatura operativa - PB_CB / Campina Grande



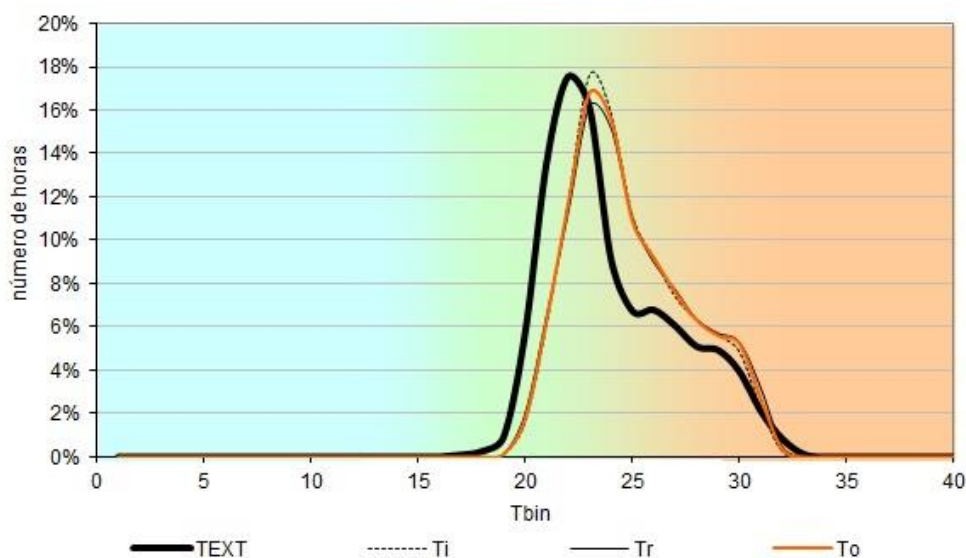
Fonte: Adaptado de NEGREIROS (2010)

Ao observar o percentual de ocorrência da temperatura operativa por hora, percebe-se que das 01hs às 07hs da manhã mais de 50% dos dados esteve inserido na zona de frio, em função das baixas temperaturas noturnas que ocorrem ao longo do ano. A partir das 13hs até às 17hs, percebe-se a necessidade de ventilação com ocorrências de temperaturas acima da zona de conforto. Neste período, verificou-se a ocorrência de temperaturas na zona de calor, chegando a 12% de ocorrência às 13hs e 14hs.

A ocorrência de temperatura nas quatro zonas, demonstra as grandes variações da temperatura operativa associadas à temperatura do ar externa, que é caracterizada por alta amplitude térmica que chegam a um intervalo de 9°C em Campina Grande.

Comparando a temperatura interna, temperatura operativa, temperatura radiante com a temperatura externa, percebe-se que o comportamento das temperaturas são semelhantes, com curvas sobrepostas das temperaturas do interior e maior ocorrência resultante de valores aproximados de 23°C, com 17% do número de horas. Enquanto que na temperatura externa, a maior ocorrência resulta em temperaturas em torno de 21°C, como pode ser observado no Gráfico 51 abaixo.

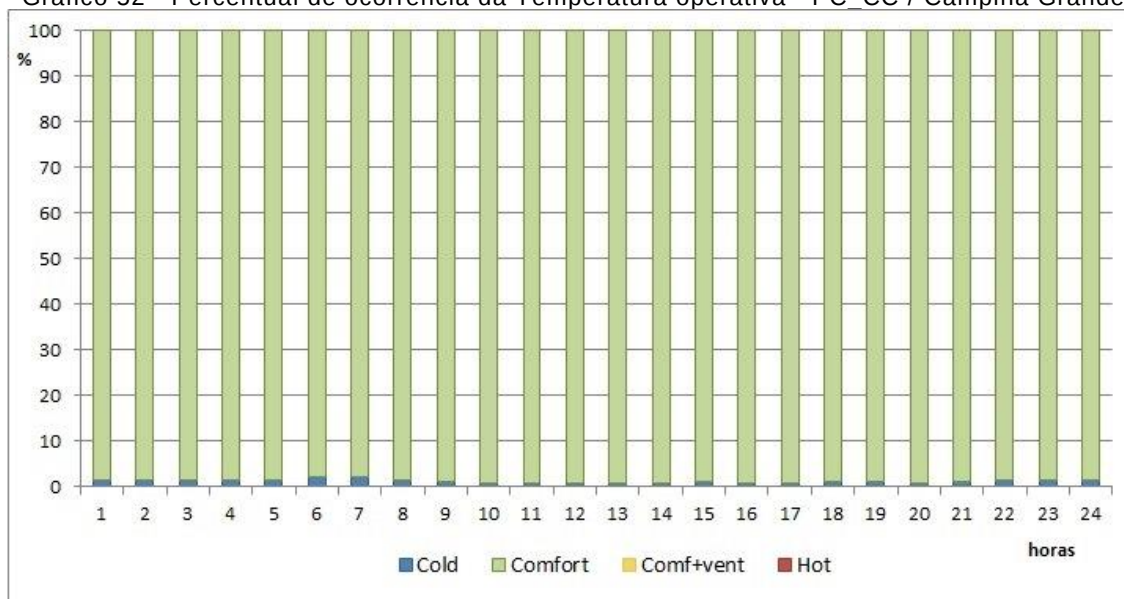
Gráfico 51 - Comparação da temperatura interna de PB_CB com temperatura externa - Campina Grande



Fonte: Adaptado de NEGREIROS (2010)

Ao observar o comportamento da combinação resultante no pior desempenho, percebe-se que as poucas variações que ocorreram nos valores de temperatura operativa, já citadas anteriormente, resultam na ocorrência predominante de uma mesma zona neste método, como pode ser observado no Gráfico 52 abaixo. Em todos os horários, ocorreram temperaturas consideradas na zona de frio, mas 98% da ocorrência da temperatura estiveram dentro da zona de conforto, sem necessidade de ventilação.

Gráfico 52 - Percentual de ocorrência da Temperatura operativa - PC_CC / Campina Grande

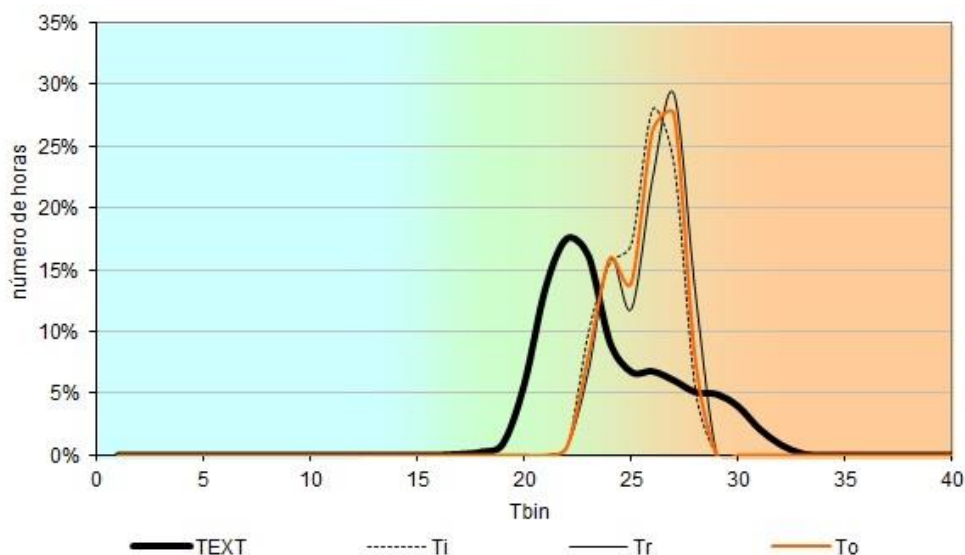


Fonte: Adaptado de NEGREIROS (2010)

O Gráfico 53 confirma a baixa amplitude resultante desta combinação, com o intervalo de temperaturas internas entre 23°C e 29°C, enquanto a temperatura do ar externa

demonstrou temperaturas entre 19°C e 34°C. O principal fator está na ocorrência de aproximadamente 30% das horas, com temperaturas internas a 26°C, acima da temperatura base de Campina Grande, que é 25°C.

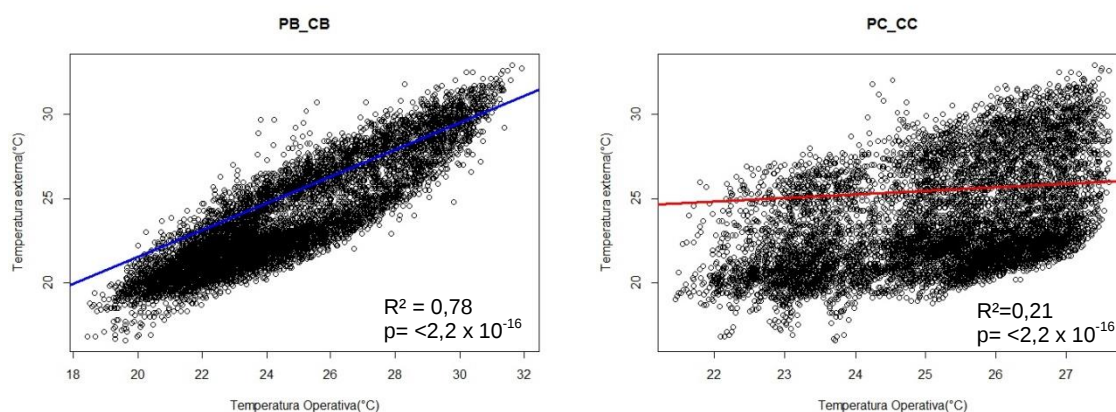
Gráfico 53 - Comparação da Temperatura interna de PC_CC com temperatura externa - Campina Grande



Fonte: Adaptado de NEGREIROS (2010)

A partir do método de regressão linear, pôde-se observar que a maior correlação entre a temperatura operativa e a temperatura do ar externa ocorreu na parede (B)_coberta(B), referente ao melhor desempenho térmico resultante na fase 1, com um coeficiente de determinação $R^2 = 0,78$. O coeficiente de determinação do pior desempenho resultante nesta fase, parede(C)_coberta(C), confirmou a baixa correlação entre os dados de temperatura operativa e temperatura externa do ar, com $R^2 = 0,21$.

Gráfico 54 - Gráficos de Dispersão (a) PB_CD (b) PC_CC- CG



Fonte: Autor

5.5. CAMPINA GRANDE – FASE 2

A fase 2 compreende as variações de aberturas que foram simuladas no melhor e no pior desempenho da fase 1. As aberturas foram divididas em três categorias: o tamanho das aberturas, o tipo de esquadria e o uso de proteção solar. Foram analisadas duas variáveis resposta: a temperatura operativa e os ganhos de calor das aberturas.

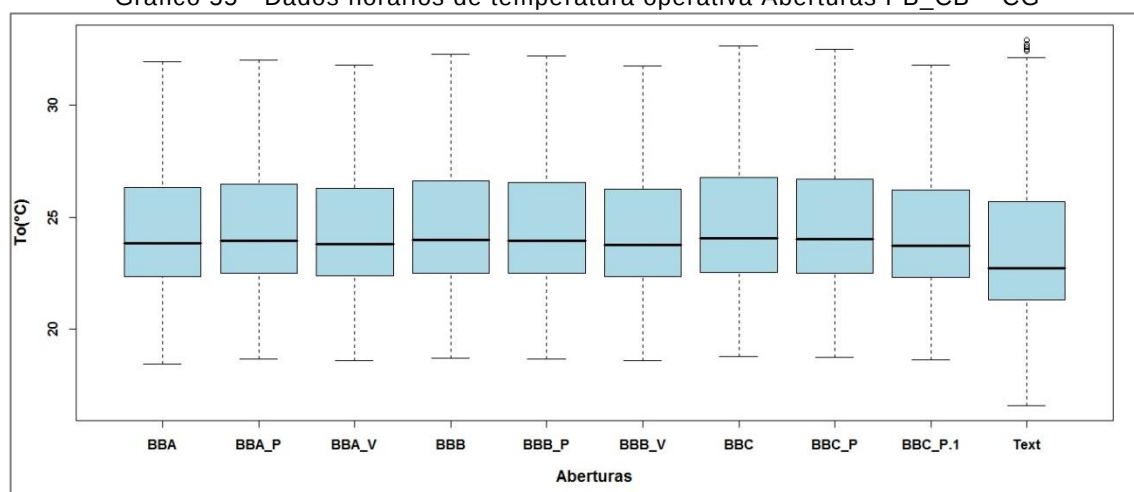
O melhor desempenho é formado pela parede (B) combinada com a cobertura (B). A parede (B) é referente à parede com maior valor de transmitância térmica escolhida: a parede de concreto maciço, com espessura total da parede de 5,0 cm, com valor de $U = 5,04 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$, atraso térmico de 1,3 hs e absorptância solar de 0,20. A cobertura (B) é referente à cobertura com menor transmitância térmica: a cobertura de telha de barro, lã de vidro e forro de madeira, com espessura da telha de 1,0 cm e espessura da madeira de 1,0 cm, com valor de $U = 0,62 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$, atraso térmico de 3,1 hs e absorptância solar de 0,70.

O pior desempenho é formado pela parede (C) com a cobertura (C). A parede (C) é referente à parede com maior atraso térmico escolhido: a parede dupla de tijolos de 8 furos circulares, assentados na maior dimensão, com espessura total da parede de 46,0 cm, com valor de $U = 0,98 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$, atraso térmico de 10,8 hs e absorptância solar de 0,20. A cobertura (C) é referente à cobertura com maior valor de atraso térmico: a cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 25 cm, com espessura da telha de 1,0 cm, com valor de $U = 1,03 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$, atraso térmico de 13,4 hs e absorptância solar de 0,70.

5.5.1. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho – Comportamento Anual

Ao avaliar a distribuição dos dados horários de temperatura operativa em cada categoria de abertura analisada na combinação resultante da fase 1, percebe-se que os comportamentos ocorreram de forma semelhante, assim como em João Pessoa, conforme Gráfico 55. Os intervalos entre os primeiro e terceiro quartis das categorias com veneziana fixa resultaram em valores mais próximos, quando comparados aos demais.

Gráfico 55 - Dados horários de temperatura operativa Aberturas PB_CB – CG



Legenda:

Em todas as categorias, BB refere-se à parede B e coberta B.

BB A: janela de vidro com 15% de PAP sem proteção solar

BB A_P: janela de vidro com 15% de PAP com proteção solar

BB A_V: janela em veneziana fixa com 15% de PAP

BB B: janela de vidro com 15% de PAP sem proteção solar

BB B_P: janela de vidro com 15% de PAP com proteção solar

BB B_V: janela em veneziana fixa com 15% de PAP

BB C: janela de vidro com 15% de PAP sem proteção solar

BB C_P: janela de vidro com 15% de PAP com proteção solar

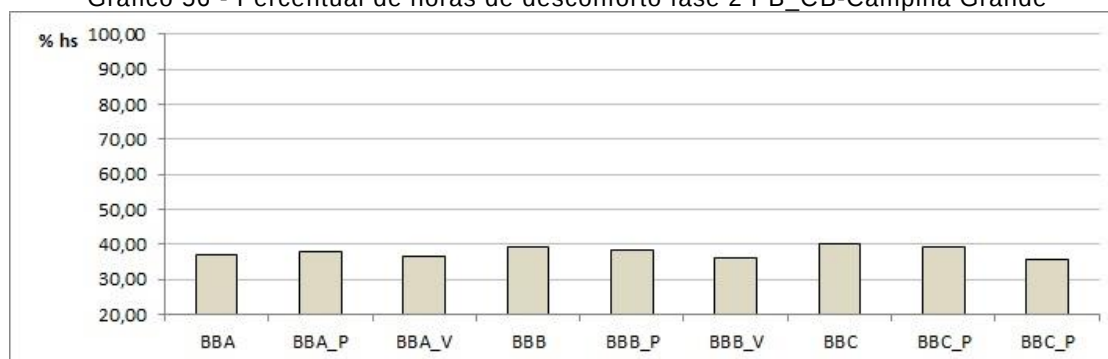
BB C_V: janela em veneziana fixa com 15% de PAP

Fonte: Autor

5.5.2. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho - Percentual de horas de desconforto

A comparação entre os percentuais de horas de desconforto também não demonstrou diferenças significativas, com redução em torno de 1% nas horas de desconforto, nos tamanhos de 25% e 40%, quando inserida a proteção solar. O uso de veneziana fixa, com menor área de incidência da radiação solar direta no ambiente interno, reduz as horas de desconforto em 4%, no maior tamanho, quando comparado com o modelo de abertura base, com janela de vidro incolor com 50% de abertura para ventilação, conforme Gráfico 56.

Gráfico 56 - Percentual de horas de desconforto fase 2 PB_CB-Campina Grande



Legenda:

Em todas as categorias, BB refere-se à parede B e coberta B.

BB A: janela de vidro com 15% de PAP sem proteção solar

BB A_P: janela de vidro com 15% de PAP com proteção solar

BB A_V: janela em veneziana fixa com 15% de PAP

BB B: janela de vidro com 15% de PAP sem proteção solar

BB B_P: janela de vidro com 15% de PAP com proteção solar

BB B_V: janela em veneziana fixa com 15% de PAP

BB C: janela de vidro com 15% de PAP sem proteção solar

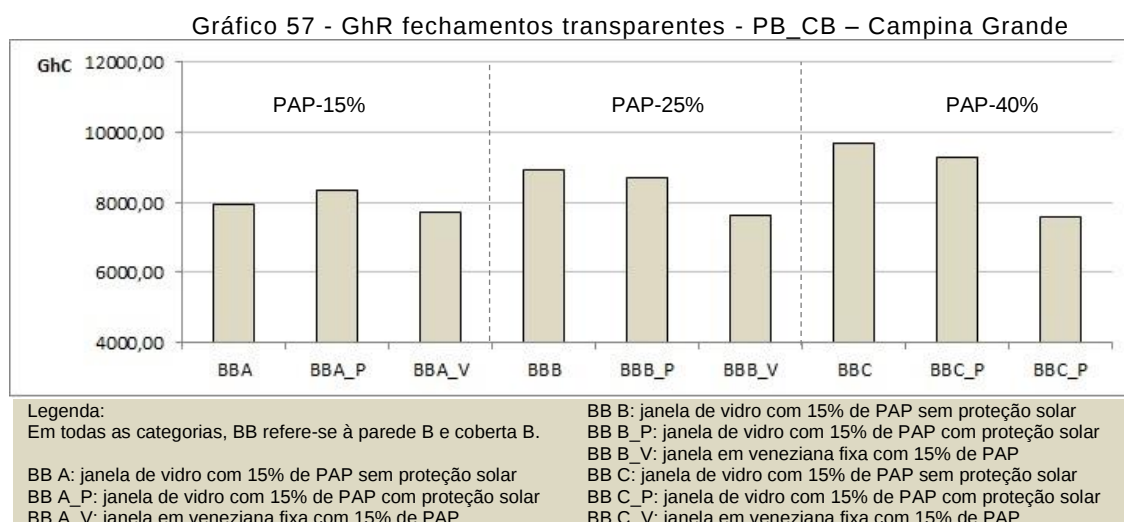
BB C_P: janela de vidro com 15% de PAP com proteção solar

BB C_V: janela em veneziana fixa com 15% de PAP

Fonte: Autor

5.5.3. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho - Graus-hora para resfriamento

No gráfico 57 pode-se observar a quantidade de graus horas para resfriamento das combinações em análise. O uso da proteção solar e veneziana, visivelmente, resulta na redução das horas de resfriamento para as aberturas com 25% e 40% de PAP, com exceção para as aberturas com 15% de PAP.



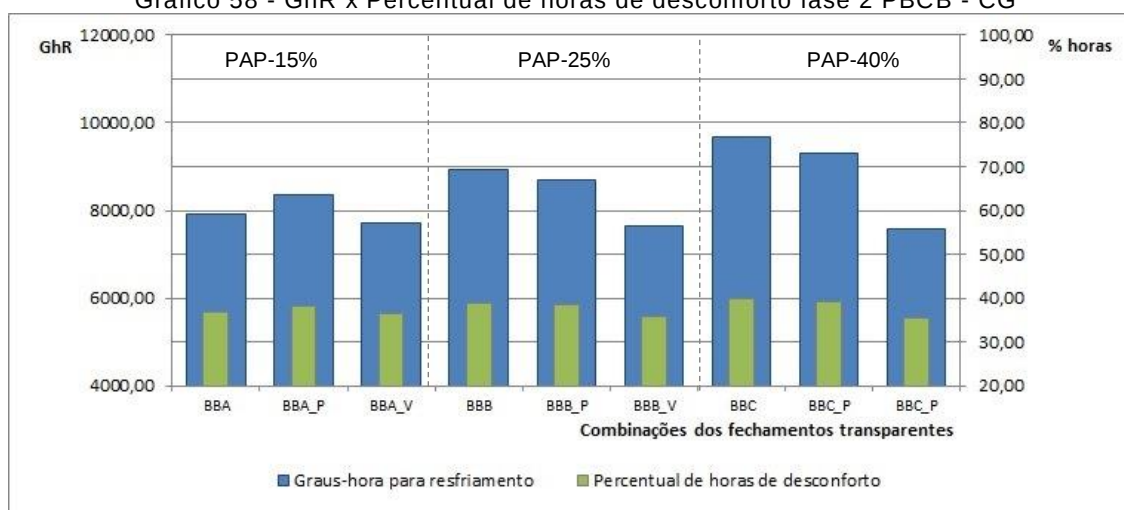
Fonte: Autor

A inserção da proteção solar no tamanho de 25% reduz a quantidade de graus-hora para resfriamento em 232,44 GhR, enquanto no tamanho de 40% de PAP, essa redução é de 371,47 GhR, isto é, a influência da proteção solar aumenta à medida que aumenta o percentual de área da abertura, como pode ser observado no Gráfico 57. Na condição de 15% de PAP, o uso da proteção solar aumentou a quantidade de graus-hora em 420,47 GhR.

5.5.4. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho - Graus-hora para resfriamento x Percentual de horas de desconforto

Ao comparar os métodos, pôde-se observar que os dois resultados demonstraram o mesmo comportamento entre as categorias. O aumento do percentual de hora de desconforto ocorreu na mesma proporção que o aumento de graus-horas para resfriamento, mas em proporções distintas, conforme o Gráfico 58.

Gráfico 58 - GhR x Percentual de horas de desconforto fase 2 PBCB - CG



Legenda:

Em todas as categorias, BB refere-se à parede B e coberta B.

BB A: janela de vidro com 15% de PAP sem proteção solar

BB A_P: janela de vidro com 15% de PAP com proteção solar

BB A_V: janela em veneziana fixa com 15% de PAP

BB B: janela de vidro com 15% de PAP sem proteção solar

BB B_P: janela de vidro com 15% de PAP com proteção solar

BB B_V: janela em veneziana fixa com 15% de PAP

BB C: janela de vidro com 15% de PAP sem proteção solar

BB C_P: janela de vidro com 15% de PAP com proteção solar

BB C_V: janela em veneziana fixa com 15% de PAP

Fonte: Autor

5.5.5. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho - Regressão Logística

Nesta fase, foi aplicado o modelo de Regressão Logística para quantificar a diferença entre a temperatura operativa das variações das aberturas, determinando o evento de interesse $y=1$, para os valores abaixo da temperatura base de 25°C. A equação abaixo que foi determinada para este modelo, com duas variáveis independentes: o tamanho das aberturas, com 15%, 25% e 40%, e o modelo, com proteção solar e veneziana fixa.

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1.TA2 + \beta_2.TA3 + \beta_3.MO2 + \beta_4.MO3 \quad (\text{Equação 20})$$

Foram determinadas as estimativas de cada combinação e os coeficientes de significância, comparados com os modelos de referência: TA, janela com PAP de 15%, e MO, janela de vidro sem proteção solar, a partir do teste de Wald. Quanto ao tamanho das aberturas, não houve diferença significativa entre as aberturas de 15% e 25% de PAP, conforme Tabela 27 abaixo.

Tabela 27 - Coeficientes de significância To fase 2 PBCB- Campina Grande

Coeficientes	Estimativa	Pr(> z)	Resultado
(Intercept)	1,8251068	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho
factor(TA)2	-0,0300441	0,11431	Não rejeita a Ho
factor(TA)3	-0,0493165	0,00948	Rejeita a Ho
factor(MO)2	0,0005374	0,97735	Não rejeita a Ho
factor(MO)3	0,1205326	$2,48 \times 10^{-10}$	Rejeita a Ho

hora	-0,1022444	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho
------	------------	----------------------	--------------

Fonte: Autor

Em seguida, foram desconsiderados os valores de TA(2) e o MO(2), e foram determinadas novamente as estimativas resultantes do teste de Wald e calculados os exponenciais, que permitiram quantificar a razão da chance de ocorrer o evento de interesse, conforme Tabela 28 abaixo.

Tabela 28 – Modelo simplificado de coeficientes de significância To PBCB – CG

Coeficientes	Estimativas	Pr(> z)	Resultado	Exponenciais	Chance
(Intercept)	1,810286	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	6,11	
factor(TA bin)3	-0,034272	0,0371	Rejeita a Ho	0,97	Reduz em 3%
factor(MO bin)3	0,12026	$3,44 \times 10^{-13}$	Rejeita a Ho	1,13	Aumenta em 13%
hora	-0,102241	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,90	

Fonte: Autor

A equação da regressão logística demonstra que o uso das aberturas com 40% de PAP, reduziu a chance de conforto em 3%, quando comparada com o uso das aberturas com 15% de PAP. Quanto ao modelo, observou-se que o uso de esquadrias com veneziana aumentou a chance em 13%.

$$\left(\frac{p}{1-p} \right) = e^{\beta_0 + \beta_1 TA3 + \beta_2 MO3 + \beta_3 Hora} = e^{6,11 + 0,97.TA3 + 1,13.MO3 + 0,90.Hora} \quad (\text{Equação 21})$$

Para diagnosticar as irregularidades do modelo, foram realizadas duas análises de resíduos: 1) o resíduo de Pearson (teste qui-quadrado) e 2) o teste de hipótese de análise de variância (Anova), conforme a Tabela 29.

Tabela 29 – Análise de resíduos da regressão logística fase 2 PBCB– CG

Coeficientes	Pearson	Resultado	Anova	Resultado
	p-value		Pr(>Chi)	
TO x TAbin	0.04925	Rejeita a Ho	0.04845	Rejeita a Ho
TO x MObin	$5,72 \times 10^{-12}$	Rejeita a Ho	$5,01 \times 10^{-12}$	Rejeita a Ho
hora			$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho

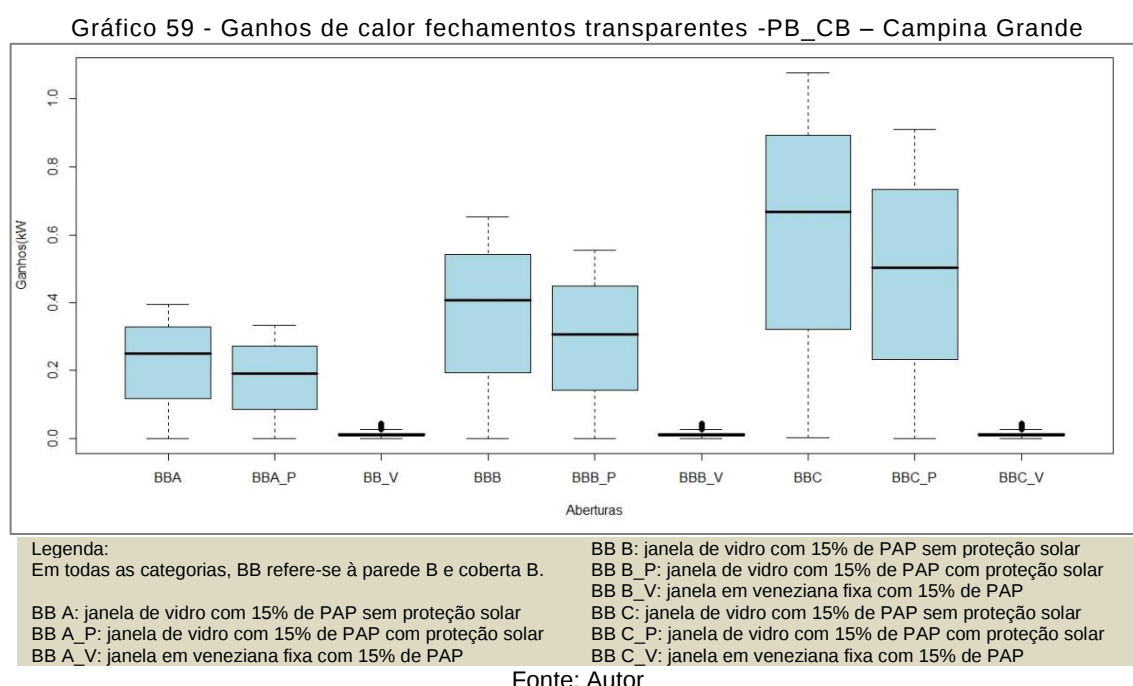
Fonte: Autor

5.5.6. Ganhos de Calor dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho – Comportamento Anual

A segunda variável resposta analisada, os ganhos de calor, foi avaliada a partir da distribuição dos dados horários dos ganhos de calor das aberturas, em kW. No Gráfico 59,

os ganhos de calor das aberturas simuladas nessa combinação de parede (B) com a cobertura (B), resultaram em comportamentos distintos dos ganhos de calor analisados anteriormente.

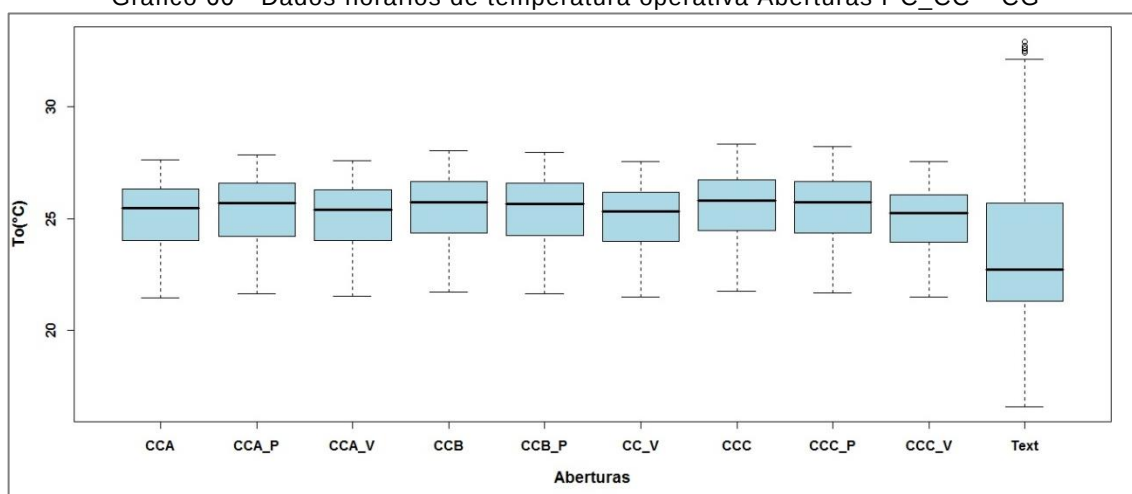
Foi observado que houve uma redução nos ganhos de calor nos três tamanhos, quando foi inserida a proteção solar. O maior intervalo entre os quartis ocorreu na abertura com 40% sem proteção solar. Percebe-se que os ganhos de calor das aberturas com veneziana fixa mantiveram os valores muito próximos da mediana, em todos os tamanhos.



5.5.7. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de pior desempenho – Comportamento Anual

O Gráfico 60 avalia a distribuição dos dados horários de temperatura operativa em cada um dos tipos de aberturas simuladas com esta combinação de parede (C) com cobertura (C). Foram observados comportamentos semelhantes entre as temperaturas operativas, com um intervalo menor entre os quartis da abertura com veneziana fixa.

Gráfico 60 - Dados horários de temperatura operativa Aberturas PC_CC – CG



Legenda:

Em todas as categorias, CC refere-se à parede C e coberta C.

CC A: janela de vidro com 15% de PAP sem proteção solar

CC A_P: janela de vidro com 15% de PAP com proteção solar

CC A_V: janela em veneziana fixa com 15% de PAP

CC B: janela de vidro com 15% de PAP sem proteção solar

CC B_P: janela de vidro com 15% de PAP com proteção solar

CC B_V: janela em veneziana fixa com 15% de PAP

CC C: janela de vidro com 15% de PAP sem proteção solar

CC C_P: janela de vidro com 15% de PAP com proteção solar

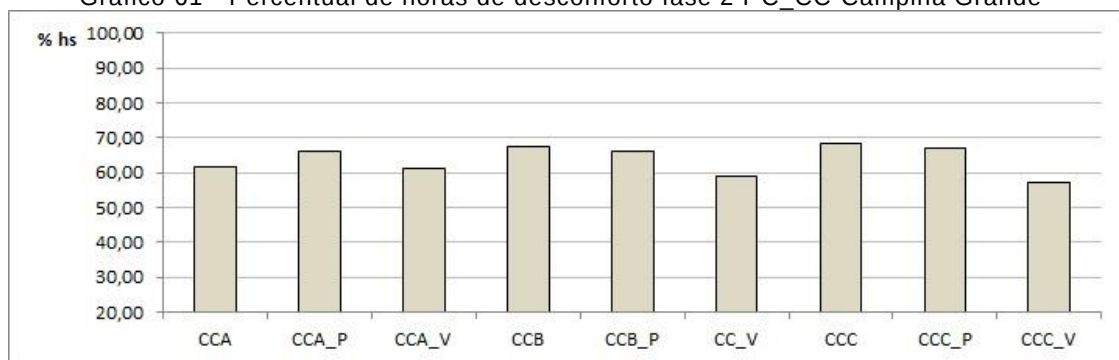
CC C_V: janela em veneziana fixa com 15% de PAP

Fonte: Autor

5.5.8. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de pior desempenho – Percentual de horas de desconforto

O método de percentual de horas de desconforto por calor demonstrou as mesmas diferenças das aberturas simuladas no melhor desempenho (PB_CB), com redução nas horas de desconforto com o uso da proteção solar apenas nos tamanhos de 25% e 40% de PAP. O uso de proteção solar reduziu 1% o percentual de desconforto, na abertura com 25% de PAP e 2%, na abertura com 40% de PAP.

Gráfico 61 - Percentual de horas de desconforto fase 2 PC_CC-Campina Grande



Legenda:

Em todas as categorias, CC refere-se à parede C e coberta C.

CC A: janela de vidro com 15% de PAP sem proteção solar

CC A_P: janela de vidro com 15% de PAP com proteção solar

CC A_V: janela em veneziana fixa com 15% de PAP

CC B: janela de vidro com 15% de PAP sem proteção solar

CC B_P: janela de vidro com 15% de PAP com proteção solar

CC B_V: janela em veneziana fixa com 15% de PAP

CC C: janela de vidro com 15% de PAP sem proteção solar

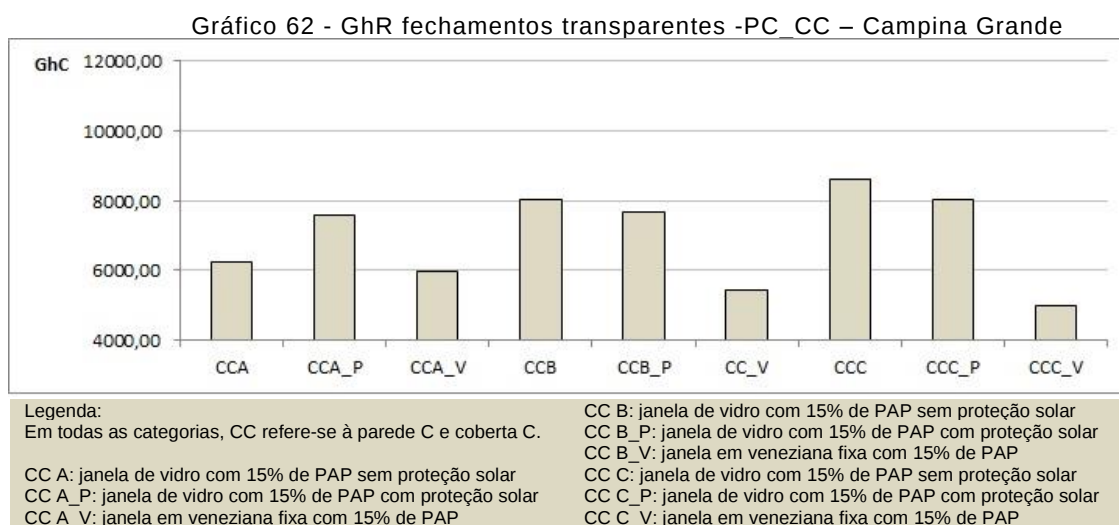
CC C_P: janela de vidro com 15% de PAP com proteção solar

CC C_V: janela em veneziana fixa com 15% de PAP

Fonte: Autor

5.5.9. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de pior desempenho – Graus-hora para resfriamento

A quantidade de graus-hora para resfriamento aumentou em função do aumento da área da abertura, isto é, a abertura com 25% de PAP resultou em 1.789,54 GhR acima do valor observado na abertura com 15%, enquanto, a abertura com 40% apresentou elevação de 568,43 GhR em relação à abertura com 25% de PAP.

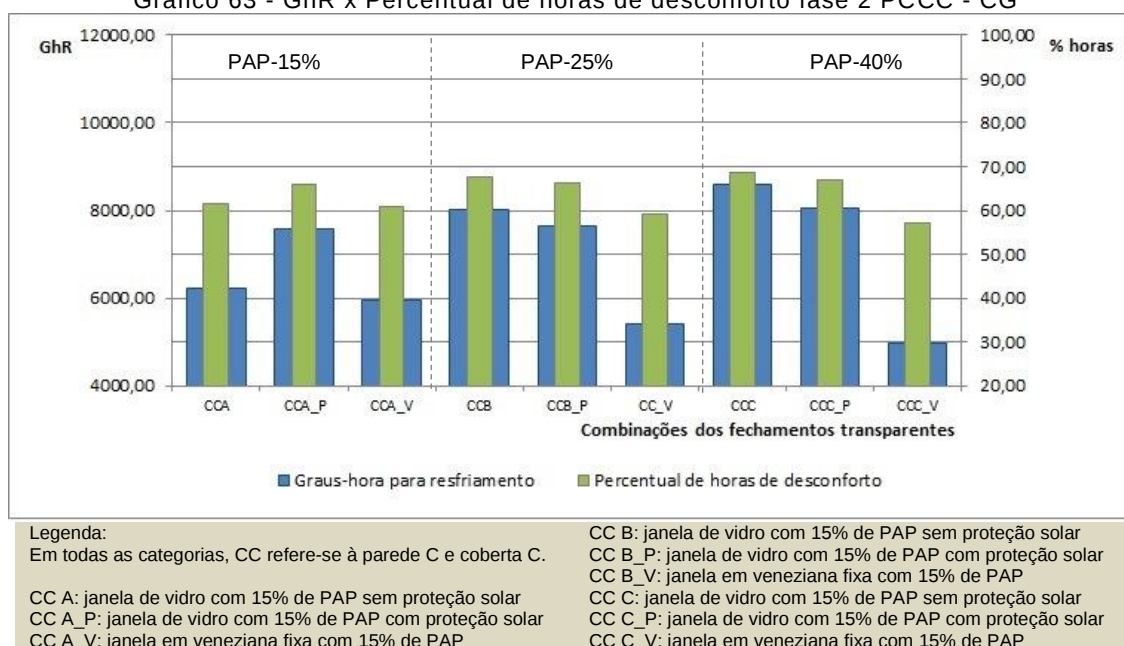


Fonte: Autor

5.5.10. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de pior desempenho – Graus-hora para resfriamento x Percentual de horas de desconforto

O aumento do percentual de hora de desconforto ocorreu na mesma proporção que o aumento de graus-horas para resfriamento, mas em escalas diferentes, como pode ser observado no Gráfico 63.

Gráfico 63 - GhR x Percentual de horas de desconforto fase 2 PCCC - CG



Fonte: Autor

5.5.11. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de pior desempenho – Regressão Logística

O uso da Regressão Logística nesta fase permitiu verificar a influência das variações das aberturas sobre a temperatura operativa, considerando como evento de interesse $y=1$ para os valores abaixo da temperatura base de 25°C , a partir da equação abaixo que foi determinada para este modelo.

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1.TA2 + \beta_2.TA3 + \beta_3.MO2 + \beta_4.MO3 \quad (\text{Equação 22})$$

Aplicando o Teste de Wald, foram determinadas as estimativas de cada combinação e os coeficientes de significância, comparados com os modelos de referência: TA, janela com PAP de 15%, e MO, janela de vidro sem proteção solar. Todas as categorias de aberturas demonstraram diferença significativa, conforme Tabela 30 abaixo.

Tabela 30 – Coeficientes de significância - To PCCC– Campina Grande

Coeficientes	Estimativas	Pr(> z)	Resultado	Exponenciais	Chance
(Intercept)	0,807651	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	2,24	
factor(TA)2	-0,075328	$3,56 \times 10^{-5}$	Rejeita a Ho	0,93	Reduz em 7%
factor(TA)3	-0,071048	$9,67 \times 10^{-5}$	Rejeita a Ho	0,93	Reduz em 7%
factor(MO)2	-0,0488175	0,0152	Rejeita a Ho	0,96	Reduz em 4%
factor(MO)3	0,488175	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	1,63	Aumenta em 63%
hora	-0,032358	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,97	

Fonte: Autor

A partir da equação da regressão logística encontrada, pôde-se verificar que o uso da abertura com 25% de PAP, reduz a chance de conforto em 7%, em relação ao tamanho de referência (15%), e o uso da abertura com 40% de PAP reduz a chance em 7%. Portanto, o aumento na área da abertura reduz a quantidade de horas em que a temperatura esteve abaixo da temperatura base de 25°C.

Quanto ao modelo, observou-se que o uso da proteção solar na categoria de 15% de PAP, reduziu a chance em 4%. Em relação à esquadria com veneziana fixa, foi constatado o aumento na chance de ocorrer o evento de interesse em 60%, comparado ao modelo base, conforme equação 21 abaixo.

$$\left(\frac{p}{1-p} \right) = e^{\beta_0 + \beta_1 TA_2 + \beta_2 TA_3 + \beta_3 MO_3 + \beta_4 Hora} = e^{2,24 + 0,93 TA_2 + 0,93 TA_3 + 0,96 MO_2 + 1,63 MO_3 + 0,97 hora} \quad (\text{Equação 23})$$

Para diagnosticar as irregularidades do modelo, foram realizadas duas análises de resíduos: 1) o resíduo de Pearson (teste qui-quadrado) e 2) o teste de hipótese de análise de variância (Anova), como pode ser observado na Tabela 31 Tabela 29.

Tabela 31 – Análise de resíduos fase 2 PCCC– Campina Grande

Coeficientes	Pearson	Resultado	Anova	Resultado
	p-value		Pr(>Chi)	
TO x TA	$2,76 \times 10^{-5}$	Rejeita a Ho	$2,71 \times 10^{-5}$	Rejeita a Ho
TO x MO	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho
hora			$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho

Fonte: Autor

5.6. CONCLUSÕES SOBRE OS RESULTADOS DE CAMPINA GRANDE

Analisando os resultados dos métodos aplicados e em relação ao percentual de horas de desconforto observou-se que o desempenho da envoltória varia conforme a combinação entre fechamento opaco vertical e horizontal. Tomando como exemplo, a cobertura de fibrocimento sem forro resultou no pior desempenho quando combinada com as paredes (B) e (C), mas não foi o pior desempenho entre as combinações com a cobertura A. O mesmo ocorre com a parede (B) que resultou nos mais baixos percentuais de desconforto quando combinadas com todas as cobertas, além da cobertura (D), com maior transmitância térmica. Esta parede também resultou nos menores valores de graus-hora para resfriamento, combinada com todas as cobertas. Contudo, o melhor desempenho resultou das combinações da parede de concreto maciço, com alta transmitância térmica, com a

coberta de telha de barro, lâ de vidro e forro de concreto, com menor transmitância térmica, apesar de não ter sido o menor valor de graus-hora para resfriamento, obtido com a cobertura (C).

A cobertura (C), com isolamento térmico, resultou nos mais baixos valores de graus-hora, combinadas com todas as paredes, com valores em torno de 4000 GhR, diferente da cobertura de fibrocimento sem forro, que chegou a 36.000 GhR. A cobertura com isolamento térmico também resultou nas menores oscilações ao longo do dia, com amplitude térmica de 3°C no dia mais quente. Os fechamentos opacos verticais resultaram em pouca diferença entre as combinações em função da contribuição das coberturas, mas pôde-se observar um aumento no percentual de horas de desconforto em todas as combinações com a parede (C), com maior inércia térmica, assim como em João Pessoa.

Quanto às aberturas, as categorias analisadas resultaram em comportamentos semelhantes no pior e no melhor desempenho dos fechamentos opacos. As maiores diferenças ocorrem com a variação do tamanho da abertura, pois à medida que a área aumenta, a quantidade de graus-hora para resfriamento também aumentou, com uma variação de aproximadamente 2000 GhR entre a abertura com 40% de PAP e a abertura com 15%. Já o uso da proteção solar aumentou o percentual de horas de desconforto na abertura com 15%, mas melhorou o desempenho nos tamanhos maiores.

Sobre a variável ventilação destaca-se que as aberturas com 15% de PAP com proteção solar aumentaram o percentual de horas de desconforto por reduzir o fluxo de ar que penetra no ambiente. O aumento no tamanho das aberturas com uso de proteção solar demonstraram os melhores desempenhos térmicos.

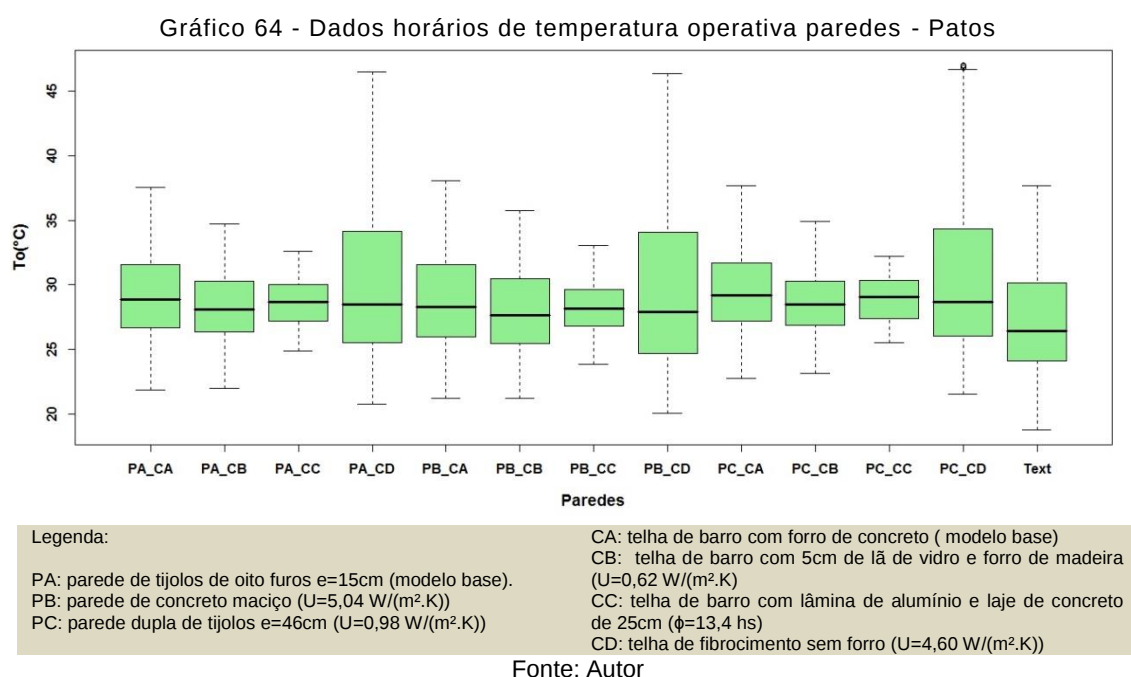
5.7. PATOS – FASE 1

A primeira fase abordou os fechamentos opacos, com combinações entre os modelos horizontais e verticais. Da mesma forma que nas cidades anteriores, foram utilizadas duas variáveis resposta: temperatura operativa e ganhos de calor.

Os métodos aplicados na temperatura operativa foram: Comportamento Anual dos dados horários, Percentual de horas de desconforto, Graus-hora para resfriamento e Regressão Logística. Os métodos aplicados nos Ganhos de calor foram: Comportamento Anual e Teste de Hipótese de Wilcoxon.

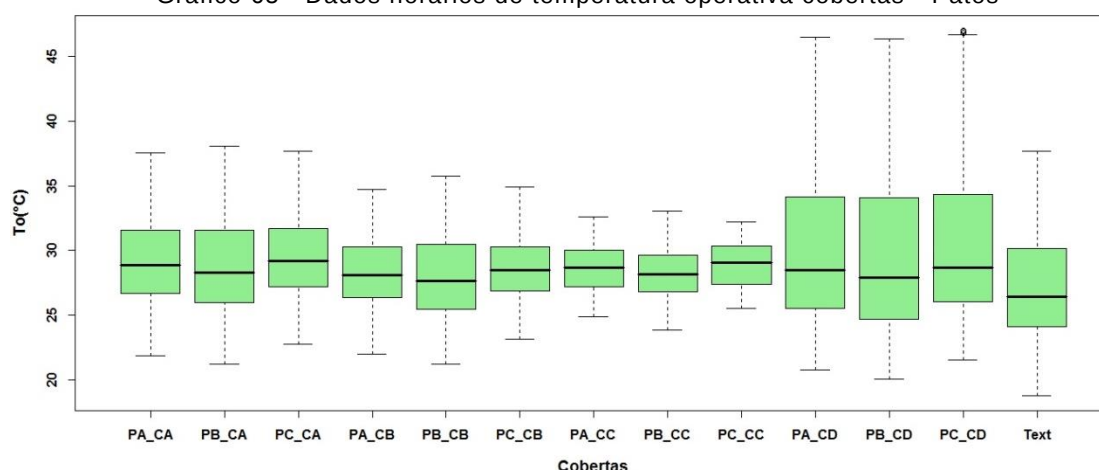
5.7.1. Temperatura Operativa dos Fechamentos Opacos – Comportamento Anual

Os fechamentos opacos foram analisados inicialmente a partir da temperatura operativa, com dados horários resultantes das combinações das paredes e cobertas em estudo. Percebe-se que o comportamento das três paredes analisadas, em relação à temperatura operativa foi semelhante, o mesmo não foi verificado com as cobertas, que apresentaram diferenças mais significativas. Os resultados podem ser observados no Gráfico 64, a parede (C), com maior inércia térmica, resultou nos menores intervalos entre os primeiro e terceiro quartis. As maiores oscilações de temperatura ocorreram com a parede (B), de concreto maciço, que representa o maior valor de transmitância térmica.



Ao comparar a distribuição dos dados horários, percebe-se mais nitidamente a diferença entre as cobertas, por ser o componente que mais influencia no desempenho térmico da envoltória. A cobertura (D), com maior transmitância térmica, apresenta o maior intervalo entre os quartis e temperaturas mais elevadas, em todas as combinações de paredes, enquanto a cobertura (C), com maior atraso térmico, resulta nos menores intervalos entre os quartis, conforme Gráfico 65.

Gráfico 65 - Dados horários de temperatura operativa cobertas - Patos



Legenda:

PA: parede de tijolos de oito furos $e=15\text{cm}$ (modelo base).PB: parede de concreto maciço ($U=5,04\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$)PC: parede dupla de tijolos $e=46\text{cm}$ ($U=0,98\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$)

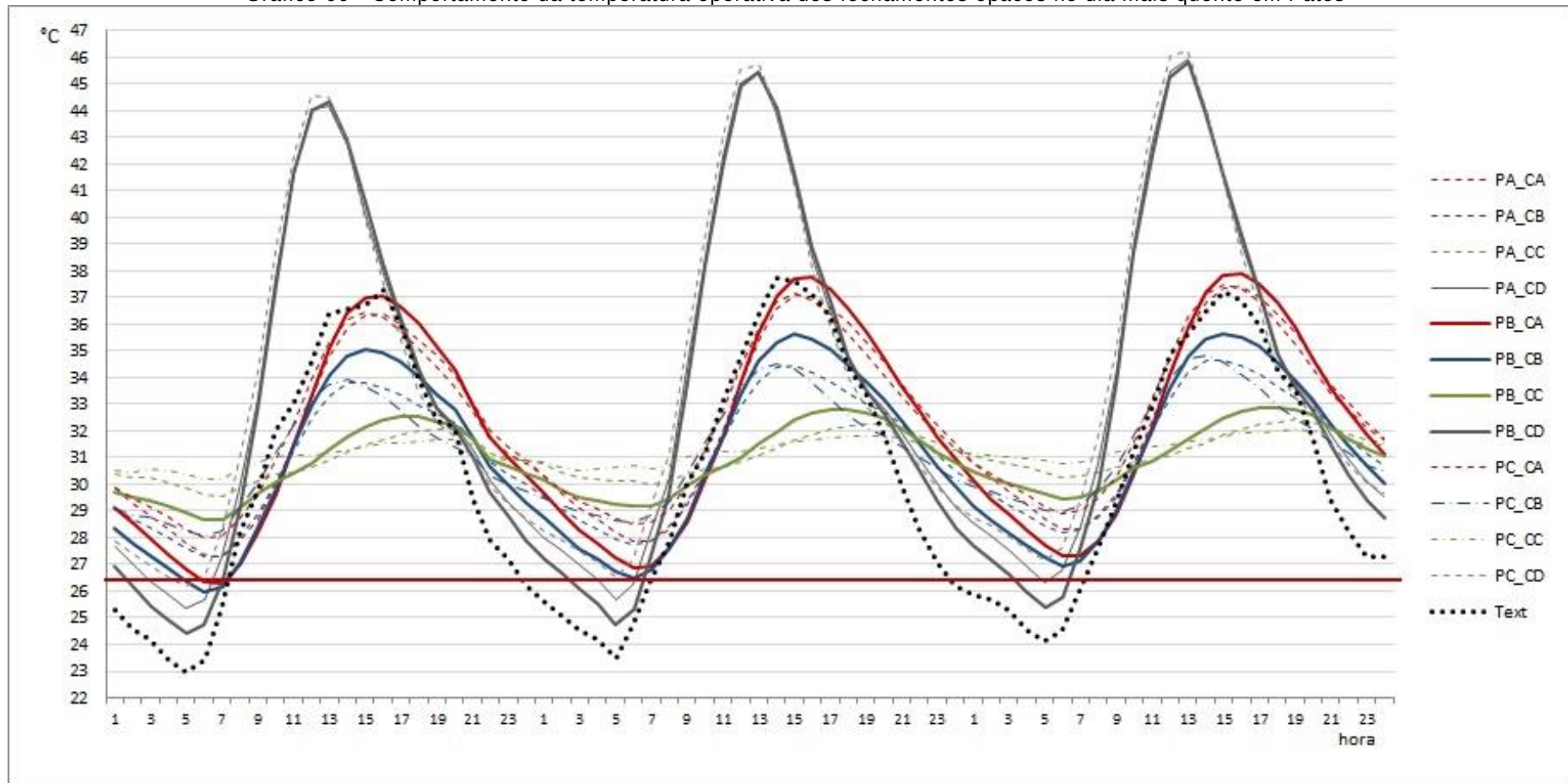
CA: telha de barro com forro de concreto (modelo base)

CB: telha de barro com 5cm de lã de vidro e forro de madeira ($U=0,62\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$)CC: telha de barro com lâmina de alumínio e laje de concreto de 25cm ($\phi=13,4\text{ hs}$)CD: telha de fibrocimento sem forro ($U=4,60\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$)

Fonte: Autor

A partir dos dados horários do dia mais quente e mais frio, pôde-se observar que as combinações com a cobertura (D) possuem as maiores oscilações, em função do alto valor de transmitância térmica, enquanto as combinações com a cobertura (C) resultaram em curvas com poucas variações, mantendo a temperatura em torno de 31°C no dia mais quente e em torno de 27°C no dia mais frio, conforme gráficos 66 e 67. Para facilitar o entendimento destes dados, os gráficos compreendem também o dia anterior e posterior, totalizando 72 horas.

Gráfico 66 - Comportamento da temperatura operativa dos fechamentos opacos no dia mais quente em Patos



Legenda:

PA: parede de tijolos de oito furos $e=15\text{cm}$ (modelo base).

PB: parede de concreto maciço ($U=5,04\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$)

PC: parede dupla de tijolos $e=46\text{cm}$ ($U=0,98\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$)

CA: telha de barro com forro de concreto (modelo base)

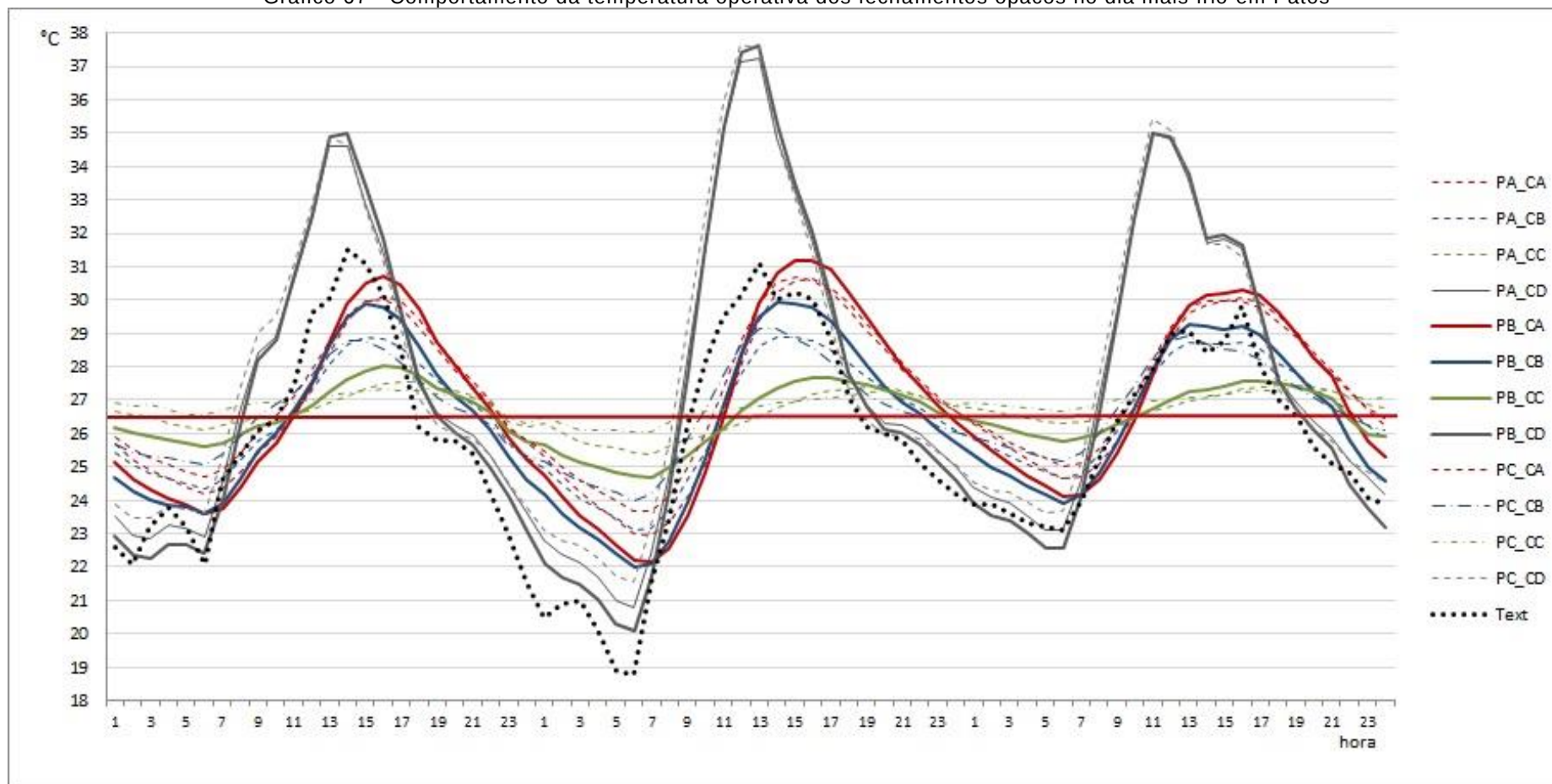
CB: telha de barro com 5cm de lã de vidro e forro de madeira ($U=0,62\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$)

CC: telha de barro com lâmina de alumínio e laje de concreto de 25cm ($\phi=13,4\text{ hs}$)

CD: telha de fibrocimento sem forro ($U=4,60\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$)

Fonte: Autor

Gráfico 67 - Comportamento da temperatura operativa dos fechamentos opacos no dia mais frio em Patos



Legenda:

PA: parede de tijolos de oito furos $e=15\text{cm}$ (modelo base).

PB: parede de concreto maciço ($U=5,04 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$)

PC: parede dupla de tijolos $e=46\text{cm}$ ($U=0,98 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$)

CA: telha de barro com forro de concreto (modelo base)

CB: telha de barro com 5cm de lã de vidro e forro de madeira ($U=0,62 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$)

CC: telha de barro com lâmina de alumínio e laje de concreto de 25cm ($\phi=13,4 \text{ hs}$)

CD: telha de fibrocimento sem forro ($U=4,60 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$)

Fonte: Autor

5.7.2. Temperatura Operativa dos Fechamentos Opacos – Percentual de horas de desconforto

A partir dos resultados do percentual de horas de desconforto, observa-se que a parede (B), com maior transmitância térmica, apresentou os melhores desempenhos. E a parede (C), com maior inércia térmica, apresentou os piores desempenhos entre as paredes, combinadas com as quatro cobertas, conforme Tabela 32.

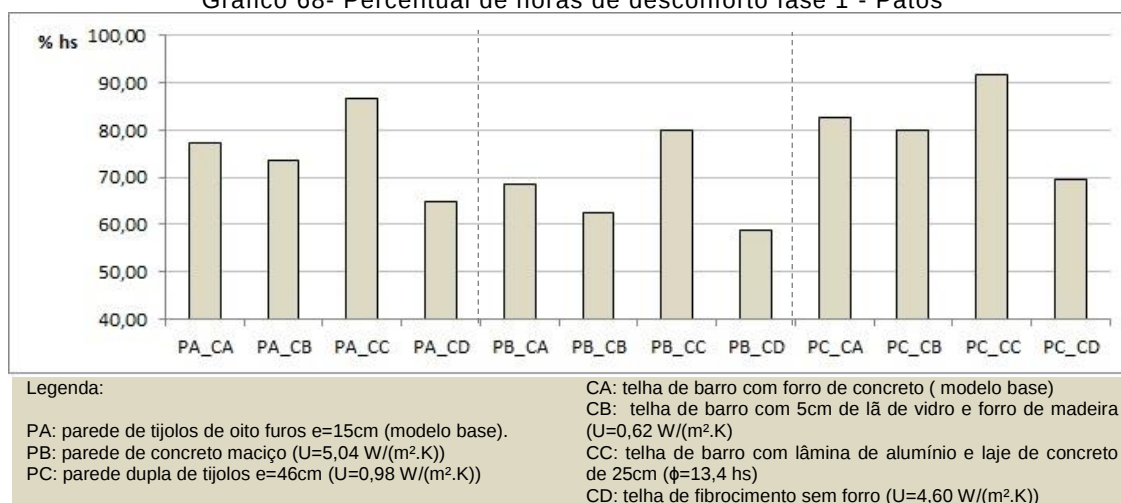
Tabela 32 - Percentual de horas de desconforto fase 1-Patos

	PA_CA	PA_CB	PA_CC	PA_CD	PB_CA	PB_CB	PB_CC	PB_CD	PC_CA	PC_CB	PC_CC	PC_CD
%	77,3	73,4	86,8	64,7	68,4	62,3	79,8	58,6	82,5	80,0	91,6	69,7

Fonte: Autor

Observa-se que a cobertura (D), quando combinada com todas as paredes, apresenta menor percentual de horas de desconforto. O melhor desempenho entre as combinações foi a parede (B) com a cobertura (D), com 58% de horas acima da temperatura base de 26,5°C.

Gráfico 68- Percentual de horas de desconforto fase 1 - Patos



Fonte: Autor

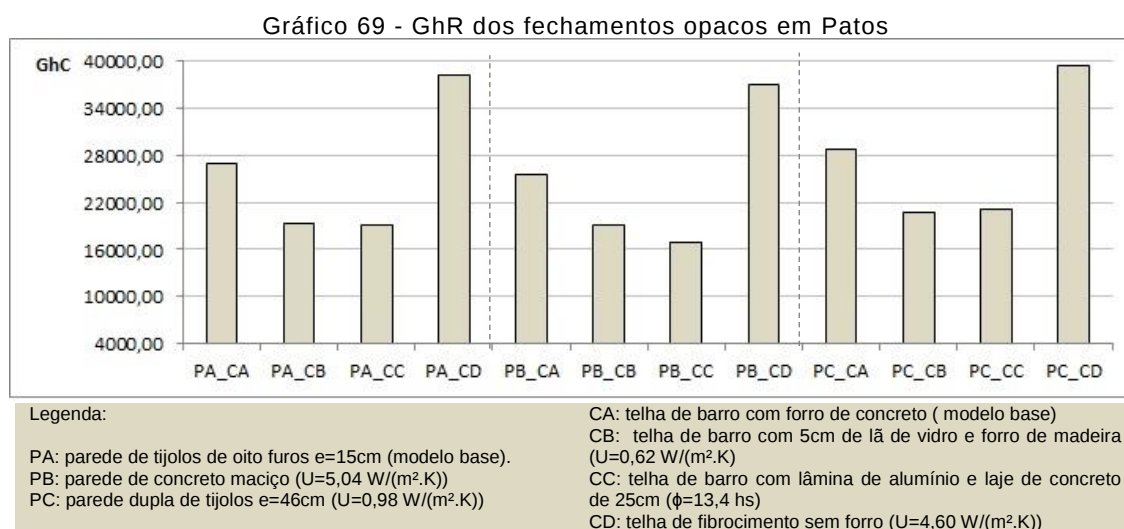
Os piores desempenhos foram observados com a parede (C), independente do tipo de cobertura. Quanto às coberturas, percebe-se que os percentuais de horas mais altos resultam das combinações com a cobertura (C), com isolamento térmico. O pior desempenho entre as combinações foi a parede (C) cobertura (C), com 91,6% de horas de desconforto por calor, que representou também o pior resultado entre as três cidades estudadas.

É importante ressaltar que considerando os dados horários do ano típico, foi observado um percentual de 52% das horas com desconforto a partir da temperatura do ar externa, citado anteriormente. Desta maneira, a combinação dos fechamentos opacos com

maior inércia térmica resultou em um aumento de desconforto de mais de 39% em relação à temperatura externa.

5.7.3. Temperatura Operativa dos Fechamentos Opacos – Graus-hora para resfriamento

O método de análise de Graus-hora para resfriamento (GhR) demonstrou diferenças significativas entre as combinações. A maior diferença ocorreu na cobertura (D), com telha de fibrocimento sem forro, que resultou nos valores mais altos, variando entre 37.053,97 GhR, quando combinada com a parede (B), e 39.534,53 GhR, na combinação com a parede (C), como pode ser observado no Gráfico 69 abaixo.



Fonte: Autor

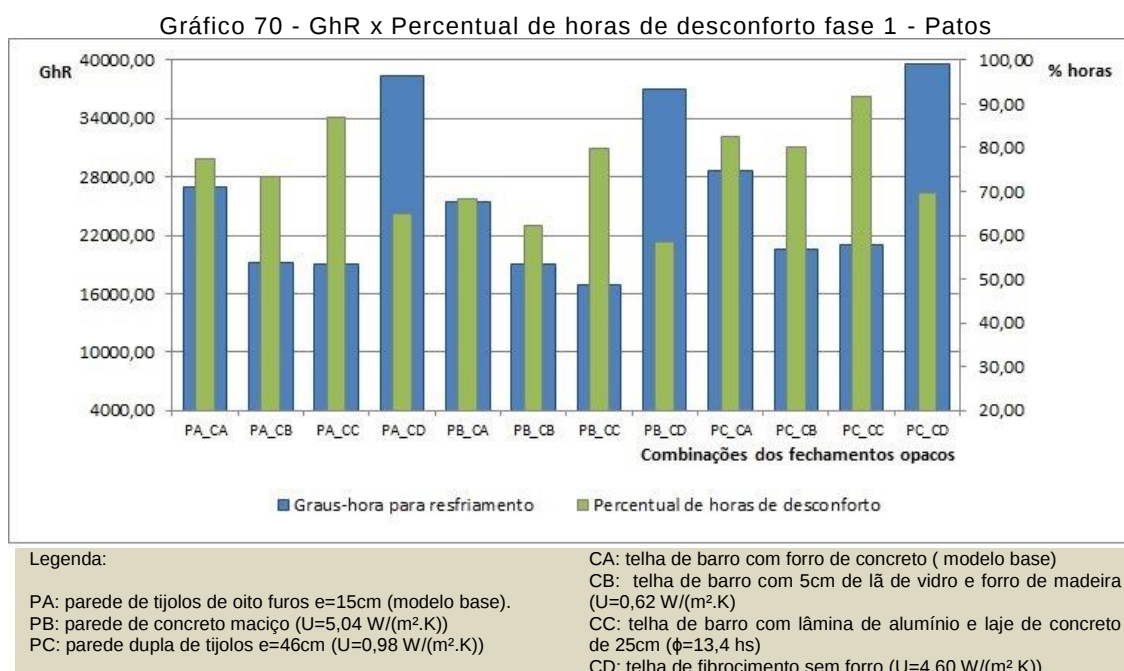
Pôde-se observar que as cobertas (B) e (C), que possuem isolamento térmico em sua composição, resultaram nos melhores desempenhos e com comportamento semelhante, quando combinadas com as paredes em análise. O melhor desempenho resultou da combinação da parede (B), de concreto maciço, com a cobertura (C), de telha de barro, lâmina de alumínio e laje de concreto, que possui 16.871,46 GhR

5.7.4. Temperatura Operativa dos Fechamentos Opacos – Graus-hora para resfriamento x Percentual de horas de desconforto

Ao observar a relação entre o percentual de horas de desconforto por calor e a quantidade de graus-hora para resfriamento, pôde-se observar que algumas combinações obtiveram comportamentos distintos em relação aos dois métodos, assim como nas demais

idades. A maior diferença ocorre nas combinações com a cobertura (D), com maior valor de transmitância térmica. Esta cobertura, que resultou nos menores percentuais de horas de desconforto por calor, também resultou nos maiores valores de graus-hora para resfriamento.

Outra diferença significativa ocorreu entre as combinações com a cobertura (C), com isolamento térmico, que resultou nos menores valores de graus-hora para resfriamento, enquanto apresentou os piores desempenhos no método do percentual de horas de desconforto por calor. Este fenômeno, também observado nas outras cidades, deve-se à cobertura com inércia térmica, que resulta em pequenas oscilações na temperatura (baixa amplitude térmica).



Fonte: Autor

Assim como foi observado nas demais cidades, a justaposição dos resultados obtidos com esses dois métodos é fundamental para entender o comportamento da envoltória, posto que a mesma combinação de parede e cobertura pode apresentar excelente desempenho com o método de graus horas para resfriamento e apresentar péssimo desempenho com o método horas de desconforto. Tomando como exemplo a cobertura (D), observou-se que os maiores valores de graus-hora para resfriamento ocorrem com essa cobertura, contudo essa mesma solução apresenta os menores valores de horas de desconforto.

5.7.5. Temperatura Operativa dos Fechamentos Opacos – Regressão Logística

No modelo de Regressão Logística, foram comparadas os dados horários de temperatura operativa das combinações, considerando como evento de interesse ($y=1$) os valores de temperatura operativa abaixo da temperatura base de 26,5°C. A partir da equação determinada para este modelo, foram determinados o melhor e o pior desempenho entre as combinações.

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_o + \beta_1 \cdot Grupo \quad (\text{Equação 24})$$

Inicialmente, foram determinadas as estimativas e os coeficientes de significância a partir do Teste de Wald, a fim de identificar as diferenças significativas entre as combinações, quando comparadas com o modelo base: parede (A) e a coberta (A). A partir da Tabela 33 pñde-se observar que houve diferença significativa entre todas as combinações e o modelo base, rejeitando a hipótese nula. A partir das estimativas, foram calculados os exponenciais, que permitiram quantificar a razão da chance de ocorrer o evento de interesse e a diferença entre cada categoria simulada.

Tabela 33 – Coeficientes de significância To – Patos

Coeficientes	Estimativas	Pr(> z)	Resultado	Exponenciais	Chance
(Intercept)	0,047726	0,103	Rejeita a Ho	1,04	
factor(G)2	0,231325	$4,29 \times 10^{-10}$	Rejeita a Ho	1,26	Aumenta em 26%
factor(G)3	-0,713791	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,49	Reduz em 51%
factor(G)4	0,691750	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	1,99	Aumenta em 99%
factor(G)5	0,508150	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	1,66	Aumenta em 66%
factor(G)6	0,812173	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	2,25	Aumenta em 2,25 vezes mais
factor(G)7	-0,165723	$1,83 \times 10^{-5}$	Rejeita a Ho	0,85	Reduz em 15%
factor(G)8	0,990212	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	2,69	Aumenta em 169%
factor(G)9	-0,359095	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,69	Reduz em 31%
factor(G)10	-0,176627	$5,1 \times 10^{-6}$	Rejeita a Ho	0,83	Reduz em 17%
factor(G)11	-1,247628	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,29	Reduz em 71%
factor(G)12	0,438164	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	1,55	Aumenta em 55%
hora	-0,115091	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,89	

Legenda:

G1 – parede A-coberta A	G5 – parede B-coberta A	G9 – parede C-coberta A
G2 – parede A-coberta B	G6 – parede B-coberta B	G10 – parede C-coberta B
G3 – parede A-coberta C	G7 – parede B-coberta C	G11 – parede C-coberta C
G4 – parede A-coberta D	G8 – parede B-coberta D	G12 – parede C-coberta D

Fonte: Autor

Pñde-se verificar que o melhor desempenho ocorreu na combinação G8, parede (B) com maior transmitância térmica, combinada com a coberta (D) também com maior transmitância. Esta combinação aumenta a chance da temperatura operativa permanecer

abaixo da temperatura base em 2,69 vezes mais em relação ao modelo base, conforme Tabela 33.

O pior desempenho ocorreu em G11, que representa a combinação da parede (C) e coberta (C), com os maiores valores de atraso térmico. Esta combinação reduziu a chance de ocorrer conforto pela temperatura operativa em 71%, conforme equação abaixo.

$$\left(\frac{p}{1-p} \right) = e^{\beta_0 + \beta_1 G_2 + \beta_2 G_3 + \beta_3 G_4 + \beta_4 G_5 + \beta_5 G_6 + \beta_6 G_7 + \beta_7 G_8 + \beta_8 G_9 + \beta_9 G_{10} + \beta_{10} G_{11} + \beta_{11} G_{12} + \beta_{12} Hora}$$

(Equação 25)

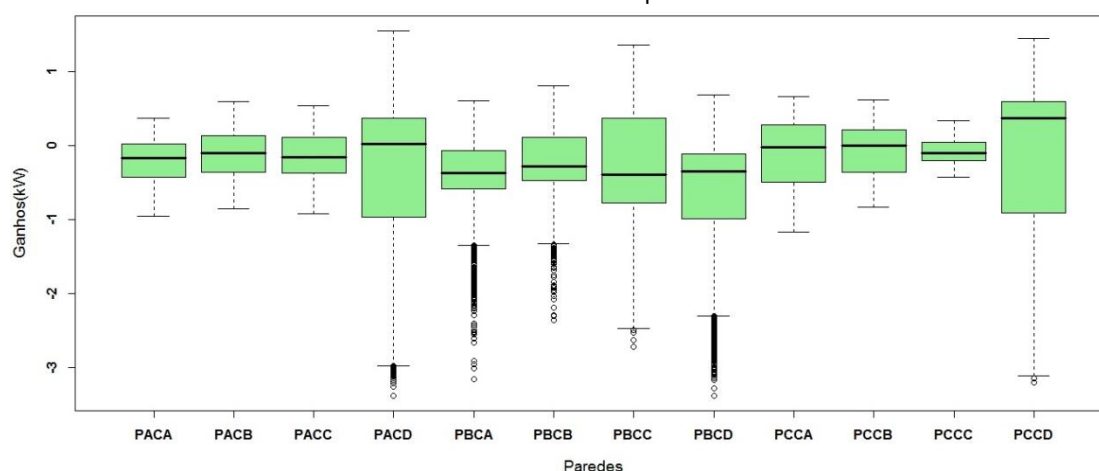
$$e^{0,95 + 0,79.G_2 + 2,04.G_3 + 0,50.G_4 + 0,60.G_5 + 0,44.G_6 + 1,18.G_7 + 0,37.G_8 + 1,43.G_9 + 1,19.G_{10} + 3,48.G_{11} + 0,64.G_{12} + 1,21.Hora}$$

Para diagnosticar as irregularidades do modelo, foram realizadas duas análises de resíduos: 1) o resíduo de Pearson (teste qui-quadrado) que rejeitou a hipótese de que não há diferenças entre a variável resposta e as variáveis independentes, com p-value menor que $2,2 \times 10^{-16}$, e ainda, 2) o teste de hipótese de análise de variância (Anova), que rejeitou a hipótese, com resultado de p-value menor que $2,2 \times 10^{-16}$.

5.7.6. Ganhos de calor dos Fechamentos Opacos – Comportamento Anual x Teste de Wilcoxon

A segunda variável resposta avaliada foram os ganhos de calor dos fechamentos opacos. O gráfico de caixa permitiu avaliar a distribuição dos ganhos de calor das cobertas em cada uma das combinações. Percebe-se que os extremos, tanto os máximos quanto os mínimos, ocorrem nas três paredes combinadas com coberta (D). A parede (C), com maior inércia térmica, resultou nas mais altas medianas, com influência significativa das cobertas. A maior mediana ocorreu na combinação da parede (C) com a coberta (D), maior transmitância térmica, ao mesmo tempo que resultou no maior limite inferior, conforme Gráfico 71.

Gráfico 71 - Ganhos de calor das paredes fase 1 - Patos



Legenda:

PA: parede de tijolos de oito furos $e=15\text{cm}$ (modelo base).
 PB: parede de concreto maciço ($U=5,04 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$)
 PC: parede dupla de tijolos $e=46\text{cm}$ ($U=0,98 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$)

CA: telha de barro com forro de concreto (modelo base)

CB: telha de barro com 5cm de lã de vidro e forro de madeira ($U=0,62 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$)CC: telha de barro com lâmina de alumínio e laje de concreto de 25cm ($\phi=13,4 \text{ hs}$)CD: telha de fibrocimento sem forro ($U=4,60 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$)

Fonte: Autor

Foi aplicado o teste de hipótese de Wilcoxon, para determinar a diferença entre os ganhos, comparando todas as combinações com o modelo base. Foram aplicados os seguintes pressupostos: testes de normalidade Lillie Fours e teste de variância Ncvteste, que permitiram observar que as distribuições dos ganhos de calor não são normais e não possuem variância constante. Foi definido o intervalo de confiança entre eles e a estimativa de intervalo de confiança livre de distribuição em kW, conforme Tabela 34.

Tabela 34 – Teste de Wilcoxon - ganhos de calor das paredes - Patos

Coeficientes	Alternativa "Greater"	p-value conf.int	Resultado	Estimativa da diferença
GC1 - GC2	1	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	-0,0918
GC1 - GC3	1	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	-0,0647
GC1 - GC4	1	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	-0,1684
GC1 - GC5	$<2,2 \times 10^{-16}$	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,1389
GC1 - GC6	0,04601	0,09202	Rejeita a Ho	0,0097
GC1 - GC7	$<2,2 \times 10^{-16}$	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,1203
GC1 - GC8	$<2,2 \times 10^{-16}$	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,2266
GC1 - GC9	1	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	-0,1428
GC1 - GC10	1	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	-0,1554
GC1 - GC11	1	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	-0,1072
GC1 - GC12	1	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	-0,4289

Legenda:

G1 – parede A-coberta A
 G2 – parede A-coberta B
 G3 – parede A-coberta C
 G4 – parede A-coberta D

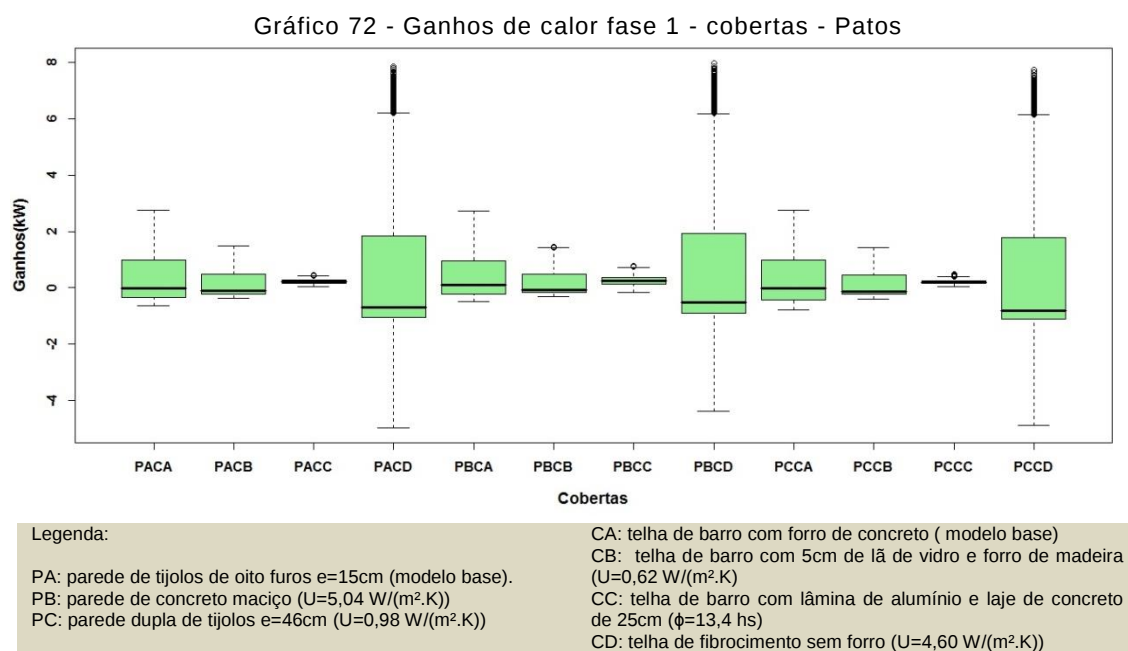
G5 – parede B-coberta A
 G6 – parede B-coberta B
 G7 – parede B-coberta C
 G8 – parede B-coberta D

G9 – parede C-coberta A
 G10 – parede C-coberta B
 G11 – parede C-coberta C
 G12 – parede C-coberta D

Fonte: Autor

A partir do teste de Wilcoxon, foram verificadas diferenças positivas entre as combinações com a parede (B), indicando que o balanço térmico dos fechamentos opacos com maior valor de transmitância térmica resulta em menor quantidade de calor ao comparar-se com o modelo base. A pior situação ocorreu na combinação G(12), referente à parede (C)_coberta (D), resultando na diferença negativa por admitir mais calor que o modelo base em 0,4289 kW.

A partir da análise de distribuição dos ganhos de calor das cobertas em cada uma das combinações, pôde-se observar que as cobertas resultaram em comportamentos semelhantes com todas as paredes (as cobertas apresentam maior contribuição térmica), ou seja, nenhuma das categorias abaixo demonstrou influência significativa das paredes.



No Gráfico 72 pode-se verificar que a cobertura (D) resultou nos maiores ganhos de calor, com valores atípicos acima do terceiro quartil, que chegam a 8 kW, assim como, apresentou também os mínimos extremos. O menor intervalo entre os quartis ocorreu na cobertura (C), com isolamento térmico, sem grandes variações ao longo do ano.

Para determinar a diferença entre os ganhos de calor das cobertas, foram comparadas as combinações, a partir do teste de hipótese de Wilcoxon, definindo o intervalo de confiança entre eles e a estimativa da diferença livre de distribuição, conforme Tabela 35.

Tabela 35 – Teste de Wilcoxon - ganhos de calor das cobertas - Patos

Coeficientes	Alternativa "Greater"	p-value conf.int	Resultado	Estimativa da diferença
GC1 - GC2	0,9784	0,04318	Rejeita a H_0	-0,0172

GC1 – GC3	1	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	-0,2153
GC1 – GC4	$<2,2 \times 10^{-16}$	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,5931
GC1 – GC5	1	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	-0,1041
GC1 – GC6	1	$1,58 \times 10^{-7}$	Rejeita a Ho	-0,0487
GC1 – GC7	1	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	-0,2167
GC1 – GC8	$<2,2 \times 10^{-16}$	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,4390
GC1 – GC9	$<2,2 \times 10^{-16}$	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,0785
GC1 – GC10	0,4779	0,9557	Rejeita a Ho	0,0004
GC1 – GC11	1	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	-0,1945
GC1 – GC12	$<2,2 \times 10^{-16}$	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,6730

Legenda:

G1 – parede A-coberta A
G2 – parede A-coberta B
G3 – parede A-coberta C
G4 – parede A-coberta D

G5 – parede B-coberta A
G6 – parede B-coberta B
G7 – parede B-coberta C
G8 – parede B-coberta D

G9 – parede C-coberta A
G10 – parede C-coberta B
G11 – parede C-coberta C
G12 – parede C-coberta D

Fonte: Autor

A partir do teste de Wilcoxon, foram verificadas diferenças positivas entre as combinações com a cobertura (D), comparadas com o modelo base, demonstrando que os fechamentos opacos com maior valor de transmitância térmica ganham menos calor que o modelo base. A maior estimativa ocorreu na comparação do modelo base com a combinação G(12), referente à parede (C)_coberta (D), com 0,6730 kW.

5.7.7. Fechamentos Opacos - Comparação entre os métodos da fase 1

No Quadro 6 pode-se verificar que os fechamentos opacos resultaram em desempenhos distintos em cada método de análise. O melhor desempenho resultante das simulações da fase 1 foi a combinação da parede de concreto maciço com a cobertura de fibrocimento sem forro, que representam os maiores valores de transmitância térmica.

Quadro 6 - Comparação entre métodos – Patos

Variável resposta 1 analisada: Temperatura Operativa	
Métodos	Resultado
Comportamento Anual	Maior influência das cobertas. Coberta D = maiores oscilações de temperatura operativa.
Percentual de horas de desconforto	Maior influência da cobertura (C) = aumento das horas de desconforto. Parede (C) com cobertura (C) = pior desempenho Parede (B) com cobertura (D) = melhor desempenho
Graus-hora para Resfriamento	Maior influência da cobertura (D) = aumento dos GhR. Parede (C) com cobertura (D) = pior desempenho Parede (B) com cobertura (C) = melhor desempenho

Regressão Logística	Maior influência da cobertura (C). Parede (C) com cobertura (C) = pior desempenho Parede (B) com cobertura (D) = melhor desempenho
Variável resposta 2 analisada: Ganhos de calor	
Métodos	Resultado
Comportamento Anual	Todas as paredes combinadas com a cobertura (D) possui ganhos de calor negativo A cobertura (D) possui as maiores oscilações. A cobertura (C) possui as menores oscilações.
Teste de Hipótese de Wilcoxon	Parede (B) menor ganho de calor Cobertura (D) menor ganho de calor

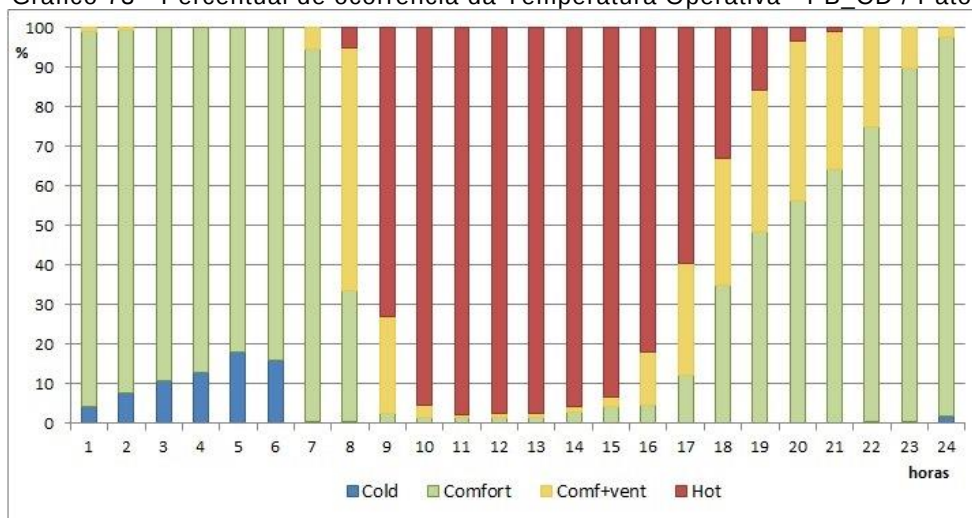
Fonte: Autor

O melhor desempenho foi a parede (B) com a cobertura (D) e o pior desempenho é formado pela parede (C) combinada com a cobertura (C), que representam os fechamentos opacos com maior atraso térmico e menor transmitância térmica.

Aplicando o método de De Dear e Brager na combinação com melhor desempenho percebe-se a ocorrência de temperaturas elevadas. O Gráfico 73 confirmou a predominância da ocorrência da temperatura operativa na zona de calor, entre 09hs e 17hs, com percentuais que chegam a 98% das horas.

Esta combinação demonstrou os maiores percentuais nesta zona, complementados por percentuais na zona de conforto com necessidade de ventilação. A zona de conforto é observada com maior ocorrência no período noturno. Percebe-se ainda a ocorrência de temperaturas na zona de frio entre as 01hs e 07hs da manhã, com percentuais em torno de 10% das horas.

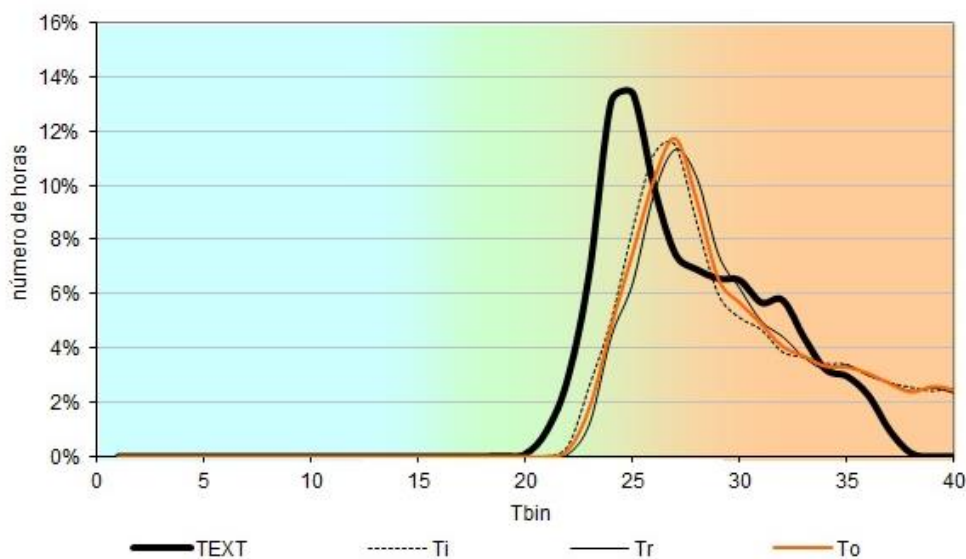
Gráfico 73 - Percentual de ocorrência da Temperatura Operativa - PB_CD / Patos



Fonte: Adaptado de NEGREIROS (2010)

Ao comparar as temperaturas do ar interna, temperatura radiante e temperatura operativa com a temperatura do ar externa, o Gráfico 74 demonstrou que as temperaturas relativas ao ambiente interno alcançam valores até 40°C, finalizando sua curva acima da temperatura externa. O maior percentual do número de horas ocorre entre 27°C, com aproximadamente 12%, enquanto a temperatura do ar externa resultou no maior percentual em 25°C, com aproximadamente 13%.

Gráfico 74 - Comparação da Temperatura interna de PB_CD com temperatura externa - Patos

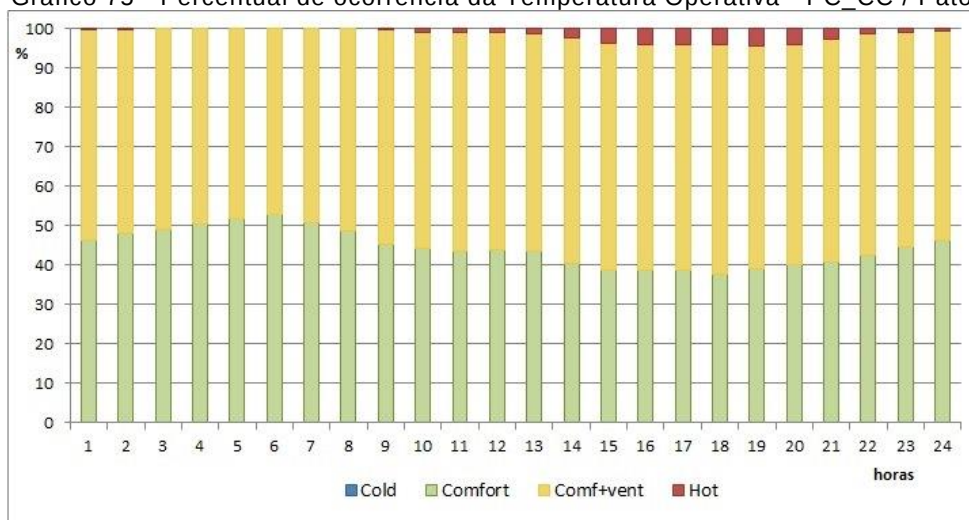


Fonte: Adaptado de NEGREIROS (2010)

Foi observado que o pior desempenho entre as combinações foi a parede (C)_coberta(C), que caracterizam os sistemas construtivos com maiores valores de atraso térmico. Foi aplicado o método de De Dear e Brager, com a ocorrência de temperaturas, considerando quatro zonas, conforme Gráfico 75 abaixo.

Percebe-se que, em todas as horas, houve ocorrência na zona de conforto, com uma distribuição constante em torno de 45% das horas. Pôde-se observar ainda que, em todas as horas houve a necessidade de ventilação com ocorrência das horas em torno de 50%. A zona quente resultou em percentuais baixos, conforme Gráfico 75.

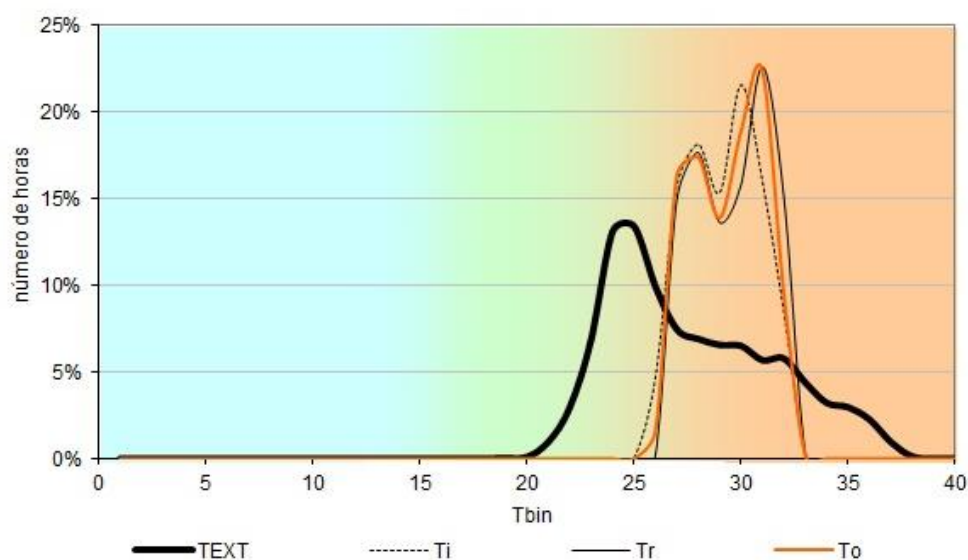
Gráfico 75 - Percentual de ocorrência da Temperatura Operativa - PC_CC / Patos



Fonte: Adaptado de NEGREIROS (2010)

O Gráfico 76 compara as temperaturas do ar interna, temperatura radiante e temperatura operativa com a temperatura do ar externa, demonstrando que as temperaturas do interior do ambiente resultaram em uma amplitude menor que a temperatura do ar externo. A maior frequência das temperaturas internas ocorre em torno de 30°C, com 23% do número de horas.

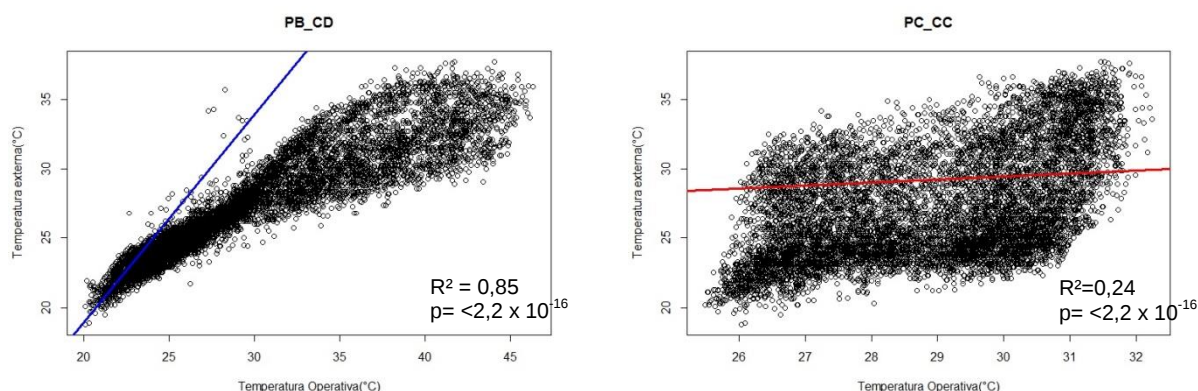
Gráfico 76 - Comparação da Temperatura interna de PC_CC com temperatura externa - Patos



Fonte: Adaptado de NEGREIROS (2010)

Foi aplicado o método de regressão linear, para observar a correlação entre a temperatura operativa e a temperatura do ar externa nas duas combinações e comparar a diferença entre elas. O melhor desempenho indicou o maior coeficiente de determinação, com $R^2 = 0,85$, enquanto a parede(B)_coberta(D), com pior desempenho, resultou no coeficiente de determinação $R^2 = 0,24$, conforme gráficos de dispersão abaixo:

Gráfico 77 - Gráficos de Dispersão (a) PB_CD (b) PC_CC- Patos



Fonte: Autor

5.8. PATOS – FASE 2

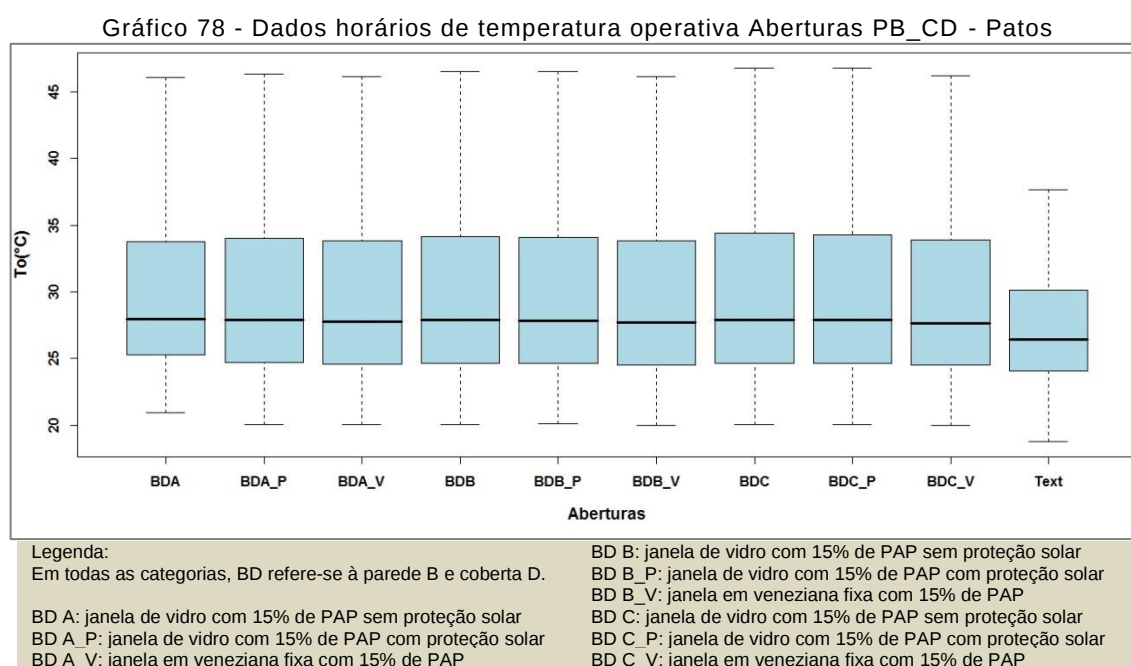
Em Patos, também foram simuladas as combinações com o melhor e o pior desempenho resultante da fase 1, com três variáveis independentes: o tamanho das aberturas, o tipo de esquadria e o uso de proteção solar. Foram avaliadas duas variáveis resposta: a temperatura operativa e os ganhos de calor das aberturas.

O melhor desempenho é formado pela parede (B) com a cobertura (D). A parede (B) é referente à parede com maior valor de transmitância térmica escolhida: a parede de concreto maciço, com espessura total da parede de 5,0 cm, com valor de $U = 5,04 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, atraso térmico de 1,3 hs e absorptância solar de 0,20. A cobertura (D) é referente à cobertura com maior valor de transmitância térmica: a cobertura de telha de fibrocimento sem forro, com espessura da telha de 0,7 cm, com valor de $U = 4,60 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, atraso térmico de 0,2 hs e absorptância solar de 0,70.

O pior desempenho é formado pela parede (C) combinada com a cobertura (C), que representam os fechamentos opacos com maior atraso térmico e menor transmitância térmica. A parede (C) é referente à parede dupla de tijolos de 8 furos circulares, assentados na maior dimensão, com espessura total da parede de 46,0 cm, com valor de $U = 0,98 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, atraso térmico de 10,8 hs e absorptância solar de 0,20. A cobertura (C) é referente à cobertura de telha de barro, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 25 cm, com valor de $U = 1,03 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, atraso térmico de 13,4 hs e absorptância solar de 0,70.

5.8.1. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho – Comportamento Anual

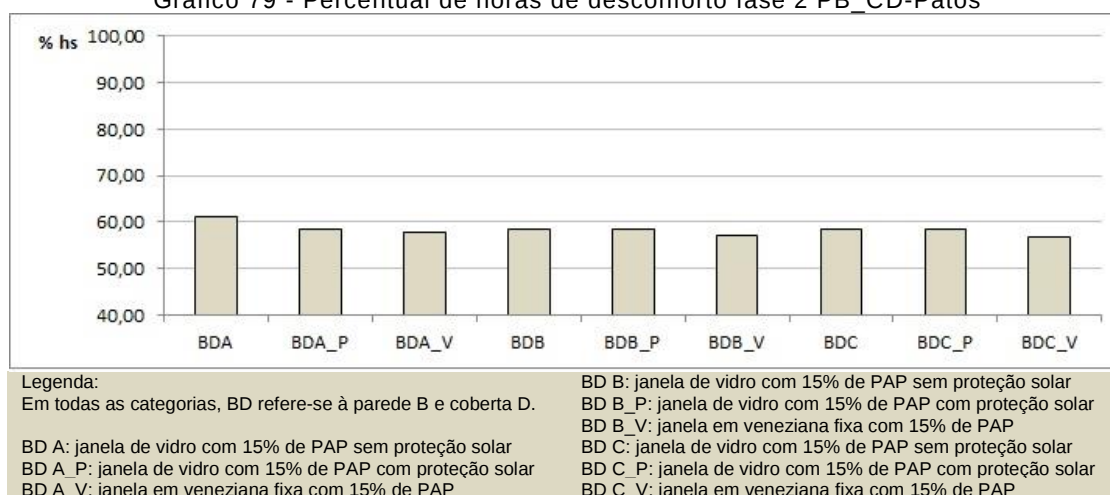
O Gráfico 78 avalia a distribuição dos dados horários de temperatura operativa em cada categoria de abertura analisada na combinação resultante da fase 1, percebe-se que os comportamentos ocorreram de forma semelhante, como nas demais cidades. As medianas permaneceram em torno de 27°C, em todas as categorias, com intervalos semelhantes entre o primeiro e terceiro quartil.



5.8.2. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho – Percentual de horas de desconforto

A comparação entre os percentuais de horas de desconforto não demonstrou diferenças significativas. O uso de veneziana fixa reduziu em 4% o percentual de horas de desconforto nas aberturas com 15% de PAP. No entanto, à medida que a área da abertura aumentou, o uso da veneziana obteve uma diferença menor quando comparada com o modelo base, ou seja, na abertura com 25%, houve uma redução de 1% e na abertura com 40% de PAP, houve uma redução de 2%, conforme Gráfico 79.

Gráfico 79 - Percentual de horas de desconforto fase 2 PB_CD-Patos

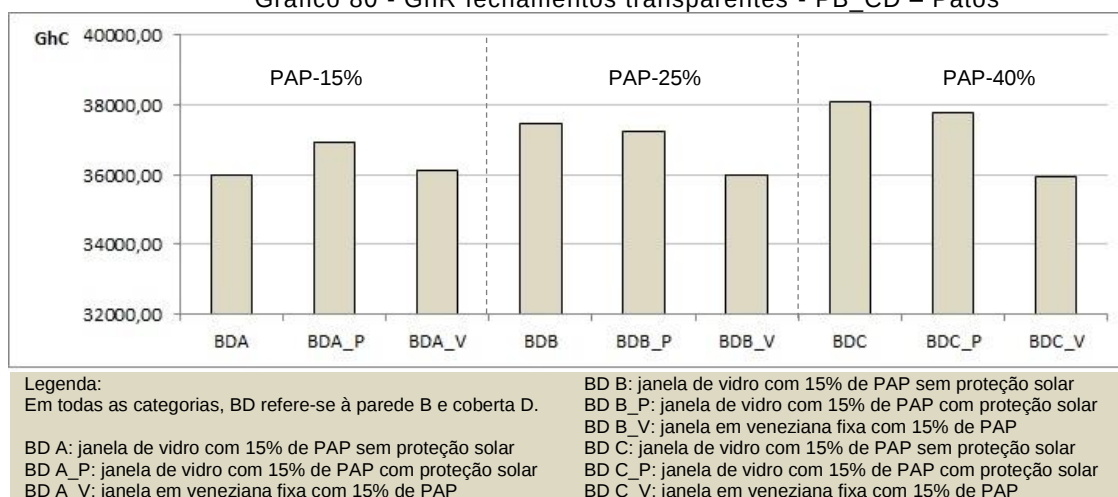


Fonte: Autor

5.8.3. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho – Graus-hora para resfriamento

A partir do Gráfico 80, foi constatado que a inserção da proteção solar na abertura com 25% reduziu a quantidade de graus-hora para resfriamento em 1.467,04 GhR, enquanto na abertura com 40% de PAP, a quantidade de graus-hora reduziu em 2.176,07 GhR, isto é, a influência da proteção solar aumenta à medida que aumenta o percentual de área da abertura, assim como em Campina Grande.

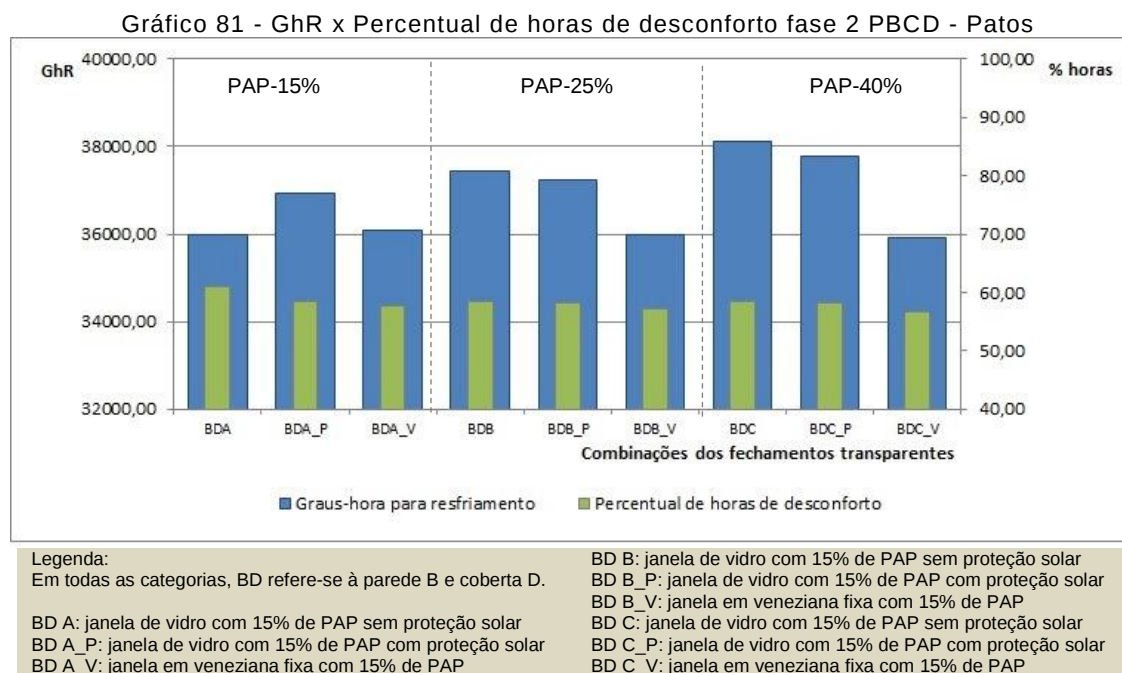
Gráfico 80 - GhR fechamentos transparentes - PB_CD – Patos



Fonte: Autor

5.8.4. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho – Graus-hora para resfriamento x Percentual de horas de desconforto

A comparação entre os dois métodos anteriores demonstrou comportamentos semelhantes, isto é, o aumento do percentual de hora de desconforto ocorreu na mesma proporção que o aumento de graus-horas para resfriamento, mas em proporções distintas.



5.8.5. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho – Regressão Logística

Nesta fase, foi aplicado o modelo de Regressão Logística para quantificar a diferença entre a temperatura operativa das variações das aberturas, determinando o evento de interesse $y=1$, para os valores abaixo da temperatura base de $26,5^{\circ}\text{C}$. A equação abaixo que foi determinada para este modelo, com duas variáveis independentes: o tamanho das aberturas, com 15%, 25% e 40%, e o modelo, com proteção solar e veneziana fixa.

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1.TA2 + \beta_2.TA3 + \beta_3.MO2 + \beta_4.MO3 \quad (\text{Equação 26})$$

Foram determinadas as estimativas de cada combinação e os coeficientes de significância, a partir do teste de Wald. Foram observadas diferenças significativas entre todas as categorias e calculados os exponenciais, que permitiram quantificar a razão da chance de ocorrer o evento de interesse, conforme Tabela 36 abaixo.

Tabela 36 – Coeficientes de significância To - PBCD – Patos

Coeficientes	Estimativas	Pr(> z)	Resultado	Exponenciais	Chance
(Intercept)	0,868002	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	2,38	
factor(TA)2	0,053233	0,00465	Rejeita a Ho	1,05	Aumenta em 5%
factor(TA)3	0,060280	0,00135	Rejeita a Ho	1,06	Aumenta em 6%
factor(MO)2	0,041992	0,02571	Rejeita a Ho	1,04	Aumenta em 4%
factor(MO)3	0,099561	$1,17 \times 10^{-7}$	Rejeita a Ho	1,10	Aumenta em 10%
hora	-0,106396	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,90	

Fonte: Autor

A partir da equação da regressão logística, pôde-se observar que o uso das aberturas com 40% de PAP, aumentou a chance de conforto em 6%, quando comparada com o uso das aberturas com 15% de PAP. Quanto ao modelo, observou-se que o uso de esquadrias com veneziana aumentou a chance em 10%. Desta maneira, confirmou-se que o aumento da área efetiva da abertura melhora o desempenho térmico da envoltória, permitindo o uso da ventilação natural maneira mais eficiente.

$$\left(\frac{p}{1-p} \right) = e^{\beta_0 + \beta_1 TA + \beta_2 MO + \beta_3 Hora} = e^{2,38 + 1,05.TA + 1,06.TA + 1,04.MO + 1,10.MO + 0,90.Hora} \quad (\text{Equação 27})$$

Para diagnosticar as irregularidades do modelo, foram realizadas duas análises de resíduos: 1) o resíduo de Pearson (teste qui-quadrado) e 2) o teste de hipótese de análise de variância (Anova), conforme a Tabela 37.

Tabela 37 – Análise de resíduos da regressão logística fase 2 PBCD– PS

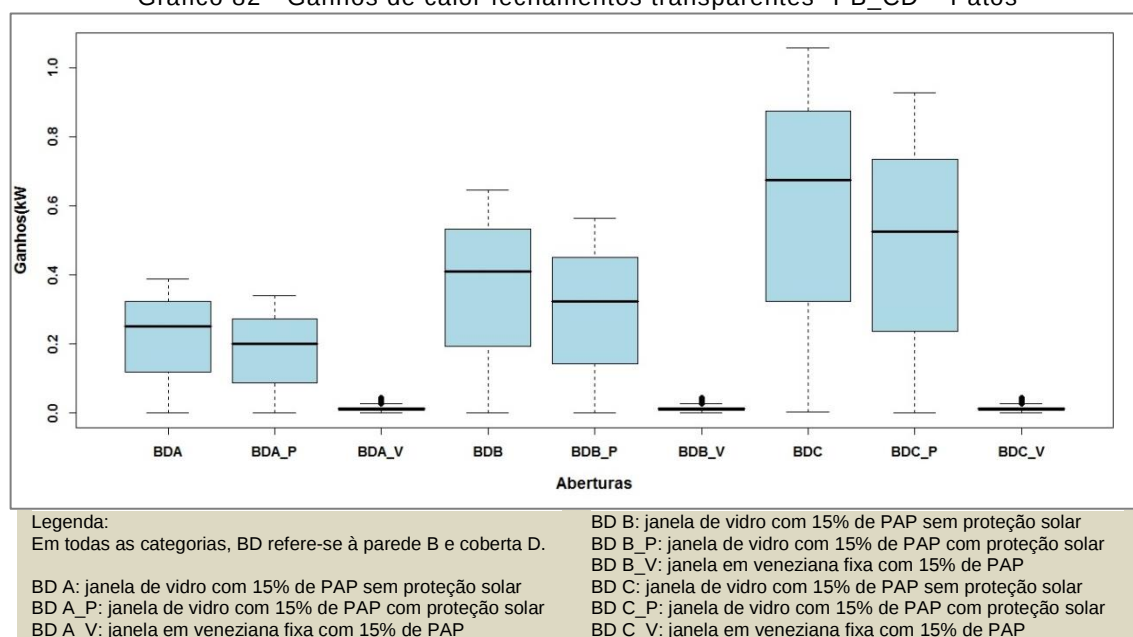
Coeficientes	Pearson	Resultado	Anova	Resultado
	p-value		Pr(>Chi)	
TO x TA	0.004353	Rejeita a Ho	0.004331	Rejeita a Ho
TO x MO	$3,54 \times 10^{-6}$	Rejeita a Ho	$3,55 \times 10^{-6}$	Rejeita a Ho
hora			$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho

Fonte: Autor

5.8.6. Ganhos de Calor dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de melhor desempenho – Comportamento Anual x Teste de Wilcoxon

A segunda variável resposta analisada, os ganhos de calor, foi avaliada a partir da distribuição dos dados horários dos ganhos de calor das aberturas, em kW. Foi observado que houve uma redução nos ganhos de calor nos três tamanhos, quando foi inserida a proteção solar, e mais ainda quando foi utilizada a veneziana fixa, com valores muito próximos da mediana, em todos os tamanhos, conforme Gráfico 82 abaixo.

Gráfico 82 - Ganhos de calor fechamentos transparentes -PB_CD – Patos

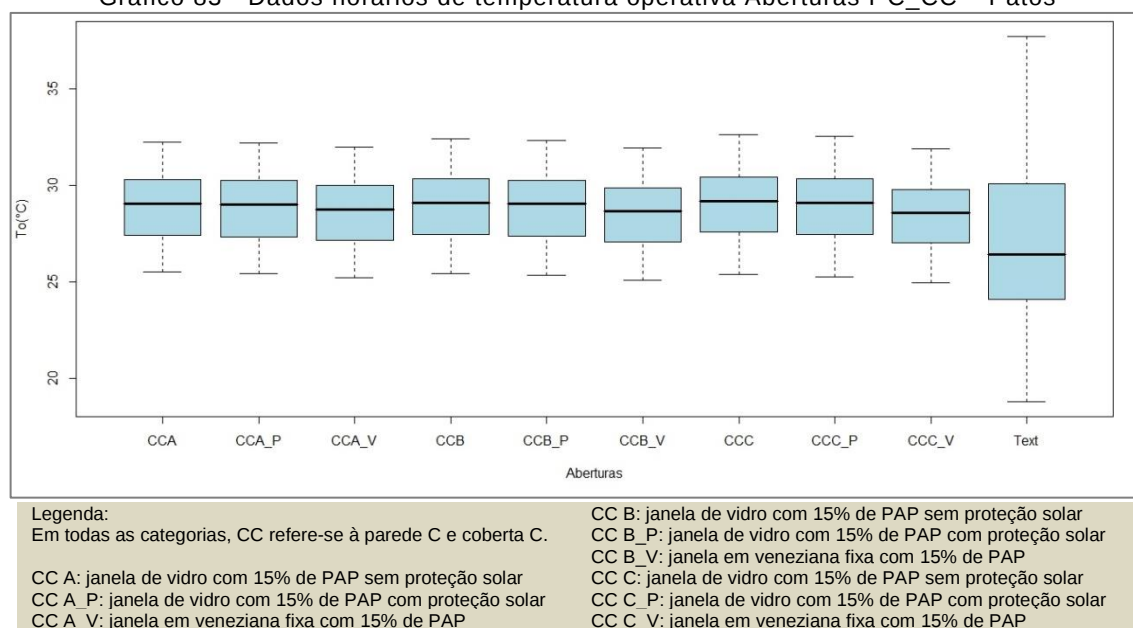


Fonte: Autor

5.8.7. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de pior desempenho – Comportamento Anual

Apartir da distribuição dos dados de temperatura operativa resultantes de cada um dos tipos de aberturas simuladas com esta combinação de parede (C) com coberta (C), foram observados comportamentos semelhantes entre as temperaturas operativas, com um intervalo menor entre os quartis da abertura com veneziana fixa, conforme Gráfico 83.

Gráfico 83 - Dados horários de temperatura operativa Aberturas PC_CC – Patos

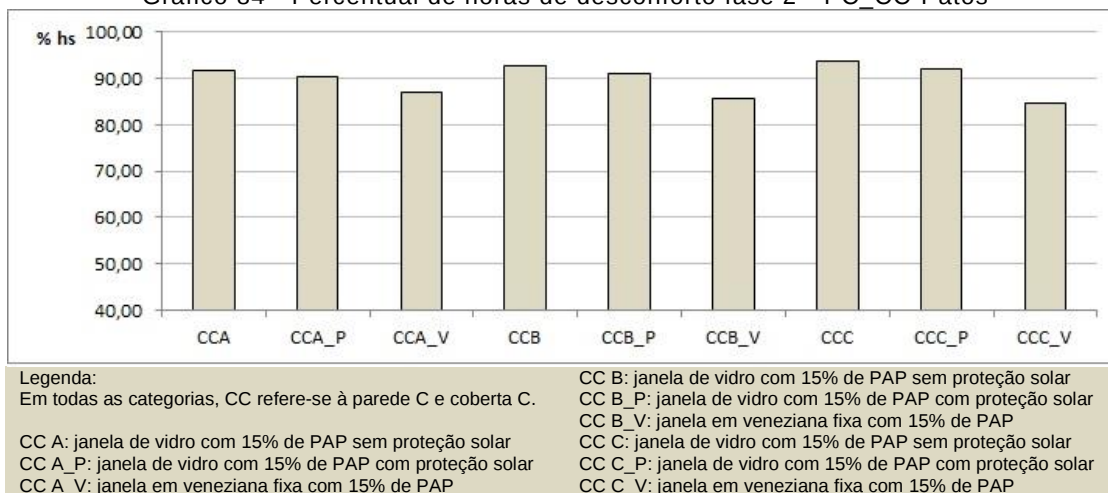


Fonte: Autor

5.8.8. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de pior desempenho – Percentual de horas de desconforto

O método de percentual de horas de desconforto por calor permitiu comparar as diferenças que ocorreram entre as aberturas simuladas com os fechamentos opacos com maior atraso térmico entre as categorias simuladas. Foram constatadas três contribuições relativas às aberturas: 1) o aumento da área da abertura resultou no aumento do desconforto pela temperatura operativa. Houve um aumento, em média, de 1% à medida que as aberturas aumentaram de tamanho. 2) percebe-se que o uso da proteção solar resultou em melhores condições de conforto, com redução nas horas de desconforto em todos os tamanhos de aberturas. 3) Houve uma redução no percentual de horas de desconforto em todos os tamanhos, ao utilizar o modelo com veneziana fixa. O uso da abertura com veneziana fixa de madeira resultou na maior contribuição entre as categorias simuladas com uma redução de 4%, 7% e 9%, respectivamente, em cada tamanho.

Gráfico 84 - Percentual de horas de desconforto fase 2 - PC_CC-Patos

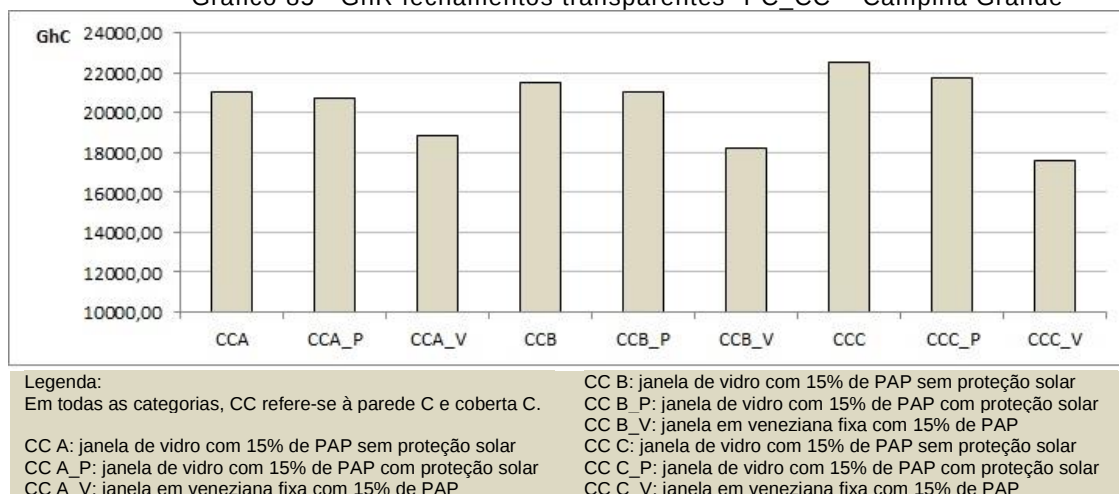


Fonte: Autor

5.8.9. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de pior desempenho – Graus-hora para resfriamento

Foi constatado que o aumento da quantidade de graus-hora para resfriamento aumentou em função do aumento da área da abertura, mas reduziu com o uso da proteção solar, resultando em comportamentos semelhantes ao método de percentual de horas de desconforto, confirmando as observações descritas acima.

Gráfico 85 - GhR fechamentos transparentes -PC_CC – Campina Grande

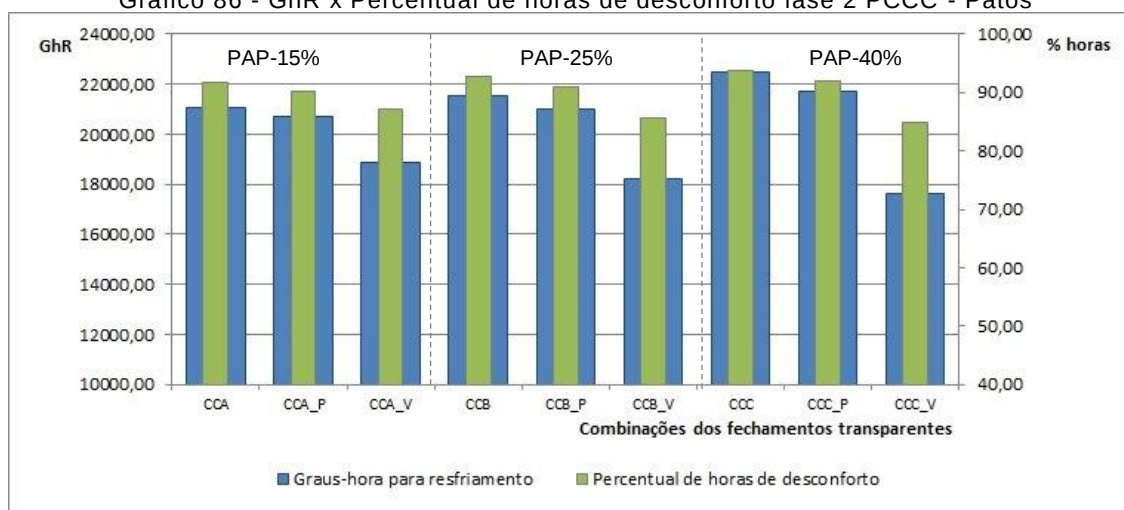


Fonte: Autor

5.8.10. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de pior desempenho – Graus-hora para resfriamento x Percentual de horas de desconforto

O Gráfico 86 confirma que os dois métodos resultaram no mesmo comportamento entre as categorias simuladas. O aumento de graus-hora para resfriamento ocorreu na mesma proporção que o aumento das horas de desconforto, mas em escalas diferentes.

Gráfico 86 - GhR x Percentual de horas de desconforto fase 2 PCCC - Patos



Fonte: Autor

Portanto, pôde-se observar que o aumento da abertura, nas esquadrias com vidro e alumínio, resultou no aumento do desconforto por temperatura operativa e nos maiores

valores de graus-hora para resfriamento, no entanto, o aumento na área efetiva da abertura melhora as condições de conforto, quando utilizada a proteção correta como forma de diminuição da influência da radiação solar.

5.8.11. Temperatura Operativa dos Fechamentos Transparentes com Fechamento opaco de pior desempenho – Regressão Logística

Para verificar a influência das variações das aberturas sobre a temperatura operativa, foi utilizado o modelo de regressão logística, considerando como evento de interesse $y=1$ para os valores abaixo da temperatura base de 26,5°C, a partir da equação abaixo que foi determinada para este modelo.

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1.TA2 + \beta_2.TA3 + \beta_3.MO2 + \beta_4.MO3 \quad (\text{Equação 28})$$

Foram determinadas as estimativas de cada combinação e os coeficientes de significância, comparados com os modelos de referência: TA, janela com PAP de 15%, e MO, janela de vidro sem proteção solar, a partir do teste de Wald. Quanto ao tamanho das aberturas, não houve diferença significativa entre as aberturas de 15% e 25% de PAP. Quanto ao modelo, todas as categorias demonstraram diferença significativa, rejeitando a hipótese nula, conforme Tabela 38 abaixo.

Tabela 38 - Coeficientes de significância To fase 2 PCCC- Patos

Coeficientes	Estimativa	Pr(> z)	Resultado
(Intercept)	-1,830764	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho
factor(TA)2	-0,018239	0,5312	Não rejeita a Ho
factor(TA)3	-0,060773	0,0385	Rejeita a Ho
factor(MO)2	0,235352	$3,44 \times 10^{-13}$	Rejeita a Ho
factor(MO)3	0,759094	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho
hora	-0,061593	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho

Fonte: Autor

Em seguida, foram desconsiderados os valores de TA(2), para serem determinadas as estimativas resultantes apenas pelas categorias que rejeitaram a hipótese nula no teste de Wald, e em seguida, foram calculados os exponenciais, conforme Tabela 39 abaixo.

Tabela 39 – Modelo simplificado de coeficientes de significância To PCCC – Patos

Coeficientes	Estimativas	Pr(> z)	Resultado	Exponenciais	Chance
(Intercept)	-1,830764	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,15	
factor(TA)3	-0,051685	0,0431	Rejeita a Ho	0,95	Reduz em 5%

factor(MO)2	0,235351	$3,44 \times 10^{-13}$	Rejeita a Ho	1,26	Aumenta em 26%
factor(MO)3	0,759089	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	2,14	Aumenta em 114%
hora	-0,061593	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,94	

Fonte: Autor

A equação da regressão logística demonstra que o uso das aberturas com 40% de PAP, reduziu a chance de conforto em 5%, quando comparada com o modelo base, com 15%. Quanto ao modelo, observou-se que o uso da proteção solar aumentou em 26% a chance de conforto, enquanto o uso de esquadrias com veneziana fixa de madeira aumentou a chance em mais duas vezes mais que o modelo base, com esquadria de vidro e alumínio, sem proteção solar.

$$\left(\frac{p}{1-p} \right) = e^{\beta_0 + \beta_1 TA3 + \beta_2 MO3 + \beta_3 Hora} = e^{0,15 + 0,95.TA3 + 1,26.MO2 + 2,14.MO3 + 0,94.Hora} \quad (\text{Equação 29})$$

Para diagnosticar as irregularidades do modelo, foram realizadas duas análises de resíduos: 1) o resíduo de Pearson (teste qui-quadrado) e 2) o teste de hipótese de análise de variância (Anova), conforme a Tabela 40.

Tabela 40 – Análise de resíduos da regressão logística fase 2 PBCB– Patos

Coefficientes	Pearson	Resultado	Anova	Resultado
	p-value		Pr(>Chi)	
TO x TAbin	0.04925	Rejeita a Ho	0.04845	Rejeita a Ho
TO x MObin	$5,72 \times 10^{-12}$	Rejeita a Ho	$5,01 \times 10^{-12}$	Rejeita a Ho
hora			$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho

Fonte: Autor

5.9. CONCLUSÕES SOBRE OS RESULTADOS DE PATOS

Pôde-se observar que os resultados obtidos para Patos, em conformidade com os métodos de análise utilizados, apresentam comportamento semelhante àqueles verificados para João Pessoa e Campina Grande. Sobre os fechamentos opacos, observou-se que os elementos com alto índice de transmitância térmica resultaram nos menores percentuais de desconforto por calor, enquanto, os elementos com maior inércia térmica resultaram nos piores desempenhos.

A coberta de fibrocimento sem forro, apresentou os maiores intervalos entre os quartis e as maiores variações de temperatura operativa, ou seja, representa a solução de coberta, dentre aquelas analisadas neste trabalho, com melhor desempenho térmico. Quanto aos fechamentos opacos verticais, foi constatado que a parede com maior inércia

térmica (parede dupla de tijolos de oito furos assentadas na maior dimensão) resultou nos piores desempenhos em relação ao percentual de horas que estiveram acima da temperatura base, ao ser combinada com todas as cobertas. Já a parede com maior transmitância térmica indicou os melhores desempenhos térmicos.

Em relação às aberturas, simuladas na fase 2, não foi observada influência significativa sobre a temperatura operativa, resultando em percentuais de horas de desconforto muito semelhantes. Ao variar o tipo de abertura na combinação de fechamentos opacos, da parede (B) com a coberta (D), com maiores valores de transmitância térmica, houve uma redução com o uso de proteção solar e no uso da veneziana fixa, quando comparados com o modelo base nos tamanhos de 25% e 40%.

Como esperado, quanto maior o percentual de área de abertura maior o ganho de calor. O uso de proteção solar reduziu o ganho de calor em todos os tamanhos de aberturas, e o uso de veneziana fixa resultou nos mais baixos valores, com ganhos de calor que tendem a zero.

5.10. DISCUSSÕES SOBRE OS RESULTADOS

Para atingir o objetivo desta pesquisa - analisar a influência das recomendações do Zoneamento Bioclimático Brasileiro, presente na norma 15.220 (ABNT, 2005), sobre o desempenho térmico da envoltória de edificações de interesse social, foram aplicados métodos de avaliação sobre um modelo de edificação residencial unifamiliar ventilado naturalmente, em três condições climáticas distintas: João Pessoa, Campina e Patos.

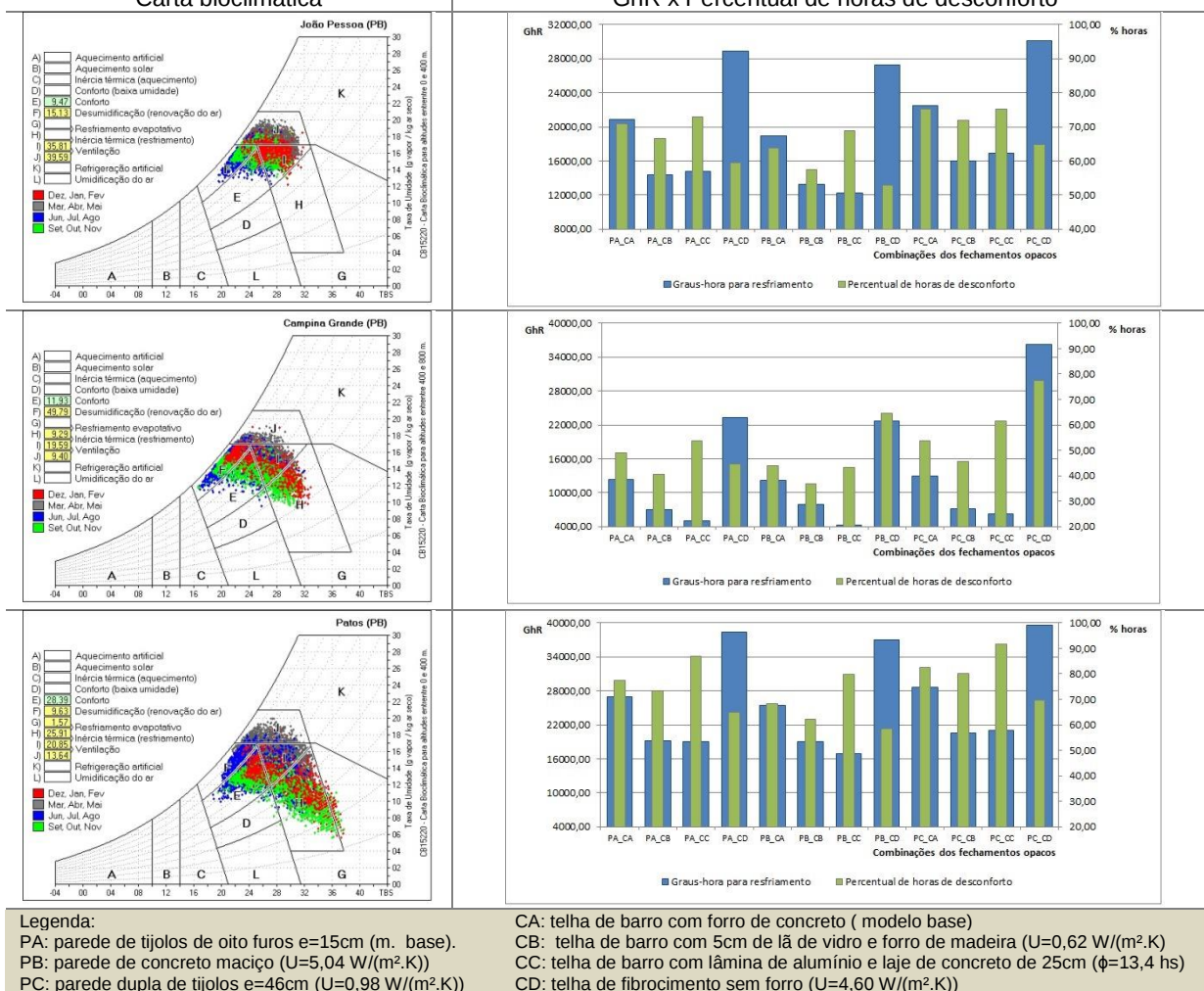
Variáveis em relação à envoltória (envelope) da edificação foram analisadas, baseadas nas recomendações da referida norma para a zona 8, onde estão localizadas as três cidades, divididas em: Fechamentos opacos e Fechamentos transparentes. Os métodos utilizados para a análise das condições de conforto foram: Comportamento Anual dos dados horários de Temperatura operativa, percentual de horas de desconforto anual, Graus hora para resfriamento e Regressão Logística. Considerando os ganhos de calor dos componentes, foram ainda utilizados os seguintes métodos: Comportamento Anual dos dados horários de ganhos de calor e Teste de hipótese de Wilcoxon.

No Quadro 7, os resultados dos índices de conforto analisados em cada cidade foram justapostos. Percebe-se que os desempenhos térmicos resultantes dos fechamentos opacos foram semelhantes para o clima de João Pessoa e Patos, mas demonstraram diferenças significativas ao serem simulados no clima de Campina Grande.

Considerando os fechamentos opacos verticais nas três cidades, observa-se que o uso das paredes com maior inércia térmica aumentou o percentual de horas de desconforto (para todas as combinações de cobertas simuladas). A elevação da temperatura operativa, provavelmente, deve-se em função do elevado atraso térmico. Sendo assim, pode-se concluir que a recomendação da norma para o uso de paredes leves mostrou-se adequada para as três cidades estudadas, posto que, as soluções de maior atraso térmico, apresentaram os piores desempenhos térmicos, em função do calor acumulado.

Paralelamente, o uso da parede com maior transmitância térmica resultou nos melhores desempenhos de horas de conforto. A parede de concreto maciço, com $U = 5,04 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$, apresentou menor número de horas de desconforto (para todas as combinações de cobertas simuladas). Em João Pessoa e Campina Grande, esta parede foi responsável por uma redução de 12%, em média, no percentual de desconforto quando comparada com a parede (C), com menor transmitância térmica. Em Patos, a parede com maior transmitância térmica, reduziu em média 14% este percentual de desconforto.

Quadro 7 - Comparação entre cartas bioclimáticas e os desempenhos térmicos
Carta bioclimática



Considerando que a norma 15.220 (ABNT, 2005) sugere o uso de paredes leves refletoras para a zona 8, foi observado que, inclusive, o uso de paredes com transmitância térmica maior que o recomendado pela norma resultou no aumento do conforto. Os critérios recomendados para as paredes leves refletoras, de acordo com esta norma, indicam valores de transmitância térmica com $U \leq 3,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, e atraso térmico $\phi \leq 4,3 \text{ hs}$. A parede de concreto maciço, analisada neste trabalho possui $U = 5,04 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Por outro lado, em relação à cobertura, foram observados desempenhos distintos, entre as cidades estudadas em relação ao percentual de horas de desconforto resultante das combinações de fechamentos opacos simulados. Nas cidades de João Pessoa e Patos, a cobertura com isolamento térmico resultou nos piores desempenhos em horas de desconforto. A cobertura com isolamento, formada por telha de barro, lâmina de alumínio e laje de concreto, com valor de $U = 1,03 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, e 13,4 horas de atraso térmico, aumentou em 2% as horas de desconforto em João Pessoa e em 11% em Patos, quando comparadas em relação ao modelo base, com telha de barro e forro de concreto.

João Pessoa possui uma temperatura média anual de $26,02^\circ\text{C}$, com intervalo médio de 5°C de amplitude térmica e umidade média anual de 76,51%. Patos possui uma temperatura média anual de $27,24^\circ\text{C}$, com um intervalo médio de 12°C de amplitude térmica e umidade relativa média de 62,04 %. Apesar da elevada amplitude térmica, Patos também não demonstrou melhoria nas condições de conforto com o uso de isolamento térmico na cobertura, por apresentar temperaturas muito elevadas.

A cobertura de fibrocimento sem forro, que representa o maior valor de transmitância indicada pela norma para as coberturas, resultou no maior percentual de horas dentro do limite de conforto em João Pessoa e Patos, considerando edifícios ventilados naturalmente. Em João Pessoa, a cobertura com maior transmitância térmica ($U = 4,60 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$) reduziu, em média, 14% das horas de desconforto por calor, esta apresenta transmitância térmica superior à recomendação da norma NBR 15.220 (ABNT, 2005), equivalente a $U \leq 2,30 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$.

No caso de Campina Grande, as coberturas apresentaram comportamento distinto, em relação à João Pessoa e Patos. Os melhores desempenhos ocorreram na cobertura com menor transmitância térmica, formada por telha de barro, lã de vidro e forro de madeira. Ao comparar as coberturas, em relação ao valor de transmitância térmica, verificou-se que quanto maior o seu valor, maior é o percentual de horas acima da temperatura limite de 25°C .

Pode-se afirmar que nas condições climáticas de Campina Grande, a recomendação da norma NBR 15.220 (ABNT, 2005), com relação ao limite de transmitância

térmica demonstrou ser adequado, pois foi observado que quanto menor a transferência de calor da cobertura, melhor o desempenho térmico da envoltória. Campina Grande possui uma temperatura média anual de 23,62 °C, com 9°C de intervalo de amplitude térmica e umidade média de 78,16%. Com um clima mais ameno que as outras duas cidades estudadas, sua amplitude térmica contribuiu para os melhores desempenhos de componentes com menores valores de transmitância térmica.

Sobre a aplicação do método De Dear e Brager para João Pessoa, a combinação com maior transmitância térmica (parede B_coberta D - concreto maciço e fibrocimento sem forro) resultou em 76% de conforto, com 24% com necessidade de ventilação, enquanto a combinação com isolamento térmico (parede C_coberta C - parede dupla de tijolos com telha de barro + lâmina de alumínio e laje de concreto) resultou em 58% de conforto, com 41% de necessidade de ventilação. Estes percentuais confirmam a probabilidade resultante da regressão logística, que aumenta em 133% a chance de conforto pela parede de concreto maciço e cobertura de fibrocimento sem forro.

Em Patos, considerando o método De Dear e Brager, a combinação com maior transmitância térmica (parede B_coberta D – concreto maciço e fibrocimento sem forro) resultou em 48% de conforto, com 13% com necessidade de ventilação e 35% por calor. Esta combinação aumentou a chance de conforto em 55% em relação ao modelo base. Já a combinação com isolamento térmico (parede C_coberta C – parede dupla de tijolos com telha de barro + lâmina de alumínio e laje de concreto) resultou em 44% de conforto, com 54% com necessidade de ventilação e 1,6% por calor, reduzindo a chance de conforto em 71%, conforme modelo de regressão logística.

Na cidade de Campina Grande, a combinação com melhor desempenho térmico (parede B_coberta B – parede de concreto maciço e telha de barro com lã de vidro e forro de madeira) resultou em 54% de conforto, com 14% com necessidade de ventilação, 30% por frio e 1% por calor. Esta combinação aumentou a chance de conforto em duas vezes, quando comparada ao modelo base. Quanto à combinação com isolamento térmico (parede C_coberta C - parede dupla de tijolos com telha de barro + lâmina de alumínio e laje de concreto), segundo o método de De Dear, resultou em 99% de conforto, com 1% por frio. Esta combinação reduziu a chance de conforto em 71%, pelo modelo de regressão logística.

Pode-se observar que os resultados que consideram os percentuais de horas de desconforto, isoladamente, não representam as melhores condições, como pode ser observado, principalmente, em Patos.

Quadro 8 - Comparação entre os resultados da fase 1 nas três cidades

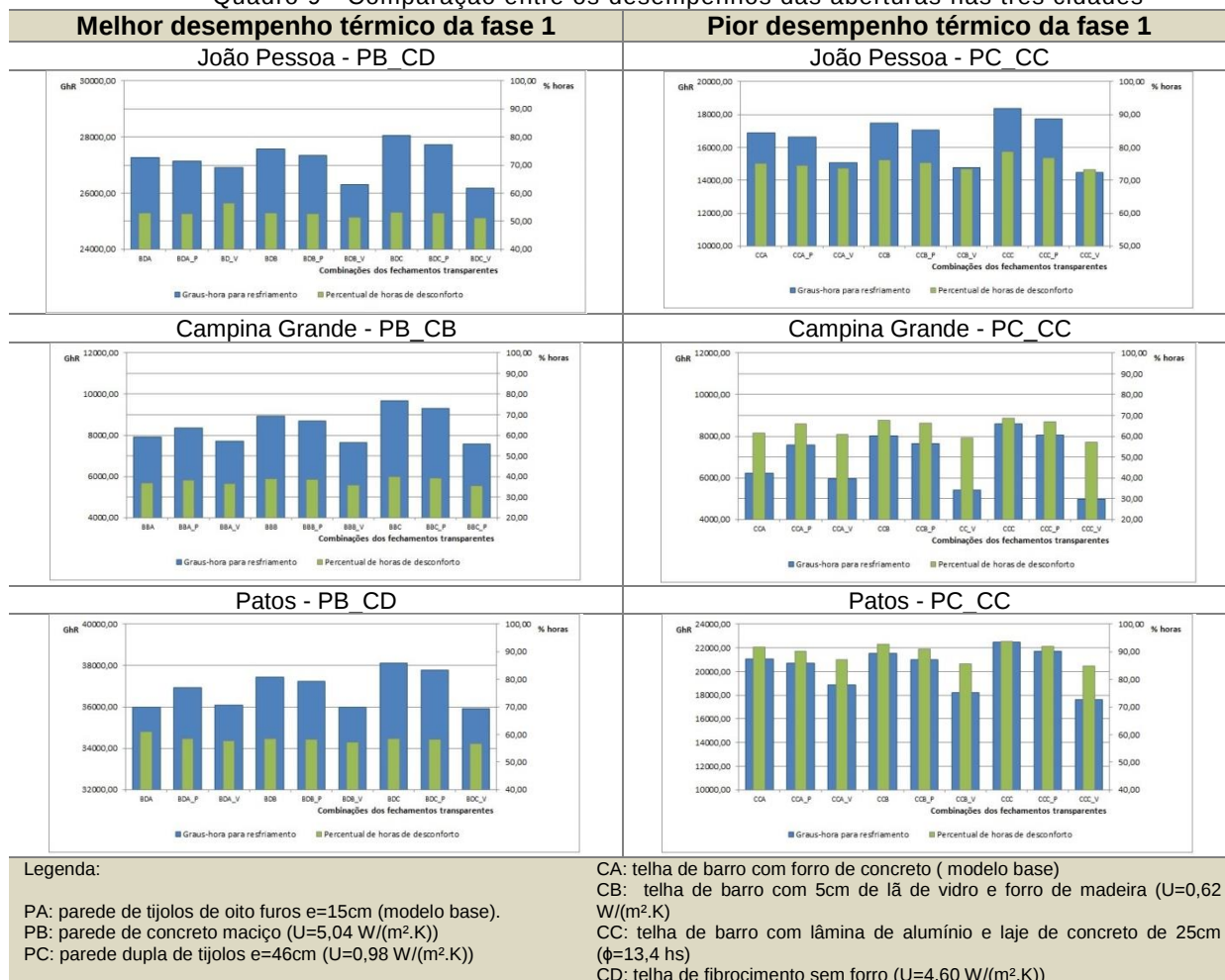


Fonte: Adaptado de NEGREIROS (2010)

O melhor desempenho não resulta, simultaneamente, no menor percentual de horas de desconforto e nos menores graus-hora para resfriamento. Combinações que resultaram em desempenhos intermediários aproximam-se das melhores condições de conforto, apesar de não representarem os melhores desempenhos nos métodos utilizados nesta pesquisa.

Ao comparar os desempenhos resultantes das aberturas, simulados na fase 2, foi constatado que este componente exerceu a menor influência entre os parâmetros recomendados pela norma de desempenho térmico NBR 15.220 (ABNT, 2005) em relação à envoltória. Pôde-se constatar que, nas três cidades, o comportamento de graus-hora para resfriamento resultou em uma curva semelhante ao comportamento do percentual de horas de desconforto, indicando principalmente que o aumento no tamanho da abertura reduz a condição de conforto, pela temperatura operativa, em todas as combinações, como pode ser observado no quadro 9.

Quadro 9 - Comparação entre os desempenhos das aberturas nas três cidades



Fonte: Autor

A recomendação da norma 15.220 (ABNT, 2005) para a zona 8, sobre o tamanho das aberturas, sugere áreas acima de 40% em relação ao piso do ambiente (PAP). Em todos os casos simulados, o aumento da área da abertura resultou no aumento dos ganhos de calor e dos valores de graus-hora de resfriamento pela abertura e, conseqüentemente, o aumento de desconforto pela temperatura operativa no ambiente. Os melhores desempenhos são referentes à adoção de aberturas com 40% de PAP) conjuntamente com proteção solar e, principalmente, do tipo venezianas (que permitem ventilação constante).

6. CONCLUSÕES

Este trabalho trata da avaliação do desempenho térmico de envoltórias de edificações residenciais de interesse social, localizadas em 3 diferentes localidades do estado da Paraíba. As cidades escolhidas - João Pessoa, Campina Grande e Patos, segundo o Zoneamento Bioclimático Brasileiro, presente na norma de desempenho térmico NBR 15.220 (ABNT, 2005), estão localizadas na zona bioclimática 8, embora possuam características climáticas distintas.

Os principais critérios de análise da envoltória foram: a transmitância térmica e o atraso térmico (isolamento e inércia térmica), considerando os valores mínimos e máximos indicados para a zona 8 (Norma de desempenho térmico - NBR 15.220, 2005).

A envoltória tomada como referência, a partir das soluções recorrentes nos locais em estudo, nomeada como parede (A) e que consiste em parede com tijolos de oito furos, possui $U = 2,24 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ e atraso térmico $\phi = 3,7 \text{ hs}$, apresentou desempenho menos favorável quando comparada à solução de maior transmitância, em todas as cidades estudadas. Conclui-se que para as cidades de João Pessoa, Campina Grande e Patos, em edifícios ventilados naturalmente, os limites estabelecido pela norma de desempenho térmico poderiam ser ampliados, pois verificou-se que quanto maior o valor de transmitância térmica das paredes, melhores são as condições de conforto no ambiente interno, nas condições de padrão de consumo e ventilação natural pré-determinados.

Quanto à inércia térmica, apesar de ser uma estratégia indicada para as três cidades pelas cartas bioclimáticas, o uso desta característica não é recomendado pela norma de desempenho para a zona 8. A partir das simulações, a parede dupla com 46cm que possui o maior atraso térmico, resultou nos piores desempenhos térmicos, reduzindo a probabilidade de conforto em todas as cidades. Vale salientar que, as quantidades de graus-hora de resfriamento destas combinações são as mais baixas, resultando nos melhores desempenhos térmicos na aplicação deste método.

Foi constatado ainda, que as combinações de componentes com mesmas características, por exemplo, parede e coberta com maior transmitância térmica não

resultam necessariamente no melhor desempenho térmico da envoltória, mas sua influência mútua e o uso de características físicas distintas são mais indicados na busca por resultados mais adequados, ou seja, as recomendações dos fechamentos opacos devem ser consideradas em conjunto, por exemplo, a coberta com maior inércia térmica resultou em melhores condições de conforto em Campina Grande. A mesma coberta, combinada com uma parede de maior inércia térmica, resultou em um desempenho menos favorável.

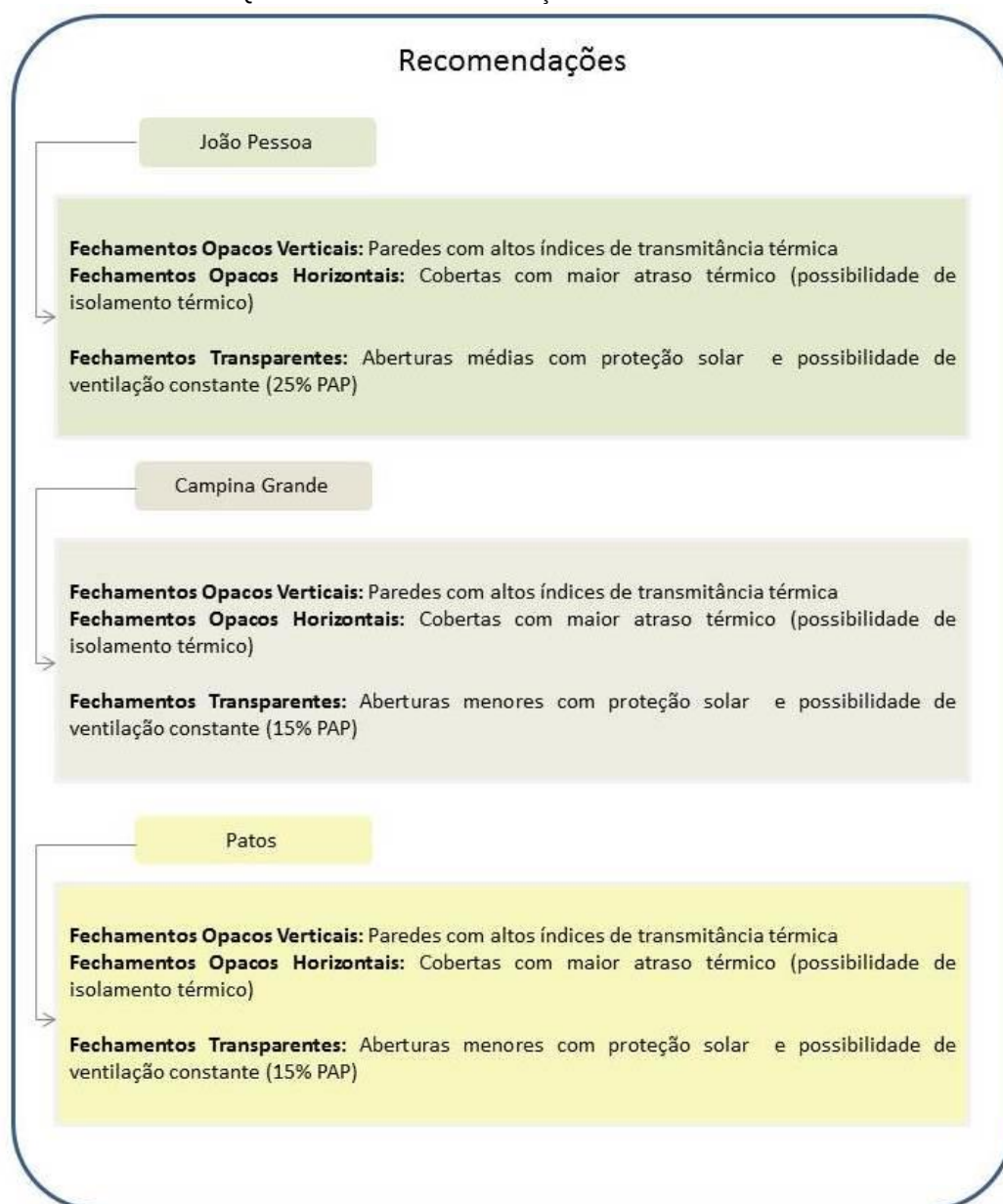
Pode-se afirmar que as recomendações sugeridas pela norma em relação ao valor de transmitância térmica dos fechamentos opacos horizontais deveriam ser melhor adequados, para edificações de interesse social em João Pessoa e Patos, posto que há questões paralelas de igual importância, referente à elevação excessiva da temperatura interna na condição de alta transmitância térmica. Desta maneira, a quantidade de graus-hora de resfriamento acumulados caracteriza sua desvantagem em função da facilidade na transferência de calor entre o ambiente interno e externo, que permite o aumento excessivo da temperatura interna no interior da edificação.

Ao comparar os desempenhos resultantes da simulação computacional com as cartas bioclimáticas, verifica-se que a estratégia para João Pessoa é ventilação associada à inércia térmica, contudo, os fechamentos opacos com menores valores de transmitância térmica aumentaram as condições de desconforto no ambiente. Para Campina Grande a estratégia indicada é a mesma, porém sendo mais compatível com os resultados obtidos com as simulações, mas somente nos fechamentos opacos horizontais.

Outra consideração importante refere-se ao isolamento térmico, inadequado para as condições climáticas estudadas. Principalmente em João Pessoa e Patos, o isolamento térmico resultou em condições mais homogêneas no interior da edificação nos horários mais quentes, por reduzir as oscilações térmicas do ambiente, mantendo a temperatura interna com pequenos intervalos entre o dia e a noite, mas com temperaturas em todos os horários acima do limite de conforto.

Campina Grande demonstrou melhor desempenho em relação ao isolamento térmico. O desempenho térmico resultante da menor transmitância térmica simulada (coberta com telha de barro, lã de vidro e forro de madeira) indica que a recomendação da norma para zona 8, não se aplica a esta cidade. Portanto, a hipótese de que, dada à dimensão das áreas cobertas por uma mesma zona, algumas diretrizes construtivas determinadas para esta zona poderiam não ser as mais adequadas, foi confirmada.

Quadro 10 - - Recomendações sobre envoltória



Fonte: Autor

Com os resultados desta pesquisa, considerando os métodos de análise aplicados, conclui-se que há necessidade de ajuste nas recomendações construtivas presentes na norma de desempenho térmico NBR 15.220 (2005).

As aberturas representaram o parâmetro com menor influência sobre a temperatura operativa. A recomendação construtiva sobre aberturas, sugerida pela norma 15.220 (ABNT, 2005) para a zona 8, indica grandes aberturas para ventilação natural, ou seja, o critério da norma sugere aberturas com mais de 40% de percentual da área do piso do ambiente. Contudo, se esta não for sombreada, o aumento da abertura resulta na redução do índice de conforto, para as três cidades analisadas. Por outro lado, considerando que os ambientes

analisados são ventilados naturalmente, menor área da abertura implica na redução da ventilação natural. Sendo assim, o uso de aberturas com tamanhos maiores, por exemplo, 25% de PAP com proteção solar, equivale ao comportamento de abertura menor sem proteção solar. Em resumo, os melhores desempenhos resultam do correto uso de proteção solar nas aberturas, associado à maior área de abertura.

A dificuldade em encontrar um método adequado para avaliar o desempenho térmico da envoltória nas condições climáticas escolhidas foi uma limitação nesta pesquisa, pois a maior parte dos estudos desenvolvidos nesta área é baseada em definições para climas mais amenos, inclusive os algoritmos utilizados nos programas de simulação computacional, que utilizam referências que não refletem nossa realidade.

Foi observado que a comparação entre os métodos de Percentual de horas de desconforto e Graus-hora para Resfriamento indicaram resultados intermediários mais condizentes com o clima de João Pessoa, por exemplo. Portanto, pôde-se constatar que cidades com baixas amplitudes térmicas poderiam ter resultados mais satisfatórios sobre o desempenho térmico da envoltória a partir da justaposição dos dois métodos, eliminando as condições extremas nos dois casos.

O uso da simulação para avaliar o conforto térmico, resultante das variações dos componentes da envoltória, permitiu uma compreensão maior do comportamento das temperaturas internas do ambiente ao longo do ano. A utilização de condições dinâmicas que consideram a variação sazonal e, principalmente, a possibilidade de adaptação do usuário no intuito de melhorar as condições térmicas do ambiente, mostrou ser mais adequado do que o uso da carta bioclimática, como ferramenta de definição das diretrizes construtivas para a norma de desempenho térmico NBR 15.220 (ABNT, 2005).

Considerando o uso de modelos numéricos para avaliação de desempenho térmico, recomenda-se a continuidade deste estudo considerando o avanço em relação a algumas limitações encontradas. É importante o uso de uma edificação utilizada como protótipo, que permita o monitoramento das condições climáticas e a verificação das variáveis que influem de maneira significativa, como forma de calibração dos modelos. Outra recomendação está relacionada à investigação de especificações mais detalhadas sobre condições de ventilação natural, buscando atualizações sobre algoritmos validados para o Brasil, capazes de controlar manualmente parâmetros adequados para as condições climáticas das cidades estudadas, tais como indica Stephan, Bastide e Wurtz (2011), por exemplo, sobre a otimização do desempenho das aberturas para edifícios ventilados naturalmente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro. 2005.

ABNT. **NBR 15575 - Desempenho térmico de edificações - Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos**. Rio de Janeiro. 2010.

ABOULNAGA, M. M.; ELSHESHTAWY, Y. H. Environmental sustainability assessment of buildings in hot climates: the case of the UAE. **Renewable Energy**, 2001. 553-563.

AHMAD, Q. T.; SZOKOLAY, S. V. **Thermal design tools in Australia a comparative study of TEMPER, CHEETAH, ARCHIPAK and QUICK**. Department of Architecture - University of Queensland. Brisbane.

AKUTSU, M.; BRITO, A. C. D.; CHIEPPE, C. P. O efeito da capacidade térmica e da resistência térmica de paredes no desempenho térmico de habitação na cidade de São Paulo. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Juiz de Fora, Outubro 2012. 3220-3226.

AL-SANEA, S. A.; ZEDAN, M. F.; AL-HUSSAI, S. N. Effect of masonry material and surface absorptivity on critical thermal mass in insulated building walls. **Applied Energy**, 2013. 1063-1070.

AMORIM, C. N. D. **Desempenho térmico de edificações e simulação computacional no contexto da arquitetura bioclimática: estudo de casos na região de Brasília**. Universidade de Brasília (Dissertação de mestrado). Brasília, p. 220. 1998.

ANDRADE, S. F. D. **Estudo de Estratégias Bioclimáticas no Clima de Florianópolis**. Universidade Federal de Santa Catarina (Dissertação de mestrado). Florianópolis. 1996.

ASHRAE. **Standard-55P: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc. Atlanta. 2003.

ASHRAE. **Standard 140: Standard method of test for the evaluation of building energy analysis computer programs**. American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc. Atlanta. 2004.

ASHRAE. **Standard 90.1: Energy conservation in new building design**. American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers. Atlanta. 2004.

ASHRAE. **Standard 90.2: Energy efficient of Low-Rise Residential Buildings**. American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers. Atlanta. 2004.

ASTE, N.; ANGELOTTI, A.; BUZZET, M. The influence of the external walls thermal inertia on the energy performance of well insulated buildings. **Energy and building**, 41 2009. 1181-1187.

AULICIEMS, A.; SZOKOLAY, S. V. Thermal Comfort. In: ARCHITECTURE, U. O. Q. D. O. **Design tools and techniques**. 2ª. ed. [S.l.]: PLEA: Passive and Low Energy Architecture International, 1997. Cap. 3.

BARBIRATO, G. M. et al. Diretrizes Bioclimáticas para o planejamento urbano a partir da aplicação de metodologias de análise do clima local. **Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado, Sustentado**, Faro, 2010.

BARBOSA, M. J. et al. Aperfeiçoamento e desenvolvimento de novos métodos de avaliação de desempenho para subsidiar a elaboração e revisão de normas técnicas. **Coletânea Habitar - Normalização e Certificação na Construção Habitacional**, v. 3, 2003.

BARELLI, L.; BIDINI, G.; PINCHI, E. M. Evaluation of the corrected seasonal energy demand, for buildings classification, to be compared with a standard performance scale. **Energy and Buildings**, 41 2009. 958-965.

BARRIOS, G. et al. Envelope wall/roof thermal performance parameters for non air-conditioned buildings. **Energy and Buildings**, 50 2012. 120-127.

BEKKOUCHE, S. M. et al. Introduction to control of solar gain and internal temperatures by thermal insulation, proper orientation and eaves. **Energy and Buildings**, 2011. 2414-2421.

BILBAO, J. et al. Test Reference Year Generation and Evaluation Methods in the Continental Mediterranean Area. **Journal of Applied Meteorology**, Valladolid, 2003.

BOGO, A. J. et al. **Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico**. Universidade Federal de Santa Catarina (Relatório Interno). Florianópolis. 1994.

BORGESON, S.; BRAGER, G. Comfort standards and variations in exceedance for mixed-mode buildings. **Building Research & Information**, London, 22 março 2011. 118-133.

BRASIL. **Balanço Energético Nacional**. Ministério de Minas e Energia. [S.l.], p. 267. 2011.

BUSTAMANTE, W. **La Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social**. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Programa País de Eficiencia Energética. Santiago, p. 203. 2009.

CÂNDIDO, C. et al. Towards a Brazilian standard for naturally ventilated buildings: guidelines for thermal and air movement acceptability. **Network for comfort and energy use in buildings**, London, April 2010.

CARLO, J. C. **Processamento de arquivos climáticos para simulação do desempenho energético de edificações**. Laboratório de Eficiência energética em Edificações - Labeee. Florianópolis, p. 228. 2005.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência e Energética do envoltório de edificações não-residenciais**. Universidade Federal de Santa Catarina (Tese de Doutorado). Florianópolis, p. 215. 2008.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência de edifícios - parte 1: método prescritivo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, 2010.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios - parte 2: método de simulação. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, 2010.

CARLUCCI, S.; PAGLIANO, L. A review of indices for the long-term evaluation of the general thermal comfort conditions in buildings. **Energy and Buildings**, 53 2012. 194-205.

CARVALHO, H. J. M. D. **Parâmetros Climatológicos para o estudo do balanço termo-energético de edificações da cidade de João Pessoa-PB**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (Dissertação de mestrado). Natal. 2001.

CHENG, V.; NG, E.; GIVONI, B. Effect of envelope colour and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate. **Solar Energy**, 78 2005. 528-534.

CODEIRO, G. M.; ANDRADE, M. G. D. Transformed generalized linear models. **Journal of Statistical Planning and interference**, V. 139 2009. 2970-2987.

CORDEIRO, G. M.; DEMÉTRIO, C. G. B. **Modelos Lineares Generalizados e Extensões**. Piracicaba: [s.n.], 2008.

DAMASCENO, S. R. G. **Desempenho térmico e habitação: uma avaliação comparativa no contexto climático da zona bioclimática 8**. UFAL (dissertação de mestrado). Maceió, p. 144. 2011.

DE DEAR, R. J.; BRAGER, G. S. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. **Energy and Buildings**, 31 2002. 549-561.

DEVORE, J. L. **Probanilidade e estatística: para engenharia e ciências**. São Paulo: Pioneira Thomson Learnig, 2006.

DI PERNA, C. et al. Influence of the internal inertia of the building envelope on summertime comfort in buildings with high internal heat loads. **Energy and buildings**, 43 2011. 200-206.

EMMANUEL, R.; ROSENLUND, H.; JOHANSSON, E. Urban shading - a design option for the tropics? A study in Colombo, Sri Lanka. **International Journal of Climatology**, 5 Setembro 2007. 1995-2004.

ENERGYPLUS. **EnergyPlus Auxiliary Programs**. <http://www.eere.energy.gov>. [S.l.]. 2010.

FERRARI, S.; ZANOTTO, V. Office buildings cooling need in the Italian climatic context: assessing the performances of typical envelopes. **Energy Procedia**, 30 2012. 1099-1109.

FRIESS, W. A. et al. Wall insulation measures for residential villas in Dubai: A case study in energy. **Energy and Buildings**, 44 2012. 26-32.

GASPARELLA, A. et al. Thermal dynamic transfer properties of the opaque envelope: Analytical and numerical tools for the assessment of the response to summer outdoor conditions. **Energy and Buildings**, 43 2011. 2509-2517.

GHISI, E. et al. Normalização em conforto ambiental: desempenho térmico, lumínico e acústico de edificações. **Coletânea Habitar ANTAC**, Porto Alegre, 2003.

GIVONI, B. Performance and applicability of passive and low-energy cooling systems. **Energy and buildings**, n. 17, p. 177-199, 1991.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and buildings**, n. 18, p. 11-23, 1992.

GOULART, S. V. G. **Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações em Florianópolis**. Universidade Federal de Santa Catarina (Dissertação de mestrado). Florianópolis. 1993.

GOULART, S. V. G. **Levantamento da experiência internacional: experiência européia - Relatório n200520**. Labeee/UFSC. Disponível em www.labeee.ufsc.br. Florianópolis. 2005.

GOULART, S. V. G. **Levantamento da experiência internacional: Experiência nos Estados Unidos - Relatório n 200508**. Labeee/UFSC. Disponível em www.labeee.ufsc.br. Florianópolis. 2005.

GOULART, S. V. G. **Levantamento da experiência internacional: experiência australiana e discussão final - Relatório n 200702**. Labeee/UFSC. Disponível em www.labeee.ufsc.br. Florianópolis. 2007.

HINES, W. et al. **Probabilidade e estatística na engenharia**. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

HOSMER, D. W.; LEMESHOW, S. **Applied Logistic Regression**. 2ª. ed. New York: John Wiley & Sons, 2000.

HUSSEIN, I.; M. HAZRIN A. RAHMAN. Field study on thermal comfort in Malaysia. **European Journal of Scientific Research**, 2009. 127-145.

IBGE. Instituto brasileiro de geografia e estatística. **IBGE**, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>>. Acesso em: janeiro 2012.

INMETRO. **Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos (RTQ-C)**. Rio de Janeiro. 2009.

INMETRO. **Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R)**. Rio de Janeiro. 2010.

JANDA, K. Worldwide status of energy standards for buildings: a 2009 update. **ECEEE 2009 Summer Study| Art! Innovate! Deliver! Reducing energy Demand Sustainably**, La Colle sur Loup, France, 1-6 june 2009. 485 - 491.

JANDA, K. B.; BUSCH, J. F. Worldwide status of energy standards for buildings. **Energy** 19, 1994. 27-44.

KONG, X. et al. Research on the energy performance and indoor environment quality of typical public buildings in the tropical areas of china. **Energy and Buildings**, n. 48, p. 155-167, 2012.

KRUGER, E.; GIVONI, B. Predicting thermal performance in occupied dwellings. **Energy and Buildings**, 36 2004. 301-307.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW, 1997.

LAMBERTS, R.; NARANJO, A. **Desempenho Térmico das Edificações**. Universidade Federal de Santa Catarina (Apostila de disciplina ECV 5161). Florianópolis. 2011.

LIBBRA, A.; MUSCIO, A.; SILIGARDI, C. Energy performance of opaque building elements in summer: analysis of a simplified calculation method in force in Italy. **Energy and building**, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.05.022>, 2013.

LIMA, G. L. F. **Influência de variáveis arquitetônicas no desempenho energético de hotéis no clima quente e úmido da cidade de Natal/RN**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (Dissertação de mestrado). Natal, p. 162. 2007.

LIPING, W.; HIEN, W. N. The impacts of ventilation strategies and facade on indoor thermal environment for naturally ventilated residential buildings in Singapore. **Building and Environment**, 42 2007. 4006-4015.

LOMAS, K. J. et al. Building bioclimatic charts for non-domestic buildings and passive draught evaporative cooling. **Building and environment**, n. 39, p. 661-676, 2004.

MACIEL, A. A. **Projeto Bioclimático em Brasília: estudo de caso em edifícios de escritórios**. Universidade Federal de Santa Catarina (Dissertação de mestrado). Florianópolis. 2002.

MAHMOUD, A. H. A. An analysis of bioclimatic zones and implications for design of outdoor built environments in Egypt. **Building and environment**, n. 46, p. 605-620, 2011.

MATOS, M. **simulação computacional do desempenho térmico de residências em Florianópolis utilizando a ventilação natural**. Universidade Federal de Santa Catarina (Dissertação de Mestrado). Florianópolis. 2007.

MAVROMATIDIS, L. E.; BYKALYUK, A.; LEQUAY, H. Development of polynomial regression models for composite dynamic envelope's thermal performance forecasting. **Applied Energy**, 104 2013. 379-391.

MENDES, N. et al. Uso de instrumentos computacionais para análise de desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, out/dez 2005. 47-68.

MIRANDA, S. A. D. et al. Processamento de arquivo climático para avaliações de conforto ambiental em Cuiabá-MT. **XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAC 2010**, Canela - RS, 2010.

MONTEIRO, C. A. D. F. **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

MONTEIRO, L. M. **Modelos preditivos de conforto térmico: quantificação de relações entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projetos de espaços abertos**. Universidade de São Paulo - USP (tese de doutorado). São Paulo, p. 378. 2008.

MOUJALLED, B.; CANTIN, R.; GUARRACINO, G. Comparison of thermal comfort algorithms in naturally ventilated office buildings. **Energy and Buildings**, 40 2008. 2215-2223.

NEGREIROS, B. D. A. **Análise de métodos de predição de conforto térmico de habitação em clima quente-úmido com condicionamento passivo**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (Dissertação de mestrado). Natal, p. 115. 2010.

NETO, A. S. **Regulamentação de desempenho térmico e energético de edificações**. Universidade de São Paulo (Dissertação de mestrado). São Paulo. 2003.

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

OLGYAY, V. **Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas**. Barcelona: Gustavo Gilli, 2002.

ORAL, G. K.; YILMAZ, Z. The limit U values for building envelope related to building form in temperate and cold climatic zones. **Building and Environment**, 37 2002. 1173-1180.

PASSOS, I. C. D. S. **Clima e Arquitetura habitacional em Alagoas: estratégias bioclimáticas para Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar**. Universidade Federal de Alagoas (Dissertação de mestrado). Maceió. 2009.

PEDRINI, A. et al. **Desempenho térmico de tipologias de habitações de interesse social para seis cidades brasileiras**. UFRN. Natal, p. 89. 2009.

PEREIRA, C. D. **A influência do envelope no desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ocupadas e ventiladas naturalmente**. Universidade Federal de Santa Catarina (Dissertação de Mestrado). Florianópolis, p. 140. 2009.

PEREIRA, I. et al. Metodologia de tratamento de dados climáticos para inserção em softwares de simulação energética de edifícios. **X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAC**, São Paulo, 2004.

PITT&SHERRY. **The Pathway to 2020 for Low-Energy, Low-carbon Buildings in australia: Indicative Stringency Study**. Department of climate Change. Australia, p. 146. 2010.

POUEY, J. A.-A. **Projeto de Edificação Residencial Unifamiliar para a Zona Bioclimática 2 com Avaliação Termo energética por Simulação Computacional**. Universidade Federal de Pelotas (dissertação de mestrado). Pelotas, p. 137. 2011.

ROMERO, M. A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo: Proeditores, 2000.

RORIZ, M. **Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro**. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ANTAC. São Carlos. 2012.

RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. Uma proposta de norma técnica brasileira sobre desempenho térmico de habitações populares. **V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, Fortaleza, 1999.

SORGATO, M. J. **Desempenho Térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente**. Universidade Federal de Santa Catarina (dissertação) (mestrado em Engenharia Civil). Florianópolis, p. 216. 2009.

STEPHAN, L.; BASTIDE, A.; WURTZ, E. Optimizing opening dimensions for naturally ventilated buildings. **Applie Energy**, 88 2011. 2791-2801.

TALEGHANI, M. et al. A reviewintothermalcomfortinbuildings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 26 2013. 201-215.

TAVARES, L. R. **Eficiência energética em edificações: aplicação do RTQ-C - Requisitos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos - na cidade de Uberlândia-MG**. Universidade de Brasília (Dissertação de mestrado). Brasília, p. 192. 2011.

TRINDADE, S. C. **Simulação computacional como ferramenta de auxílio ao projeto: aplicação em edifícios naturalmente ventilados no clima de Natal/RN**.

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (Dissertação de mestrado). Natal, p. 138. 2006.

U. S. DEPARTMENT OF ENERGY. Building Energy Software Tools Directory. **Energy Efficiency & Renewable Energy**, 2012. Disponível em: <www.eere.energy.gov>. Acesso em: 18 julho 2012.

VENÂNCIO, R. **A influência de decisões arquitetônicas na eficiência energética do campus/UFRN**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (Dissertação de mestrado). Natal. 2007.

VISITSAK, S.; HARBEL, J. S. An analysis of design strategies for climate-controlled residences in selected climates. **SimBuild IBPSA - USA National Conference**, Boulder, 4-6 August 2004. 1-11.

APÊNDICES

I. LEVANTAMENTO SISTEMA CONSTRUTIVO

COD: 0001

FICHA TÉCNICA

	Órgão responsável:		SEM HAB	
	Município:		João Pessoa	
	Projeto:		PAC: Sanhauá - Auto do Céu	
	Modelo		Unidade multifamiliar	
	Ano do projeto	2008	Área construída por unidade	40,87m²

MEMORIAL DESCRITIVO

Envoltória					
Material de vedação		Alvenaria de ½ vez, com blocos cerâmicos de vedação do tipo comum, com oito furos, da classe 25			
Emboço		Reboco		Massa única	
Material	Espessura	Material	Espessura	Material	Espessura
				Cimento/ Cal/ Areia	3cm
Revestimento interno		Revestimento externo			
Material	Espessura	Material		Espessura	
Argamassa Mista	2cm	Pintura PVA sobre Fundo Selador, Sem Emassamento			
Cobertura					
Tipo de telha					
Espessura	Cor	Material			
		Estrutura de madeira e telha em fibrocimento			
Tipo de forro					
Espessura	Cor	Material			
		Gesso em placa			
Espaço de ar (altura média)					

PROJETO DE ARQUITETURA



Tamanho das aberturas

Quantidade	Área de proporção do piso
06	

	Proteção das aberturas				
	Tipo		Localização		
	NÃO EXISTE				
	Ventilação				
	Cruzada		Unilateral	(√)	Pressão

II. ROTINAS SOFTWARE R

2.1. Regressão Logística

```
qdt=read.table(file.choose(),head=T, dec=",")
attach(qdt)
m=glm(TO~factor(G)+hora,family=binomial(link=logit))
summary(m)
#a partir dos resultados do primeiro quadro, refazer quadro comparando C4(1) com todas as outras
cobertas (0)
#recomeçar com novo quadro Cbin
qdt=read.table(file.choose(),head=T, dec=",")
attach(qdt)
m=glm(TO~factor(G)+hora,family=binomial(link=logit))
summary(m)
exp(coefficients(m))
#baixar pacotes para calcular o pseudo-R2 (Nagelkerke R2)
library(fmsb)
NagelkerkeR2(m)
TOG=table(TO,G)
TOG
chisq.test(TOG)
anova(m,test="Chisq")
```

2.2. Teste de hipótese de Wilcoxon

```
qdt=read.table(file.choose(),head=T, dec=",")
attach(qdt)
m=lm(GC~factor(G)+hora)
summary(m)
anova(m,test="F")
#buscar pacotes+carregar pacotes+brasil+nortest
require(nortest)
lillie.test(resid(m))
#buscar pacotes+carregar pacotes+brasil+car
require(car)
ncvTest(m)
m=glm(GC~factor(G)+hora,family=gaussian(link="identity"))
summary(m)
anova(m,test="Chisq")
GC1=GC[G==1]
GC2=GC[G==2]
GC3=GC[G==3]
GC4=GC[G==4]
GC5=GC[G==5]
```

```

GC6=GC[G==6]
GC7=GC[G==7]
GC8=GC[G==8]
GC9=GC[G==9]
GC10=GC[G==10]
GC11=GC[G==11]
GC12=GC[G==12]
wilcox.test(GC1,GC2,alternative="greater")
wilcox.test(GC1,GC3,alternative="greater")
wilcox.test(GC1,GC4,alternative="greater")
wilcox.test(GC1,GC5,alternative="greater")
wilcox.test(GC1,GC6,alternative="greater")
wilcox.test(GC1,GC7,alternative="greater")
wilcox.test(GC1,GC8,alternative="greater")
wilcox.test(GC1,GC9,alternative="greater")
wilcox.test(GC1,GC10,alternative="greater")
wilcox.test(GC1,GC11,alternative="greater")
wilcox.test(GC1,GC12,alternative="greater")
wilcox.test(GC1,GC2,conf.int=T)
wilcox.test(GC1,GC3,conf.int=T)
wilcox.test(GC1,GC4,conf.int=T)
wilcox.test(GC1,GC5,conf.int=T)
wilcox.test(GC1,GC6,conf.int=T)
wilcox.test(GC1,GC7,conf.int=T)
wilcox.test(GC1,GC8,conf.int=T)
wilcox.test(GC1,GC9,conf.int=T)
wilcox.test(GC1,GC10,conf.int=T)
wilcox.test(GC1,GC11,conf.int=T)
wilcox.test(GC1,GC12,conf.int=T)

```

2.3. Regressão Linear

```

qdt=read.table(file.choose(),head=T, dec=",")
attach(qdt)
plot(PB_CD,Text)
plot(PB_CD,Text,xlab="Temperatura Operativa(°C)",ylab="Temperatura externa(°C)",main="PB_CD")
m=lm(PB_CD~Text)
summary(m)
abline(m,col=2,lwd=3)
plot(PC_CC,Text)
plot(PC_CC,Text,xlab="Temperatura Operativa(°C)",ylab="Temperatura externa(°C)",main="PC_CC")
m=lm(PC_CC~Text)
summary(m)
abline(m,col=4,lwd=3)

```

III. RESULTADOS DAS REGRESSÕES LOGÍSTICAS

3.1. João Pessoa – fase 1

```

> qdt=read.table(file.choose(),head=T, dec=",")
> attach(qdt)
> m=glm(TO~factor(G)+hora,family=binomial(link=logit))
> summary(m)
Call:

```

```
glm(formula = TO ~ factor(G) + hora, family = binomial(link = logit))
```

```
Deviance Residuals:
```

```
    Min      1Q  Median      3Q      Max
-1,4586 -0,9128 -0,7185  1,1935  2,0307
```

```
Coefficients:
```

```
      Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept) -0,114319   0,026535  -4,308 1,65e-05 ***
factor(G)2   0,214112   0,033392   6,412 1,43e-10 ***
factor(G)3  -0,105071   0,034371  -3,057 0,00224 **
factor(G)4   0,540786   0,032793  16,491 < 2e-16 ***
factor(G)5   0,340638   0,033114  10,287 < 2e-16 ***
factor(G)6   0,620762   0,032704  18,981 < 2e-16 ***
factor(G)7   0,108756   0,033669   3,230 0,00124 **
factor(G)8   0,820790   0,032573  25,198 < 2e-16 ***
factor(G)9  -0,227135   0,034861  -6,516 7,24e-11 ***
factor(G)10 -0,051975   0,034179  -1,521 0,12833
factor(G)11 -0,215698   0,034812  -6,196 5,79e-10 ***
factor(G)12  0,302093   0,033193   9,101 < 2e-16 ***
hora        -0,066016   0,001002 -65,868 < 2e-16 ***
```

```
---
```

```
Signif. codes:  0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1
```

```
(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
```

```
Null deviance: 133790 on 105119 degrees of freedom
```

```
Residual deviance: 126977 on 105107 degrees of freedom
```

```
AIC: 127003
```

```
Number of Fisher Scoring iterations: 4
```

```
Analysis of Deviance Table
```

```
Model: binomial, link: logit
```

```
Response: TO
```

```
Terms added sequentially (first to last)
```

```
      Df Deviance Resid. Df Resid. Dev Pr(>Chi)
NULL                                105119    133790
factor(G) 10  2262,0  105109    131528 < 2,2e-16 ***
hora      1  4549,2  105108    126979 < 2,2e-16 ***
```

```
---
```

```
Signif. codes:  0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1
```

```
> qdt=read.table(file,choose(),head=T, dec=",")
```

```
> attach(qdt)
```

```
> m=glm(TO~factor(G)+hora,family=binomial(link=logit))
```

```
> summary(m)
```

```
Call:
```

```
glm(formula = TO ~ factor(G) + hora, family = binomial(link = logit))
```

```
Deviance Residuals:
```

```
    Min      1Q  Median      3Q      Max
-1,4586 -0,9107 -0,7191  1,1935  2,0307
```

```
Coefficients:
```

```
      Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept) -0,140189   0,020428  -6,862 6,77e-12 ***
factor(G)2   0,239966   0,028791   8,335 < 2e-16 ***
factor(G)3  -0,079217   0,029921  -2,648 0,00811 **
factor(G)4   0,566639   0,028095  20,168 < 2e-16 ***
factor(G)5   0,366491   0,028469  12,873 < 2e-16 ***
factor(G)6   0,646615   0,027991  23,101 < 2e-16 ***
factor(G)7   0,134609   0,029112   4,624 3,77e-06 ***
factor(G)8   0,846643   0,027839  30,413 < 2e-16 ***
factor(G)9  -0,201281   0,030482  -6,603 4,02e-11 ***
factor(G)11 -0,189843   0,030426  -6,239 4,39e-10 ***
factor(G)12  0,327946   0,028560  11,483 < 2e-16 ***
hora        -0,066015   0,001002 -65,867 < 2e-16 ***
```

```
---
```

```

Signif. codes:  0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1
(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
Null deviance: 133790  on 105119  degrees of freedom
Residual deviance: 126979  on 105108  degrees of freedom
AIC: 127003
Number of Fisher Scoring iterations: 4
> exp(coefficients(m))
(Intercept) factor(G)2 factor(G)3 factor(G)4 factor(G)5 factor(G)6
0,8691940 1,2712059 0,9238392 1,7623343 1,4426632 1,9090668
factor(G)7 factor(G)8 factor(G)9 factor(G)11 factor(G)12      hora
1,1440897 2,3318049 0,8176826 0,8270887 1,3881142 0,9361169
> library(fmsb)
> NagelkerkeR2(m)
$N[1] 105120
$R2[1] 0,08714617
> TOG=table(TO,G)
> TOG
  G
TO 1  2  3  4  5  6  7  8  9 11 12
0 12531 5836 6399 5201 5596 5039 6029 4627 6596 6578 5670
1  4989 2924 2361 3559 3164 3721 2731 4133 2164 2182 3090
> chisq.test(TOG)
Pearson's Chi-squared test
data:  TOG
X-squared = 2279,578, df = 10, p-value < 2,2e-16
> anova(m,test="Chisq")
Analysis of Deviance Table
Model: binomial, link: logit
Response: TO
Terms added sequentially (first to last)
      Df Deviance Resid. Df Resid. Dev Pr(>Chi)
NULL                                105119   133790
factor(G) 10   2262,0   105109   131528 < 2,2e-16 ***
hora      1    4549,2   105108   126979 < 2,2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

```

3.2. João Pessoa – fase 2 (PB_CD)

```

qdt=read.table(file.choose(),head=T, dec=",")
attach(qdt)
m=glm(TO~factor(TA)+factor(MO)+hora,family=binomial(link=logit))
> summary(m)
Call:
glm(formula = TO ~ factor(TA) + factor(MO) + hora, family = binomial(link = logit))
Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.5255 -1.0889 -0.8503  1.0148  1.6461
Coefficients:
            Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)  0.7870566  0.0212559  37.028 < 2e-16 ***
factor(TA)2  0.0714175  0.0180811   3.950 7.82e-05 ***
factor(TA)3  0.0696229  0.0180814   3.851 0.000118 ***
factor(MO)2  0.0073503  0.0180743   0.407 0.684250
factor(MO)3 -0.0006535  0.0180761  -0.036 0.971161
hora        -0.0767808  0.0010959 -70.059 < 2e-16 ***
---

```

```

Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
Null deviance: 109033 on 78839 degrees of freedom
Residual deviance: 103796 on 78834 degrees of freedom
AIC: 103808
Number of Fisher Scoring iterations: 4
> m=glm(TO~factor(TA)+hora,family=binomial(link=logit))
> summary(m)
Call:
glm(formula = TO ~ factor(TA) + hora, family = binomial(link = logit))
Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.5232 -1.0879 -0.8507  1.0136  1.6448
Coefficients:
            Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)  0.789286   0.018520  42.618 < 2e-16 ***
factor(TA)2  0.071417   0.018081   3.950 7.82e-05 ***
factor(TA)3  0.069623   0.018081   3.851 0.000118 ***
hora        -0.076781   0.001096 -70.059 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
Null deviance: 109033 on 78839 degrees of freedom
Residual deviance: 103797 on 78836 degrees of freedom
AIC: 103805
Number of Fisher Scoring iterations: 4
> exp(coefficients(m))
(Intercept) factor(TA)2 factor(TA)3      hora
  2.201825   1.074029   1.072104   0.926093
> library(fmsb)
> NagelkerkeR2(m)
$N [1] 78840
$R2 [1] 0.08578052
> TOTA=table(TO,TA)
> chisq.test(TOTA)
Pearson's Chi-squared test
data:  TOTA
X-squared = 18.9654, df = 2, p-value = 7.616e-05
> anova(m,test="Chisq")
Analysis of Deviance Table
Model: binomial, link: logit
Response: TO
Terms added sequentially (first to last)
      Df Deviance Resid. Df Resid. Dev Pr(>Chi)
NULL                78839  109033
factor(TA) 2      19.0   78837  109014 7.581e-05 ***
hora      1    5217.7   78836  103797 < 2.2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

3.3. João Pessoa – fase 2 (PC_CC)

```

> qdt=read.table(file,choose(),head=T, dec=",")
> attach(qdt)
> m=glm(TO~factor(TA)+factor(MO)+hora,family=binomial(link=logit))
> summary(m)
Call:
glm(formula = TO ~ factor(TA) + factor(MO) + hora, family = binomial(link = logit))

```

```

Deviance Residuals:
  Min    1Q  Median    3Q   Max
-0,8471 -0,7697 -0,7340 -0,6694  1,7921
Coefficients:
      Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept) -1,009148   0,023624 -42,717 < 2e-16 ***
factor(TA)2  -0,029456   0,020088  -1,466  0,14255
factor(TA)3  -0,099159   0,020270  -4,892  9,99e-07 ***
factor(MO)2   0,063153   0,020488   3,082  0,00205 **
factor(MO)3   0,180239   0,020206   8,920 < 2e-16 ***
hora         -0,011396   0,001194  -9,543 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1
(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
Null deviance: 88300 on 78839 degrees of freedom
Residual deviance: 88101 on 78834 degrees of freedom
AIC: 88113
Number of Fisher Scoring iterations: 4
> qdt=read.table(file,choose(),head=T, dec=",")
> attach(qdt)
The following object is masked from qdt (position 3):
  hora, TO
> m=glm(TO~factor(TA)in)+factor(MO)+hora,family=binomial(link=logit))
Erro em factor(TA)in : objeto 'TA)in' não encontrado
> m
Call: glm(formula = TO ~ factor(TA) + factor(MO) + hora, family = binomial(link = logit))
Coefficients:
(Intercept) factor(TA)2 factor(TA)3 factor(MO)2 factor(MO)3      hora
  -1,00915   -0,02946   -0,09916    0,06315    0,18024   -0,01140
Degrees of Freedom: 78839 Total (i.e, Null); 78834 Residual
Null Deviance:      88300
Residual Deviance: 88100      AIC: 88110
> m=glm(TO~factor(TA)in)+factor(Mo)+hora,family=binomial(link=logit))
> summary(m)
Call:
glm(formula = TO ~ factor(TA)in) + factor(Mo) + hora, family = binomial(link = logit))
Deviance Residuals:
  Min    1Q  Median    3Q   Max
-0,8419 -0,7702 -0,7346 -0,6694  1,7921
Coefficients:
      Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept) -1,023825   0,021415 -47,808 < 2e-16 ***
factor(TA)3  -0,084484   0,017648  -4,787  1,69e-06 ***
factor(Mo)2   0,063151   0,020487   3,082  0,00205 **
factor(Mo)3   0,180234   0,020206   8,920 < 2e-16 ***
hora         -0,011396   0,001194  -9,543 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1
(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
Null deviance: 88300 on 78839 degrees of freedom
Residual deviance: 88104 on 78835 degrees of freedom
AIC: 88114
Number of Fisher Scoring iterations: 4
> exp(coefficients(m))
      (Intercept) factor(TA)3 factor(Mo)2 factor(Mo)3      hora
    0,3592184    0,9189862    1,0651876    1,1974976    0,9886686
> TOTA=table(TO,TA)in)
> TOTA
      Tabin
TO      1      3

```

```

0 39258 20039
1 13302 6241
> chisq.test(TOTA)
Pearson's Chi-squared test with Yates' continuity correction
data: TOTA
X-squared = 22,7893, df = 1, p-value = 1,808e-06
> TOMO=table(TO,MO)
> TOMO
MO
TO 1 2 3
0 20161 19860 19276
1 6119 6420 7004
> chisq.test(TOMO)
Pearson's Chi-squared test
data: TOMO
X-squared = 82,6526, df = 2, p-value < 2,2e-16
> anova(m,test="Chisq")
Analysis of Deviance Table
Model: binomial, link: logit
Response: TO
Terms added sequentially (first to last)
      Df Deviance Resid. Df Resid. Dev Pr(>Chi)
NULL              78839    88300
factor(Tabin) 1  22,984   78838    88277 1,633e-06 ***
factor(Mo)    2  82,343   78836    88195 < 2,2e-16 ***
hora          1  91,208   78835    88104 < 2,2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

```

3.4. Campina Grande – fase 1

```

> qdt=read.table(file,choose(),head=T, dec=",")
> attach(qdt)
> m=glm(TO~factor(G)+hora,family=binomial(link=logit))
> summary(m)
Call:
glm(formula = TO ~ factor(G) + hora, family = binomial(link = logit))
Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1,7790 -1,1568  0,7262  1,0063  1,8216

Coefficients:
            Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)  1,0773813  0,0253262  42,540 < 2e-16 ***
factor(G)2    0,3574312  0,0316723  11,285 < 2e-16 ***
factor(G)3   -0,2103865  0,0314532  -6,689 2,25e-11 ***
factor(G)4    0,1922495  0,0315009   6,103 1,04e-09 ***
factor(G)5    0,2217216  0,0315249   7,033 2,02e-12 ***
factor(G)6    0,5328775  0,0319550  16,676 < 2e-16 ***
factor(G)7    0,2452650  0,0315461   7,775 7,56e-15 ***
factor(G)8    0,3284622  0,0316357  10,383 < 2e-16 ***
factor(G)9   -0,2168330  0,0314567  -6,893 5,46e-12 ***
factor(G)10   0,1439686  0,0314677   4,575 4,76e-06 ***
factor(G)11  -0,5476574  0,0318174 -17,213 < 2e-16 ***
factor(G)12   0,1519191  0,0314727   4,827 1,39e-06 ***
hora         -0,0824023  0,0009668 -85,231 < 2e-16 ***
---

```

```

Signif. codes:  0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1
(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
Null deviance: 145247 on 105119 degrees of freedom
Residual deviance: 135645 on 105107 degrees of freedom
AIC: 135671
Number of Fisher Scoring iterations: 4
> exp(coefficients(m))
(Intercept) factor(G)2 factor(G)3 factor(G)4 factor(G)5 factor(G)6
 2,9369785  1,4296522  0,8102710  1,2119729  1,2482238  1,7038280
factor(G)7 factor(G)8 factor(G)9 factor(G)10 factor(G)11 factor(G)12
 1,2779600  1,3888308  0,8050644  1,1548478  0,5783029  1,1640661
hora
0,9209014
> library(fmsb)
> NagelkerkeR2(m)
$N [1] 105120
$R2 [1] 0,1165724

> TOG=table(TO,G)
> TOG
  G
TO  1  2  3  4  5  6  7  8  9 10 11 12
 0 4284 3568 4710 3896 3837 3229 3790 3625 4723 3993 5378 3977
 1 4476 5192 4050 4864 4923 5531 4970 5135 4037 4767 3382 4783
> chisq.test(TOG)
Pearson's Chi-squared test
data: TOG
X-squared = 1800,503, df = 11, p-value < 2,2e-16
> anova(m,test="Chisq")
Analysis of Deviance Table
Model: binomial, link: logit
Response: TO
Terms added sequentially (first to last)

      Df Deviance Resid. Df Resid. Dev Pr(>Chi)
NULL                                105119   145247
factor(G) 11  1807,5   105108   143440 < 2,2e-16 ***
hora      1   7794,5   105107   135645 < 2,2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

```

3.5. Campina Grande – fase 2 (PB_CB)

```

qdt=read.table(file.choose(),head=T, dec=",")
attach(qdt)
m=glm(TO~factor(TA)+factor(MO)+hora,family=binomial(link=logit))
summary(m)
Call:
glm(formula = TO ~ factor(TA) + factor(MO) + hora, family = binomial(link = logit))
Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.6321 -1.2148  0.6381  0.8417  1.4755

Coefficients:
            Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)  1.8251068  0.0236566  77.150 < 2e-16 ***
factor(TA)2 -0.0300441  0.0190261  -1.579  0.11431

```

```

factor(TA)3 -0.0493165 0.0190089 -2.594 0.00948 **
factor(MO)2 0.0005374 0.0189281 0.028 0.97735
factor(MO)3 0.1205326 0.0190465 6.328 2.48e-10 ***
hora -0.1022444 0.0011825 -86.463 < 2e-16 ***
---
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
Null deviance: 104504 on 78839 degrees of freedom
Residual deviance: 96127 on 78834 degrees of freedom
AIC: 96139
Number of Fisher Scoring iterations: 4
qdt=read.table(file.choose(),head=T, dec=",")
attach(qdt)
m=glm(TO~factor(Tabin)+factor(Mobin)+hora,family=binomial(link=logit))
summary(m)
Call:
glm(formula = TO ~ factor(Tabin) + factor(Mobin) + hora, family = binomial(link = logit))
Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.6253 -1.2160  0.6337  0.8416  1.4754
Coefficients:
            Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)  1.810286  0.019441  93.117 < 2e-16 ***
factor(Tabin)3 -0.034272  0.016440  -2.085  0.0371 *
factor(Mobin)3  0.120260  0.016529  7.276 3.44e-13 ***
hora        -0.102241  0.001182 -86.462 < 2e-16 ***
---
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
Null deviance: 104504 on 78839 degrees of freedom
Residual deviance: 96130 on 78836 degrees of freedom
AIC: 96138
Number of Fisher Scoring iterations: 4
exp(coefficients(m))
Intercept) factor(Tabin)3 factor(Mobin)3      hora
6.1121939  0.9663089  1.1277901  0.9028120
library(fmsb)
NagelkerkeR2(m)
$N [1] 78840
$R2[1] 0.1372347
TOTA=table(TO,Tabin)
TOTA
chisq.test(TOTA)
Pearson's Chi-squared test with Yates' continuity correction
data: TOTA
X-squared = 3.8668, df = 1, p-value = 0.04925
TOMO=table(TO,Mobin)
TOMO
chisq.test(TOMO)
Pearson's Chi-squared test with Yates' continuity correction
data: TOMO
X-squared = 47.4225, df = 1, p-value = 5.722e-12
anova(m,test="Chisq")
Analysis of Deviance Table
Model: binomial, link: logit
Response: TO
Terms added sequentially (first to last)
      Df Deviance Resid. Df Resid. Dev Pr(>Chi)
NULL                                78839  104504
factor(Tabin) 1      3.9   78838   104501 0.04845 *

```

```
factor(Mobin) 1 47.7 78837 104453 5.016e-12 ***
hora 1 8323.1 78836 96130 < 2.2e-16 ***
---
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

3.6. Campina Grande – fase 2 (PC_CC)

```
> qdt=read.table(file.choose(),head=T, dec=",")
> attach(qdt)
> m=glm(TO~factor(TA)+factor(MO)+hora,family=binomial(link=logit))
> summary(m)
Call:
glm(formula = TO ~ factor(TA) + factor(MO) + hora, family = binomial(link = logit))
Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.739 -1.293  0.837  0.984  1.215
Coefficients:
            Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)  0.807651   0.021486  37.590 < 2e-16 ***
factor(TA)2 -0.075328   0.018219  -4.135 3.56e-05 ***
factor(TA)3 -0.071048   0.018223  -3.899 9.67e-05 ***
factor(MO)2 -0.043218   0.017794  -2.429  0.0152 *
factor(MO)3  0.488175   0.018468  26.433 < 2e-16 ***
hora        -0.032358   0.001079 -29.986 < 2e-16 ***
---
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
Null deviance: 104717 on 78839 degrees of freedom
Residual deviance: 102772 on 78834 degrees of freedom
AIC: 102784
Number of Fisher Scoring iterations: 4
> exp(coefficients(m))
(Intercept) factor(TA)2 factor(TA)3 factor(MO)2 factor(MO)3      hora
 2.2426343  0.9274395  0.9314168  0.9577028  1.6293408  0.9681602
> library(fmsb)
> NagelkerkeR2(m)
$N [1] 78840
$R2 [1] 0.03315419
> TOTA=table(TO,TA)
> TOTA
  TA
TO  1  2  3
0 9695 10149 10123
1 16585 16131 16157
> chisq.test(TOTA)
Pearson's Chi-squared test
data: TOTA
X-squared = 20.9929, df = 2, p-value = 2.763e-05
> anova(m,test="Chisq")
Analysis of Deviance Table
Model: binomial, link: logit
Response: TO
Terms added sequentially (first to last)
      Df Deviance Resid. Df Resid. Dev Pr(>Chi)
NULL              78839    104717
factor(TA) 2    21.03   78837    104696 2.707e-05 ***
factor(MO) 2   1014.63   78835    103682 < 2.2e-16 ***
```

```

hora    1  909.48   78834   102772 < 2.2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> TOMO=table(TO,MO)
> TOMO
  MO
TO  1  2  3
  0 10864 11137 7966
  1 15416 15143 18314
> chisq.test(TOMO)
Pearson's Chi-squared test
data:  TOMO
X-squared = 997.3945, df = 2, p-value < 2.2e-16

```

3.7. Patos – fase 1

```

> qdt=read.table(file.choose(),head=T, dec=",")
> attach(qdt)
> m=glm(TO~factor(G)+hora,family=binomial(link=logit))
> summary(m)
Call:
glm(formula = TO ~ factor(G) + hora, family = binomial(link = logit))
Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.5858 -0.7574 -0.5224  0.8587  2.8217
Coefficients:
            Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)  0.047726  0.029268  1.631   0.103
factor(G)2   0.231325  0.037053  6.243 4.29e-10 ***
factor(G)3  -0.713791  0.042216 -16.908 < 2e-16 ***
factor(G)4   0.691750  0.035931  19.252 < 2e-16 ***
factor(G)5   0.508150  0.036292  14.002 < 2e-16 ***
factor(G)6   0.812173  0.035751  22.718 < 2e-16 ***
factor(G)7  -0.165723  0.038673  -4.285 1.83e-05 ***
factor(G)8   0.990212  0.035562  27.845 < 2e-16 ***
factor(G)9  -0.359095  0.039729  -9.039 < 2e-16 ***
factor(G)10 -0.176627  0.038728  -4.561 5.10e-06 ***
factor(G)11 -1.247628  0.047636 -26.191 < 2e-16 ***
factor(G)12  0.438164  0.036459  12.018 < 2e-16 ***
hora        -0.115091  0.001209 -95.201 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
Null deviance: 119156 on 105119 degrees of freedom
Residual deviance: 103249 on 105107 degrees of freedom
AIC: 103275
Number of Fisher Scoring iterations: 5
> exp(coefficients(m))
(Intercept) factor(G)2 factor(G)3 factor(G)4 factor(G)5 factor(G)6
  1.0488831  1.2602693  0.4897841  1.9972071  1.6622137  2.2527977
factor(G)7 factor(G)8 factor(G)9 factor(G)10 factor(G)11 factor(G)12
  0.8472810  2.6918055  0.6983078  0.8380920  0.2871851  1.5498591
hora
  0.8912849
> library(fmsb)
> NagelkerkeR2(m)
$N[1] 105120

```

```

$R2[1] 0.2070949
> TOG=table(TO,G)
> TOG
  G
TO 1  2  3  4  5  6  7  8  9 10 11 12
   0 6770 6432 7602 5673 5988 5459 6992 5134 7229 7006 8023 6104
   1 1990 2328 1158 3087 2772 3301 1768 3626 1531 1754  737 2656
> chisq.test(TOG)
Pearson's Chi-squared test
data: TOG
X-squared = 5227.949, df = 11, p-value < 2.2e-16
> anova(m,test="Chisq")
Analysis of Deviance Table
Model: binomial, link: logit
Response: TO
Terms added sequentially (first to last)
      Df Deviance Resid. Df Resid. Dev Pr(>Chi)
NULL                                105119    119156
factor(G) 11  5478.3  105108    113678 < 2.2e-16 ***
hora      1  10429.1  105107    103249 < 2.2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

3.8. Patos - fase 2 (PB_CD)

```

> qdt=read.table(file.choose(),head=T, dec=",")
> attach(qdt)
> m=glm(TO~factor(TA)+factor(MO)+hora,family=binomial(link=logit))
> summary(m)
Call:
glm(formula = TO ~ factor(TA) + factor(MO) + hora, family = binomial(link = logit))
Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.5852 -0.9886 -0.7370  0.9978  1.9264
Coefficients:
            Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)  0.868002   0.021873  39.684 < 2e-16 ***
factor(TA)2  0.053233   0.018808   2.830 0.00465 **
factor(TA)3  0.060280   0.018804   3.206 0.00135 **
factor(MO)2  0.041992   0.018825   2.231 0.02571 *
factor(MO)3  0.099561   0.018794   5.297 1.17e-07 ***
hora        -0.106396   0.001171 -90.891 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
Null deviance: 107137 on 78839 degrees of freedom
Residual deviance: 97838 on 78834 degrees of freedom
AIC: 97850
Number of Fisher Scoring iterations: 4
> exp(coefficients(m))
(Intercept) factor(TA)2 factor(TA)3 factor(MO)2 factor(MO)3      hora
 2.3821463  1.0546751  1.0621335  1.0428860  1.1046854  0.8990689
> library(fmsb)
> NagelkerkeR2(m)
$N[1] 78840
$R2[1] 0.1497374
> TOTA=table(TO,TA)

```

```

> TOTA
  TA
TO  1  2  3
0 15523 15222 15182
1 10757 11058 11098
> chisq.test(TOTA)
    Pearson's Chi-squared test
data:  TOTA
X-squared = 10.8738, df = 2, p-value = 0.004353
> anova(m,test="Chisq")
Analysis of Deviance Table
Model: binomial, link: logit
Response: TO
Terms added sequentially (first to last)
      Df Deviance Resid. Df Resid. Dev Pr(>Chi)
NULL                                78839    107137
factor(TA) 2    10.9    78837    107126 0.004331 **
factor(MO) 2    25.1    78835    107101 3.556e-06 ***
hora      1  9263.6    78834    97838 < 2.2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> TOMO=table(TO,MO)
> TOMO
  MO
TO  1  2  3
0 15576 15339 15012
1 10704 10941 11268
> chisq.test(TOMO)
    Pearson's Chi-squared test
data:  TOMO
X-squared = 25.0975, df = 2, p-value = 3.549e-06

```

3.9. Patos – fase 2 (PC_CC)

```

> qdt=read.table(file.choose(),head=T, dec=",")
> attach(qdt)
> m=glm(TO~factor(TA)+factor(MO)+hora,family=binomial(link=logit))
> summary(m)
Call:
glm(formula = TO ~ factor(TA) + factor(MO) + hora, family = binomial(link = logit))
Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.7472 -0.5049 -0.4139 -0.3291  2.6091
Coefficients:
            Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept) -1.830764   0.034329 -53.329 < 2e-16 ***
factor(TA)2  -0.018239   0.029126  -0.626  0.5312
factor(TA)3  -0.060773   0.029366  -2.069  0.0385 *
factor(MO)2   0.235352   0.032346   7.276 3.44e-13 ***
factor(MO)3   0.759094   0.029898  25.390 < 2e-16 ***
hora         -0.061593   0.001799 -34.244 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
Null deviance: 51662 on 78839 degrees of freedom

```

```

Residual deviance: 49703 on 78834 degrees of freedom
AIC: 49715
Number of Fisher Scoring iterations: 5
> qdt=read.table(file.choose(),head=T, dec=",")
> attach(qdt)
> m=glm(TO~factor(Tabin)+factor(MO)+hora,family=binomial(link=logit))
> summary(m)
Call:
glm(formula = TO ~ factor(Tabin) + factor(MO) + hora, family = binomial(link = logit))
Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.7442 -0.5027 -0.4157 -0.3292  2.6091
Coefficients:
            Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)  -1.839853   0.031132 -59.098 < 2e-16 ***
factor(Tabin)3 -0.051685   0.025558  -2.022  0.0431 *
factor(MO)2    0.235351   0.032346   7.276 3.44e-13 ***
factor(MO)3    0.759089   0.029898  25.390 < 2e-16 ***
hora          -0.061593   0.001799 -34.244 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)
Null deviance: 51662 on 78839 degrees of freedom
Residual deviance: 49703 on 78835 degrees of freedom
AIC: 49713
Number of Fisher Scoring iterations: 5
> exp(coefficients(m))
(Intercept) factor(Tabin)3 factor(MO)2 factor(MO)3 hora
  0.1588407   0.9496280   1.2653522   2.1363297   0.9402655
> library(fmsb)
> NagelkerkeR2(m)
$N[1] 78840
$R2[1] 0.05105565
> TOTA=table(TO,TA)
> TOTA
  TA
TO  1  2  3
  0 23560 23603 23701
  1  2720  2677  2579
> chisq.test(TOTA)
Pearson's Chi-squared test
data: TOTA
X-squared = 4.3707, df = 2, p-value = 0.1124
> anova(m,test="Chisq")
Analysis of Deviance Table
Model: binomial, link: logit
Response: TO
Terms added sequentially (first to last)
      Df Deviance Resid. Df Resid. Dev Pr(>Chi)
NULL                                78839    51662
factor(Tabin) 1      4.00   78838    51658 0.04545 *
factor(MO)    2    724.85   78836    50933 < 2e-16 ***
hora          1   1230.23   78835    49703 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> TOMO=table(TO,MO)
> TOMO
  MO
TO  1  2  3
  0 24377 23924 22563

```

```

1 1903 2356 3717
> chisq.test(TOMO)
Pearson's Chi-squared test
data: TOMO
X-squared = 745.9976, df = 2, p-value < 2.2e-16

```

IV. RESULTADOS DAS REGRESSÕES LINEARES

4.1. João Pessoa – ganhos de calor das paredes

```

> qdt=read.table(file.choose(),head=T, dec=",")
> attach(qdt)
> m=lm(GC~factor(G)+hora)
> summary(m)
Call:
lm(formula = GC ~ factor(G) + hora)
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.86110 -0.16158  0.03773  0.24867  1.38536
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -0.3004358  0.0054121 -55.512 < 2e-16 ***
factor(G)2   0.0756551  0.0067870  11.147 < 2e-16 ***
factor(G)3   0.0537869  0.0067870   7.925 2.30e-15 ***
factor(G)4  -0.0938148  0.0067870 -13.823 < 2e-16 ***
factor(G)5  -0.1327942  0.0067870 -19.566 < 2e-16 ***
factor(G)6   0.0012548  0.0067870   0.185  0.853
factor(G)7  -0.0424941  0.0067870  -6.261 3.84e-10 ***
factor(G)8  -0.3023364  0.0067870 -44.546 < 2e-16 ***
factor(G)9   0.0946361  0.0067870  13.944 < 2e-16 ***
factor(G)10  0.1325827  0.0067870  19.535 < 2e-16 ***
factor(G)11  0.1228067  0.0067870  18.094 < 2e-16 ***
factor(G)12  0.0497530  0.0067870   7.331 2.31e-13 ***
hora         0.0070725  0.0002001  35.338 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
Residual standard error: 0.4492 on 105107 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.07666, Adjusted R-squared:  0.07655
F-statistic: 727.2 on 12 and 105107 DF, p-value: < 2.2e-16
> anova(m,test="F")
Analysis of Variance Table
Response: GC
            Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
factor(G)   11 1508.6 137.148  679.77 < 2.2e-16 ***
hora        1  252.0 251.954 1248.79 < 2.2e-16 ***
Residuals 105107 21206.2   0.202
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> require(nortest)
Carregando pacotes exigidos: nortest
> lillie.test(resid(m))
Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
data: resid(m)
D = 0.1096, p-value < 2.2e-16
> require(car)
Carregando pacotes exigidos: car
Carregando pacotes exigidos: MASS

```

```

Carregando pacotes exigidos: nnet
> ncvTest(m)
Non-constant Variance Score Test
Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 9047.339   Df = 1   p = 0
> m=glm(GC~factor(G)+hora,family=gaussian(link="identity"))
> summary(m)
Call:
glm(formula = GC ~ factor(G) + hora, family = gaussian(link = "identity"))
Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.86110 -0.16158  0.03773  0.24867  1.38536
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -0.3004358  0.0054121 -55.512 < 2e-16 ***
factor(G)2   0.0756551  0.0067870  11.147 < 2e-16 ***
factor(G)3   0.0537869  0.0067870   7.925 2.30e-15 ***
factor(G)4  -0.0938148  0.0067870 -13.823 < 2e-16 ***
factor(G)5  -0.1327942  0.0067870 -19.566 < 2e-16 ***
factor(G)6   0.0012548  0.0067870   0.185  0.853
factor(G)7  -0.0424941  0.0067870  -6.261 3.84e-10 ***
factor(G)8  -0.3023364  0.0067870 -44.546 < 2e-16 ***
factor(G)9   0.0946361  0.0067870  13.944 < 2e-16 ***
factor(G)10  0.1325827  0.0067870  19.535 < 2e-16 ***
factor(G)11  0.1228067  0.0067870  18.094 < 2e-16 ***
factor(G)12  0.0497530  0.0067870   7.331 2.31e-13 ***
hora         0.0070725  0.0002001  35.338 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
(Dispersion parameter for gaussian family taken to be 0.2017579)
Null deviance: 22967  on 105119  degrees of freedom
Residual deviance: 21206  on 105107  degrees of freedom
AIC: 130068
Number of Fisher Scoring iterations: 2
> anova(m,test="Chisq")
Analysis of Deviance Table
Model: gaussian, link: identity
Response: GC
Terms added sequentially (first to last)
      Df Deviance Resid. Df Resid. Dev Pr(>Chi)
NULL                105119    22967
factor(G) 11 1508.63  105108    21458 < 2.2e-16 ***
hora      1  251.95  105107    21206 < 2.2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> GC1=GC[G==1]
> GC2=GC[G==2]
> GC3=GC[G==3]
> GC4=GC[G==4]
> GC5=GC[G==5]
> GC6=GC[G==6]
> GC7=GC[G==7]
> GC8=GC[G==8]
> GC9=GC[G==9]
> GC10=GC[G==10]
> GC11=GC[G==11]
> GC12=GC[G==12]

> wilcox.test(GC1,GC2,alternative="greater")
Wilcoxon rank sum test with continuity correction

```

```

data: GC1 and GC2
W = 30574670, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

> wilcox.test(GC1,GC3,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC3
W = 34717815, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

> wilcox.test(GC1,GC4,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC4
W = 29158384, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

> wilcox.test(GC1,GC5,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC5
W = 51611754, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

> wilcox.test(GC1,GC6,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC6
W = 39731530, p-value = 2.339e-05
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

> wilcox.test(GC1,GC7,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC7
W = 44288022, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

> wilcox.test(GC1,GC8,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC8
W = 47884981, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

> wilcox.test(GC1,GC9,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC9
W = 28095112, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

> wilcox.test(GC1,GC10,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC10
W = 24136930, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

> wilcox.test(GC1,GC11,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC11
W = 25828290, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

> wilcox.test(GC1,GC12,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction

```

data: GC1 and GC12
 W = 25052407, p-value = 1
 alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

```
> wilcox.test(GC1,GC2,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC2
W = 30574670, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.07528831 -0.06351429
sample estimates:
difference in location
-0.06938861
```

```
> wilcox.test(GC1,GC3,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC3
W = 34717815, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.04390983 -0.03054740
sample estimates:
difference in location
-0.03721999
```

```
> wilcox.test(GC1,GC4,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC4
W = 29158384, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.1695109 -0.1504113
sample estimates:
difference in location
-0.1600283
```

```
> wilcox.test(GC1,GC5,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC5
W = 51611754, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
0.1433974 0.1570328
sample estimates:
difference in location
0.1502677
```

```
> wilcox.test(GC1,GC6,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC6
W = 39731530, p-value = 4.678e-05
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
0.007724969 0.022056817
sample estimates:
difference in location
0.01490381
```

```
> wilcox.test(GC1,GC7,conf.int=T)
```

```

Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC7
W = 44288022, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.1057035 0.1300418
sample estimates:
difference in location
 0.1179567

```

```

> wilcox.test(GC1,GC8,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC8
W = 47884981, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.1052495 0.1209958
sample estimates:
difference in location
 0.1130651

```

```

> wilcox.test(GC1,GC9,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC9
W = 28095112, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.1586196 -0.1417589
sample estimates:
difference in location
 -0.1502488

```

```

> wilcox.test(GC1,GC10,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC10
W = 24136930, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.1638757 -0.1520557
sample estimates:
difference in location
 -0.1580099

```

```

> wilcox.test(GC1,GC11,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC11
W = 25828290, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.09070510 -0.08128547
sample estimates:
difference in location
 -0.08598045

```

```

> wilcox.test(GC1,GC12,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC12
W = 25052407, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:

```

```
-0.4107162 -0.3878605
sample estimates:
difference in location
-0.3995389
```

4.2. João Pessoa – ganhos de calor das cobertas

```
> qdt=read.table(file.choose(),head=T, dec=",")
> attach(qdt)
> m=lm(GC~factor(G)+hora)
> summary(m)
Call:
lm(formula = GC ~ factor(G) + hora)
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-3.8442 -0.4872 -0.1036  0.1250  7.0286
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  0.3575856  0.0133562  26.773 < 2e-16 ***
factor(G)2   -0.1862727  0.0167493 -11.121 < 2e-16 ***
factor(G)3   -0.1409125  0.0167493  -8.413 < 2e-16 ***
factor(G)4    0.2329085  0.0167493  13.906 < 2e-16 ***
factor(G)5    0.0585174  0.0167493   3.494 0.000477 ***
factor(G)6   -0.1672754  0.0167493  -9.987 < 2e-16 ***
factor(G)7   -0.1100820  0.0167493  -6.572 4.98e-11 ***
factor(G)8    0.3510269  0.0167493  20.958 < 2e-16 ***
factor(G)9   -0.0420042  0.0167493  -2.508 0.012150 *
factor(G)10  -0.2015426  0.0167493 -12.033 < 2e-16 ***
factor(G)11  -0.1628794  0.0167493  -9.725 < 2e-16 ***
factor(G)12   0.1577627  0.0167493   9.419 < 2e-16 ***
hora         -0.0039333  0.0004939  -7.964 1.69e-15 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
Residual standard error: 1.108 on 105107 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.02477, Adjusted R-squared:  0.02466
F-statistic: 222.5 on 12 and 105107 DF, p-value: < 2.2e-16
> anova(m,test="F")
Analysis of Variance Table
Response: GC
            Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
factor(G)    11  3203 291.186   236.97 < 2.2e-16 ***
hora          1    78  77.928    63.42 1.687e-15 ***
Residuals 105107 129152    1.229
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> require(nortest)
Carregando pacotes exigidos: nortest
> lillie.test(resid(m))
Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
data: resid(m)
D = 0.2114, p-value < 2.2e-16
> require(car)
Carregando pacotes exigidos: car
Carregando pacotes exigidos: MASS
Carregando pacotes exigidos: nnet
> ncvTest(m)
Non-constant Variance Score Test
```

```

Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 81971.66 Df = 1 p = 0
> m=glm(GC~factor(G)+hora,family=gaussian(link="identity"))
> summary(m)
Call:
glm(formula = GC ~ factor(G) + hora, family = gaussian(link = "identity"))
Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-3.8442 -0.4872 -0.1036  0.1250  7.0286
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  0.3575856  0.0133562  26.773 < 2e-16 ***
factor(G)2   -0.1862727  0.0167493 -11.121 < 2e-16 ***
factor(G)3   -0.1409125  0.0167493  -8.413 < 2e-16 ***
factor(G)4    0.2329085  0.0167493  13.906 < 2e-16 ***
factor(G)5    0.0585174  0.0167493   3.494 0.000477 ***
factor(G)6   -0.1672754  0.0167493  -9.987 < 2e-16 ***
factor(G)7   -0.1100820  0.0167493  -6.572 4.98e-11 ***
factor(G)8    0.3510269  0.0167493  20.958 < 2e-16 ***
factor(G)9   -0.0420042  0.0167493  -2.508 0.012150 *
factor(G)10  -0.2015426  0.0167493 -12.033 < 2e-16 ***
factor(G)11  -0.1628794  0.0167493  -9.725 < 2e-16 ***
factor(G)12   0.1577627  0.0167493   9.419 < 2e-16 ***
hora        -0.0039333  0.0004939  -7.964 1.69e-15 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
(Dispersion parameter for gaussian family taken to be 1.228765)
Null deviance: 132433 on 105119 degrees of freedom
Residual deviance: 129152 on 105107 degrees of freedom
AIC: 319988
Number of Fisher Scoring iterations: 2
> anova(m,test="Chisq")
Analysis of Deviance Table
Model: gaussian, link: identity
Response: GC
Terms added sequentially (first to last)
      Df Deviance Resid. Df Resid. Dev Pr(>Chi)
NULL                                105119    132433
factor(G) 11  3203.0  105108    129230 < 2.2e-16 ***
hora      1    77.9  105107    129152 1.67e-15 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> wilcox.test(G1,G2,alternative="greater")
Erro em wilcox.test(G1, G2, alternative = "greater") :
objeto 'G1' não encontrado
> GC1=GC[G==1]
> GC2=GC[G==2]
> GC3=GC[G==3]
> GC4=GC[G==4]
> GC5=GC[G==5]
> GC6=GC[G==6]
> GC7=GC[G==7]
> GC8=GC[G==8]
> GC9=GC[G==9]
> GC10=GC[G==10]
> GC11=GC[G==11]
> GC12=GC[G==12]

> wilcox.test(GC1,GC2,alternative="greater")
Wilcoxon rank sum test with continuity correction

```

```

data: GC1 and GC2
W = 37229912, p-value = 0.9997
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

> wilcox.test(GC1,GC3,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC3
W = 30582360, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

> wilcox.test(GC1,GC4,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC4
W = 48936669, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

> wilcox.test(GC1,GC5,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC5
W = 33677599, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

> wilcox.test(GC1,GC6,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC6
W = 35657876, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

> wilcox.test(GC1,GC7,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC7
W = 30118904, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

> wilcox.test(GC1,GC8,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC8
W = 47109867, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

> wilcox.test(GC1,GC9,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC9
W = 41810322, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

> wilcox.test(GC1,GC10,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC10
W = 38277777, p-value = 0.6072
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

> wilcox.test(GC1,GC11,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC11
W = 31111126, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

> wilcox.test(GC1,GC12,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction

```

data: GC1 and GC12
 W = 49871546, p-value < 2.2e-16
 alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

```
> wilcox.test(GC1,GC2,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC2
W = 37229912, p-value = 0.0006679
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.028635746 -0.008003065
sample estimates:
difference in location
-0.01846795
```

```
> wilcox.test(GC1,GC3,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC3
W = 30582360, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.2199123 -0.1960460
sample estimates:
difference in location
-0.2081608
```

```
> wilcox.test(GC1,GC4,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC4
W = 48936669, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
0.4391577 0.4759332
sample estimates:
difference in location
0.4578076
```

```
> wilcox.test(GC1,GC5,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC5
W = 33677599, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.09353711 -0.07159530
sample estimates:
difference in location
-0.08256656
```

```
> wilcox.test(GC1,GC6,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC6
W = 35657876, p-value = 5.547e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.05703300 -0.03652246
sample estimates:
difference in location
-0.04694487
```

```
> wilcox.test(GC1,GC7,conf.int=T)
```

```

Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC7
W = 30118904, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.2321993 -0.2069886
sample estimates:
difference in location
-0.2198596

```

```

> wilcox.test(GC1,GC8,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC8
W = 47109867, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
0.3147517 0.3501053
sample estimates:
difference in location
0.3327408

```

```

> wilcox.test(GC1,GC9,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC9
W = 41810322, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
0.05315186 0.07721100
sample estimates:
difference in location
0.06520681

```

```

> wilcox.test(GC1,GC10,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC10
W = 38277777, p-value = 0.7857
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.011771969 0.009150628
sample estimates:
difference in location
-0.001451282

```

```

> wilcox.test(GC1,GC11,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC11
W = 31111126, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.1992850 -0.1741097
sample estimates:
difference in location
-0.1869671

```

```

> wilcox.test(GC1,GC12,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC12
W = 49871546, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:

```

```
0.5334948 0.5699563
sample estimates:
difference in location
0.5520322
```

4.3. Campina Grande – ganhos de calor das paredes

```
> qdt=read.table(file.choose(),head=T, dec=",")
> attach(qdt)
> m=lm(GC~factor(G)+hora)
> summary(m)
Call:
lm(formula = GC ~ factor(G) + hora)
Residuals:
    Min     1Q   Median     3Q    Max
-2.97034 -0.20646  0.02704  0.28219  1.66153
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -0.3173546  0.0057486 -55.206 < 2e-16 ***
factor(G)2   0.0704178  0.0072090   9.768 < 2e-16 ***
factor(G)3   0.0515533  0.0072090   7.151 8.66e-13 ***
factor(G)4  -0.1080229  0.0072090 -14.984 < 2e-16 ***
factor(G)5  -0.1210878  0.0072090 -16.797 < 2e-16 ***
factor(G)6   0.0010494  0.0072090   0.146  0.884
factor(G)7  -0.0322975  0.0072090  -4.480 7.47e-06 ***
factor(G)8  -0.3109281  0.0072090 -43.130 < 2e-16 ***
factor(G)9   0.0856493  0.0072090  11.881 < 2e-16 ***
factor(G)10  0.1215815  0.0072090  16.865 < 2e-16 ***
factor(G)11  0.1132246  0.0072090  15.706 < 2e-16 ***
factor(G)12  0.0333151  0.0072090   4.621 3.82e-06 ***
hora         0.0102224  0.0002126  48.087 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
Residual standard error: 0.4771 on 105107 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.07675, Adjusted R-squared:  0.07664
F-statistic: 728.1 on 12 and 105107 DF, p-value: < 2.2e-16
> anova(m,test="F")
Analysis of Variance Table
Response: GC
            Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
factor(G)   11 1462.5  132.96  584.09 < 2.2e-16 ***
hora        1  526.4  526.35 2312.32 < 2.2e-16 ***
Residuals 105107 23925.4    0.23
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> require(nortest)
> lillie.test(resid(m))
Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
data: resid(m)
D = 0.084, p-value < 2.2e-16
> require(car)
> ncvTest(m)
Non-constant Variance Score Test
Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 6439.439 Df = 1 p = 0
> m=glm(GC~factor(G)+hora,family=gaussian(link="identity"))
> summary(m)
```

```

Call:
glm(formula = GC ~ factor(G) + hora, family = gaussian(link = "identity"))
Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.97034 -0.20646  0.02704  0.28219  1.66153
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -0.3173546  0.0057486 -55.206 < 2e-16 ***
factor(G)2   0.0704178  0.0072090   9.768 < 2e-16 ***
factor(G)3   0.0515533  0.0072090   7.151 8.66e-13 ***
factor(G)4  -0.1080229  0.0072090 -14.984 < 2e-16 ***
factor(G)5  -0.1210878  0.0072090 -16.797 < 2e-16 ***
factor(G)6   0.0010494  0.0072090   0.146  0.884
factor(G)7  -0.0322975  0.0072090  -4.480 7.47e-06 ***
factor(G)8  -0.3109281  0.0072090 -43.130 < 2e-16 ***
factor(G)9   0.0856493  0.0072090  11.881 < 2e-16 ***
factor(G)10  0.1215815  0.0072090  16.865 < 2e-16 ***
factor(G)11  0.1132246  0.0072090  15.706 < 2e-16 ***
factor(G)12  0.0333151  0.0072090   4.621 3.82e-06 ***
hora         0.0102224  0.0002126  48.087 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
(Dispersion parameter for gaussian family taken to be 0.227629)
Null deviance: 25914  on 105119  degrees of freedom
Residual deviance: 23925  on 105107  degrees of freedom
AIC: 142751
Number of Fisher Scoring iterations: 2
> anova(m,test="Chisq")
Analysis of Deviance Table
Model: gaussian, link: identity
Response: GC
Terms added sequentially (first to last)
      Df Deviance Resid. Df Resid. Dev Pr(>Chi)
NULL                105119    25914
factor(G) 11 1462.53  105108    24452 < 2.2e-16 ***
hora      1  526.35  105107    23925 < 2.2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> GC1=GC[G==1]
> GC2=GC[G==2]
> GC3=GC[G==3]
> GC4=GC[G==4]
> GC5=GC[G==5]
> GC6=GC[G==6]
> GC7=GC[G==7]
> GC8=GC[G==8]
> GC9=GC[G==9]
> GC10=GC[G==10]
> GC11=GC[G==11]
> GC12=GC[G==12]

> wilcox.test(GC1,GC2,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data:  GC1 and GC2
W = 32616259, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

> wilcox.test(GC1,GC3,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data:  GC1 and GC3

```

W = 35644866, p-value = 1
 alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

```
> wilcox.test(GC1,GC4,alternative="greater")
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC4
W = 31063755, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC5,alternative="greater")
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC5
W = 48480417, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC6,alternative="greater")
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC6
W = 41149687, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC7,alternative="greater")
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC7
W = 45659561, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC8,alternative="greater")
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC8
W = 50216009, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC9,alternative="greater")
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC9
W = 29438414, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC10,alternative="greater")
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC10
W = 26488219, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC11,alternative="greater")
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC11
W = 27814489, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC12,alternative="greater")
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC12
W = 26266012, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC2,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC2
```

```

W = 32616259, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.06789696 -0.05370783
sample estimates:
difference in location
-0.06075663

```

```

> wilcox.test(GC1,GC3,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC3
W = 35644866, p-value = 4.027e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.04153711 -0.02539536
sample estimates:
difference in location
-0.03346998

```

```

> wilcox.test(GC1,GC4,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC4
W = 31063755, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.1481757 -0.1264586
sample estimates:
difference in location
-0.1373768

```

```

> wilcox.test(GC1,GC5,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC5
W = 48480417, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
0.1283268 0.1457569
sample estimates:
difference in location
0.1370332

```

```

> wilcox.test(GC1,GC6,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC6
W = 41149687, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
0.03136163 0.05059230
sample estimates:
difference in location
0.04102171

```

```

> wilcox.test(GC1,GC7,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC7
W = 45659561, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
0.1555230 0.1827836
sample estimates:

```

```

difference in location
0.1693171

> wilcox.test(GC1,GC8,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC8
W = 50216009, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
0.1582041 0.1757789
sample estimates:
difference in location
0.1669762

> wilcox.test(GC1,GC9,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC9
W = 29438414, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.1500685 -0.1314899
sample estimates:
difference in location
-0.140843

> wilcox.test(GC1,GC10,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC10
W = 26488219, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.1538655 -0.1392790
sample estimates:
difference in location
-0.1465926

> wilcox.test(GC1,GC11,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC11
W = 27814489, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.09383754 -0.08253394
sample estimates:
difference in location
-0.0881624

> wilcox.test(GC1,GC12,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC12
W = 26266012, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.3970259 -0.3697608
sample estimates:
difference in location
-0.3836363

```

4.4. Campina Grande – ganhos de calor das cobertas

```

> qdt=read.table(file.choose(),head=T, dec=",")
> attach(qdt)
> m=lm(GC~factor(G)+hora)
> summary(m)
Call:
lm(formula = GC ~ factor(G) + hora)
Residuals:
    Min     1Q   Median     3Q      Max
-3.8670 -0.4825 -0.1076  0.1399  7.1851
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  0.3402312  0.0134617  25.274 < 2e-16 ***
factor(G)2   -0.1781362  0.0168816 -10.552 < 2e-16 ***
factor(G)3   -0.1320431  0.0168816  -7.822 5.26e-15 ***
factor(G)4    0.2063505  0.0168816  12.223 < 2e-16 ***
factor(G)5    0.0515977  0.0168816   3.056 0.00224 **
factor(G)6   -0.1614749  0.0168816  -9.565 < 2e-16 ***
factor(G)7   -0.1073579  0.0168816  -6.359 2.03e-10 ***
factor(G)8    0.3199849  0.0168816  18.955 < 2e-16 ***
factor(G)9   -0.0388127  0.0168816  -2.299 0.02150 *
factor(G)10  -0.1919933  0.0168816 -11.373 < 2e-16 ***
factor(G)11  -0.1525225  0.0168816  -9.035 < 2e-16 ***
factor(G)12   0.1344194  0.0168816   7.962 1.70e-15 ***
hora        -0.0035184  0.0004978  -7.068 1.58e-12 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
Residual standard error: 1.117 on 105107 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.02066, Adjusted R-squared:  0.02055
F-statistic: 184.8 on 12 and 105107 DF, p-value: < 2.2e-16
> anova(m,test="F")
Analysis of Variance Table
Response: GC
            Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
factor(G)   11  2706 245.991 197.068 < 2.2e-16 ***
hora         1    62  62.355  49.954 1.584e-12 ***
Residuals 105107 131200   1.248
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> require(nortest)
> lillie.test(resid(m))
      Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
data:  resid(m)
D = 0.2044, p-value < 2.2e-16
> require(car)
> ncvTest(m)
Non-constant Variance Score Test
Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 79840.61  Df = 1    p = 0
> m=glm(GC~factor(G)+hora,family=gaussian(link="identity"))
> summary(m)
Call:
glm(formula = GC ~ factor(G) + hora, family = gaussian(link = "identity"))
Deviance Residuals:
    Min     1Q   Median     3Q      Max
-3.8670 -0.4825 -0.1076  0.1399  7.1851
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)

```

```
(Intercept) 0.3402312 0.0134617 25.274 < 2e-16 ***
factor(G)2 -0.1781362 0.0168816 -10.552 < 2e-16 ***
factor(G)3 -0.1320431 0.0168816 -7.822 5.26e-15 ***
factor(G)4 0.2063505 0.0168816 12.223 < 2e-16 ***
factor(G)5 0.0515977 0.0168816 3.056 0.00224 **
factor(G)6 -0.1614749 0.0168816 -9.565 < 2e-16 ***
factor(G)7 -0.1073579 0.0168816 -6.359 2.03e-10 ***
factor(G)8 0.3199849 0.0168816 18.955 < 2e-16 ***
factor(G)9 -0.0388127 0.0168816 -2.299 0.02150 *
factor(G)10 -0.1919933 0.0168816 -11.373 < 2e-16 ***
factor(G)11 -0.1525225 0.0168816 -9.035 < 2e-16 ***
factor(G)12 0.1344194 0.0168816 7.962 1.70e-15 ***
hora -0.0035184 0.0004978 -7.068 1.58e-12 ***
---
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
(Dispersion parameter for gaussian family taken to be 1.248256)
Null deviance: 133969 on 105119 degrees of freedom
Residual deviance: 131200 on 105107 degrees of freedom
AIC: 321643
Number of Fisher Scoring iterations: 2
```

```
> anova(m,test="Chisq")
Analysis of Deviance Table
Model: gaussian, link: identity
Response: GC
Terms added sequentially (first to last)
      Df Deviance Resid. Df Resid. Dev Pr(>Chi)
NULL                105119    133969
factor(G) 11 2705.90   105108    131263 < 2.2e-16 ***
hora      1   62.35   105107    131200 1.574e-12 ***
---
```

```
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
> GC1=GC[G==1]
> GC2=GC[G==2]
> GC3=GC[G==3]
> GC4=GC[G==4]
> GC5=GC[G==5]
> GC6=GC[G==6]
> GC7=GC[G==7]
> GC8=GC[G==8]
> GC9=GC[G==9]
> GC10=GC[G==10]
> GC11=GC[G==11]
> GC12=GC[G==12]
```

```
> wilcox.test(GC1,GC2,alternative="greater")
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC2
W = 36604841, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC3,alternative="greater")
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC3
W = 31090823, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC4,alternative="greater")
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC4
```

W = 48952014, p-value < 2.2e-16
 alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

```
> wilcox.test(GC1,GC5,alternative="greater")
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC5
W = 33581642, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC6,alternative="greater")
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC6
W = 35452041, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC7,alternative="greater")
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC7
W = 30636229, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC8,alternative="greater")
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC8
W = 47541760, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC9,alternative="greater")
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC9
W = 41787219, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC10,alternative="greater")
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC10
W = 37365427, p-value = 0.9986
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC11,alternative="greater")
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC11
W = 31575523, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC12,alternative="greater")
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC12
W = 49544289, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC2,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC2
W = 36604841, p-value = 1.366e-07
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.04578680 -0.02234277
sample estimates:
difference in location
```

-0.03438132

```
> wilcox.test(GC1,GC3,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC3
W = 31090823, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.2241344 -0.1970868
sample estimates:
difference in location
-0.2108205
```

```
> wilcox.test(GC1,GC4,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC4
W = 48952014, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
0.4781495 0.5155657
sample estimates:
difference in location
0.49704
```

```
> wilcox.test(GC1,GC5,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC5
W = 33581642, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.09538929 -0.07397728
sample estimates:
difference in location
-0.0847367
```

```
> wilcox.test(GC1,GC6,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC6
W = 35452041, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.07404852 -0.05004823
sample estimates:
difference in location
-0.06237568
```

```
> wilcox.test(GC1,GC7,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC7
W = 30636229, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.2285011 -0.2003037
sample estimates:
difference in location
-0.2147204
```

```
> wilcox.test(GC1,GC8,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC8
```

```
W = 47541760, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.3516923 0.3854510
sample estimates:
difference in location
 0.3687645
```

```
> wilcox.test(GC1,GC9,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC9
W = 41787219, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.05495715 0.07949819
sample estimates:
difference in location
 0.06726852
```

```
> wilcox.test(GC1,GC10,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC10
W = 37365427, p-value = 0.002721
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.030337310 -0.006706035
sample estimates:
difference in location
-0.01885388
```

```
> wilcox.test(GC1,GC11,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC11
W = 31575523, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.2029836 -0.1753441
sample estimates:
difference in location
-0.1893419
```

```
> wilcox.test(GC1,GC12,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC12
W = 49544289, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 0.5734921 0.6115258
sample estimates:
difference in location
 0.5927704
```

4.5. Patos – ganhos de calor das paredes

```
> qdt=read.table(file.choose(),head=T, dec=",")
> attach(qdt)
> m=lm(GC~factor(G)+hora)
```

```

> summary(m)
Call:
lm(formula = GC ~ factor(G) + hora)
Residuals:
    Min     1Q   Median     3Q      Max
-5.5761 -0.5309 -0.1022  0.1924  7.2116
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  0.3944765  0.0153566  25.688 < 2e-16 ***
factor(G)2   -0.2226265  0.0192580 -11.560 < 2e-16 ***
factor(G)3   -0.1627483  0.0192580  -8.451 < 2e-16 ***
factor(G)4    0.2546828  0.0192580  13.225 < 2e-16 ***
factor(G)5    0.0625694  0.0192580   3.249 0.001158 **
factor(G)6   -0.2028196  0.0192580 -10.532 < 2e-16 ***
factor(G)7   -0.1323886  0.0192580  -6.874 6.26e-12 ***
factor(G)8    0.3865730  0.0192580  20.073 < 2e-16 ***
factor(G)9   -0.0449374  0.0192580  -2.333 0.019627 *
factor(G)10  -0.2385022  0.0192580 -12.385 < 2e-16 ***
factor(G)11  -0.1847272  0.0192580  -9.592 < 2e-16 ***
factor(G)12   0.1717501  0.0192580   8.918 < 2e-16 ***
hora         -0.0020544  0.0005679  -3.618 0.000297 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
Residual standard error: 1.275 on 105107 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.02353, Adjusted R-squared:  0.02342
F-statistic: 211.1 on 12 and 105107 DF, p-value: < 2.2e-16
> anova(m, test="F")
Analysis of Variance Table
Response: GC
            Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
factor(G)    11  4093  372.13 229.082 < 2.2e-16 ***
hora          1    21   21.26  13.087 0.0002974 ***
Residuals 105107 170738    1.62
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> require(nortest)
> lillie.test(resid(m))
Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
data: resid(m)
D = 0.1903, p-value < 2.2e-16
> require(car)
> ncvTest(m)
Non-constant Variance Score Test
Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 82431.77 Df = 1 p = 0
> m=glm(GC~factor(G)+hora,family=gaussian(link="identity"))
> summary(m)
Call:
glm(formula = GC ~ factor(G) + hora, family = gaussian(link = "identity"))
Deviance Residuals:
    Min     1Q   Median     3Q      Max
-5.5761 -0.5309 -0.1022  0.1924  7.2116
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  0.3944765  0.0153566  25.688 < 2e-16 ***
factor(G)2   -0.2226265  0.0192580 -11.560 < 2e-16 ***
factor(G)3   -0.1627483  0.0192580  -8.451 < 2e-16 ***
factor(G)4    0.2546828  0.0192580  13.225 < 2e-16 ***
factor(G)5    0.0625694  0.0192580   3.249 0.001158 **
factor(G)6   -0.2028196  0.0192580 -10.532 < 2e-16 ***

```

```

factor(G)7 -0.1323886 0.0192580 -6.874 6.26e-12 ***
factor(G)8 0.3865730 0.0192580 20.073 < 2e-16 ***
factor(G)9 -0.0449374 0.0192580 -2.333 0.019627 *
factor(G)10 -0.2385022 0.0192580 -12.385 < 2e-16 ***
factor(G)11 -0.1847272 0.0192580 -9.592 < 2e-16 ***
factor(G)12 0.1717501 0.0192580 8.918 < 2e-16 ***
hora -0.0020544 0.0005679 -3.618 0.000297 ***
---
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
(Dispersion parameter for gaussian family taken to be 1.624419)
Null deviance: 174852 on 105119 degrees of freedom
Residual deviance: 170738 on 105107 degrees of freedom
AIC: 349332
Number of Fisher Scoring iterations: 2
> anova(m,test="Chisq")
Analysis of Deviance Table
Model: gaussian, link: identity
Response: GC
Terms added sequentially (first to last)
      Df Deviance Resid. Df Resid. Dev Pr(>Chi)
NULL                105119  174852
factor(G) 11 4093.4  105108  170759 < 2.2e-16 ***
hora      1   21.3  105107  170738 0.0002973 ***
---
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> GC1=GC[G==1]
> GC2=GC[G==2]
> GC3=GC[G==3]
> GC4=GC[G==4]
> GC5=GC[G==5]
> GC6=GC[G==6]
> GC7=GC[G==7]
> GC8=GC[G==8]
> GC9=GC[G==9]
> GC10=GC[G==10]
> GC11=GC[G==11]
> GC12=GC[G==12]

> wilcox.test(GC1,GC2,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data:  GC1 and GC2
W = 37691998, p-value = 0.9784
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

> wilcox.test(GC1,GC3,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data:  GC1 and GC3
W = 32633439, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

> wilcox.test(GC1,GC4,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data:  GC1 and GC4
W = 48398301, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

> wilcox.test(GC1,GC5,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data:  GC1 and GC5
W = 33478107, p-value = 1

```

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

```
> wilcox.test(GC1,GC6,alternative="greater")
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC6
W = 36613755, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC7,alternative="greater")
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC7
W = 32055189, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC8,alternative="greater")
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC8
W = 47343750, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC9,alternative="greater")
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC9
W = 41674476, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC10,alternative="greater")
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC10
W = 38387394, p-value = 0.4779
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC11,alternative="greater")
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC11
W = 33175162, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC12,alternative="greater")
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC12
W = 48588404, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC2,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC2
W = 37691998, p-value = 0.04318
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.0328653240 -0.0005459661
sample estimates:
difference in location
-0.01729966
```

```
> wilcox.test(GC1,GC3,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC3
W = 32633439, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

95 percent confidence interval:

-0.2341509 -0.1952997

sample estimates:

difference in location

-0.2153658

```
> wilcox.test(GC1,GC4,conf.int=T)
```

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: GC1 and GC4

W = 48398301, p-value < 2.2e-16

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

95 percent confidence interval:

0.5726106 0.6129491

sample estimates:

difference in location

0.5931157

```
> wilcox.test(GC1,GC5,conf.int=T)
```

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: GC1 and GC5

W = 33478107, p-value < 2.2e-16

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-0.11707669 -0.09110206

sample estimates:

difference in location

-0.1041194

4.6. Patos – ganhos de calor das cobertas

```
> qdt=read.table(file.choose(),head=T, dec=",")
```

```
> attach(qdt)
```

```
> m=lm(GC~factor(G)+hora)
```

```
> summary(m)
```

Call:

lm(formula = GC ~ factor(G) + hora)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-5.5761	-0.5309	-0.1022	0.1924	7.2116

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.3944765	0.0153566	25.688	< 2e-16 ***
factor(G)2	-0.2226265	0.0192580	-11.560	< 2e-16 ***
factor(G)3	-0.1627483	0.0192580	-8.451	< 2e-16 ***
factor(G)4	0.2546828	0.0192580	13.225	< 2e-16 ***
factor(G)5	0.0625694	0.0192580	3.249	0.001158 **
factor(G)6	-0.2028196	0.0192580	-10.532	< 2e-16 ***
factor(G)7	-0.1323886	0.0192580	-6.874	6.26e-12 ***
factor(G)8	0.3865730	0.0192580	20.073	< 2e-16 ***
factor(G)9	-0.0449374	0.0192580	-2.333	0.019627 *
factor(G)10	-0.2385022	0.0192580	-12.385	< 2e-16 ***
factor(G)11	-0.1847272	0.0192580	-9.592	< 2e-16 ***
factor(G)12	0.1717501	0.0192580	8.918	< 2e-16 ***
hora	-0.0020544	0.0005679	-3.618	0.000297 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1.275 on 105107 degrees of freedom

```

Multiple R-squared: 0.02353, Adjusted R-squared: 0.02342
F-statistic: 211.1 on 12 and 105107 DF, p-value: < 2.2e-16
> anova(m,test="F")
Analysis of Variance Table
Response: GC
      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
factor(G)  11  4093  372.13 229.082 < 2.2e-16 ***
hora       1   21  21.26  13.087 0.0002974 ***
Residuals 105107 170738  1.62
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> require(nortest)
> lillie.test(resid(m))
      Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
data: resid(m)
D = 0.1903, p-value < 2.2e-16
> require(car)
> ncvTest(m)
Non-constant Variance Score Test
Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 82431.77  Df = 1  p = 0
> m=glm(GC~factor(G)+hora,family=gaussian(link="identity"))
> summary(m)
Call:
glm(formula = GC ~ factor(G) + hora, family = gaussian(link = "identity"))
Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-5.5761 -0.5309 -0.1022  0.1924  7.2116
Coefficients:
      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  0.3944765  0.0153566  25.688 < 2e-16 ***
factor(G)2   -0.2226265  0.0192580 -11.560 < 2e-16 ***
factor(G)3   -0.1627483  0.0192580  -8.451 < 2e-16 ***
factor(G)4    0.2546828  0.0192580  13.225 < 2e-16 ***
factor(G)5    0.0625694  0.0192580   3.249 0.001158 **
factor(G)6   -0.2028196  0.0192580 -10.532 < 2e-16 ***
factor(G)7   -0.1323886  0.0192580  -6.874 6.26e-12 ***
factor(G)8    0.3865730  0.0192580  20.073 < 2e-16 ***
factor(G)9   -0.0449374  0.0192580  -2.333 0.019627 *
factor(G)10  -0.2385022  0.0192580 -12.385 < 2e-16 ***
factor(G)11  -0.1847272  0.0192580  -9.592 < 2e-16 ***
factor(G)12   0.1717501  0.0192580   8.918 < 2e-16 ***
hora        -0.0020544  0.0005679  -3.618 0.000297 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
(Dispersion parameter for gaussian family taken to be 1.624419)
Null deviance: 174852 on 105119 degrees of freedom
Residual deviance: 170738 on 105107 degrees of freedom
AIC: 349332
Number of Fisher Scoring iterations: 2
> anova(m,test="Chisq")
Analysis of Deviance Table
Model: gaussian, link: identity
Response: GC
Terms added sequentially (first to last)
      Df Deviance Resid. Df Resid. Dev Pr(>Chi)
NULL              105119    174852
factor(G) 11  4093.4  105108    170759 < 2.2e-16 ***
hora     1    21.3  105107    170738 0.0002973 ***
---

```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> GC1=GC[G==1]
> GC2=GC[G==2]
> GC3=GC[G==3]
> GC4=GC[G==4]
> GC5=GC[G==5]
> GC6=GC[G==6]
> GC7=GC[G==7]
> GC8=GC[G==8]
> GC9=GC[G==9]
> GC10=GC[G==10]
> GC11=GC[G==11]
> GC12=GC[G==12]
```

```
> wilcox.test(GC1,GC2,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data:  GC1 and GC2
W = 37691998, p-value = 0.9784
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC3,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data:  GC1 and GC3
W = 32633439, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC4,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data:  GC1 and GC4
W = 48398301, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC5,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data:  GC1 and GC5
W = 33478107, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC6,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data:  GC1 and GC6
W = 36613755, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC7,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data:  GC1 and GC7
W = 32055189, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC8,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data:  GC1 and GC8
W = 47343750, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC9,alternative="greater")
    Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data:  GC1 and GC9
W = 41674476, p-value < 2.2e-16
```

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

```
> wilcox.test(GC1,GC10,alternative="greater")
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC10
W = 38387394, p-value = 0.4779
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC11,alternative="greater")
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC11
W = 33175162, p-value = 1
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC12,alternative="greater")
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC12
W = 48588404, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0
```

```
> wilcox.test(GC1,GC2,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC2
W = 37691998, p-value = 0.04318
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.0328653240 -0.0005459661
sample estimates:
difference in location
-0.01729966
```

```
> wilcox.test(GC1,GC3,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC3
W = 32633439, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.2341509 -0.1952997
sample estimates:
difference in location
-0.2153658
```

```
> wilcox.test(GC1,GC4,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC4
W = 48398301, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
0.5726106 0.6129491
sample estimates:
difference in location
0.5931157
```

```
> wilcox.test(GC1,GC5,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC5
W = 33478107, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.11707669 -0.09110206
```

sample estimates:
difference in location
-0.1041194

```
> wilcox.test(GC1,GC6,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC6
W = 36613755, p-value = 1.578e-07
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.06513385 -0.03120573
sample estimates:
difference in location
-0.04877982
```

```
> wilcox.test(GC1,GC7,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC7
W = 32055189, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.2350489 -0.1976125
sample estimates:
difference in location
-0.2167366
```

```
> wilcox.test(GC1,GC8,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC8
W = 47343750, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
0.4196108 0.4577944
sample estimates:
difference in location
0.439073
```

```
> wilcox.test(GC1,GC9,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC9
W = 41674476, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
0.06376005 0.09312747
sample estimates:
difference in location
0.07854873
```

```
> wilcox.test(GC1,GC10,conf.int=T)
Wilcoxon rank sum test with continuity correction
data: GC1 and GC10
W = 38387394, p-value = 0.9557
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
-0.01481621 0.01673493
sample estimates:
difference in location
0.0004531687
```