

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo



Dissertação

**AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE DESEMPENHO
TÉRMICO DA NBR 15.575/2013: HABITAÇÕES DE
INTERESSE SOCIAL NA ZONA BIOCLIMÁTICA 2**

Maicon Motta Soares

Pelotas, 2014

MAICON MOTTA SOARES

**AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE DESEMPENHO TÉRMICO DA NBR
15575/2013: HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL NA ZONA BIOCLIMÁTICA 2**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador Prof. Dr. Antônio César Silveira Baptista da Silva

Pelotas, 2014

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

S676a Soares, Maicon Motta

Avaliação dos Parâmetros de Desempenho Térmico da NBR 15.575/2013 : habitações de interesse social na zona bioclimática 2 / Maicon Motta Soares ; Antônio César Silveira Baptista da Silva, orientador. — Pelotas, 2014.

159 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, 2014.

1. NBR 15.575. 2. Desempenho térmico. 3. Avaliação de parâmetros. I. Silva, Antônio César Silveira Baptista da, orient. II. Título.

CDD : 720

BANCA EXAMINADORA

Professor Doutor Eduardo Grala da Cunha

Universidade Federal de Pelotas

Professora Doutora Isabel Tourinho Salamoni

Universidade Federal de Pelotas

Professora Doutora Giane de Campos Grigoletti

Universidade Federal de Santa Maria

AGRADECIMENTOS

Agradeço, acima de tudo, à Deus, por cada momento da minha vida. Principalmente pelo melhor de todos os presentes que Ele me proporcionou, o de ser pai de uma linda menina, a Maria Eduarda, que hoje é minha razão de viver.

A minha esposa Andréia, por momentos inesquecíveis e por estar ao meu lado sempre, apoiando, incentivando a cada jornada. Sem ela, com certeza, o caminho seria muito mais difícil, que nos momentos de dificuldade sempre me dizia que acreditava em mim.

Aos meus Pais, Paulo e Nóris, e minha irmã Letícia, que várias vezes me perguntavam: “como está o mestrado?” E, com certeza essa é uma pergunta que cada mestrando não gosta de ouvir... Mas eles foram e são cruciais também nessa minha trajetória, que nunca abriram mão da minha educação, me incentivando com palavras de carinho e força para concluir essa etapa.

A todos os familiares e amigos que sempre estiveram presentes em cada momento.

Ao meu orientador, Professor Antônio César, pela visão que teve com relação ao tema da dissertação e por cada dedicação e orientação ao trabalho, sempre mostrando novidades a serem utilizadas para desenvolver um ótimo trabalho.

Ao Professor Eduardo Grala, pela parceria e ajuda durante todo o desenvolvimento do trabalho.

Aos colegas do PROGRAU, funcionários e bolsistas do LABCEE/UFPel, principalmente ao Muriel Franco, que sem sombra de dúvida contribuiu muito no desenvolvimento do trabalho na parte das simulações computacionais. Ao funcionário Mestre Eng. Elet. Liader Oliveira, que foi o precursor e ajudou com a escolha do tema proposto e sempre me atendia ao telefone, principalmente no domingo, para me ajudar na dissertação. O colega Carlos Krebs, que contribuiu bastante com o trabalho, principalmente revisando-o.

Aos demais colegas do LABCEE/UFPel e FaUrb pelo apoio e carinho.

RESUMO

SOARES, Maicon Motta. **Avaliação dos Parâmetros de Desempenho Térmico da NBR 15.575/2013: Habitações de Interesse Social na Zona Bioclimática 2.** 2014. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFPel, Pelotas-RS.

Os instrumentos e diretrizes de projeto são fundamentais para auxiliar no cenário da arquitetura no país. Os desenvolvimentos de avaliações de desempenho térmico contribuem para essas estratégias projetuais. Este trabalho contribui com o assunto através da avaliação das prescrições da NBR 15.575 (ABNT, 2013), na sua aplicação na Zona Bioclimática 2 em Habitações de Interesse Social. Para tanto, definiu-se uma HIS com as especificações limites mencionados pela NBR 15.575 (ABNT, 2013). Após, configurando combinações para diferentes parâmetros de avaliação de desempenho, se chegou em um total de 6912 combinações possíveis, foram selecionadas e simuladas 300 dessas combinações, obtidas de padrão aleatório, através do método do Hipercubo-latino. Foram selecionadas as temperaturas em relação aos dias típicos de inverno e verão. No segundo momento, foi feita a proposta da utilização de análise através dos graus-hora, ao invés da análise pelos dias típicos. No desenvolvimento das análises, após analisar os resultados das simulações, foi proposto a utilização de novos valores de referência tanto para os graus-hora quanto para os limites indicados na norma, pois os limites anteriores se mostraram sendo muito elevados. Para as novas configurações, foi empregado também a análise das combinações com a edificação ocupada, seguindo a determinação do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Isso possibilitou a criação de um outro limite para atingir o nível de desempenho, caso a edificação venha a ser simulada desta maneira. Os resultados encontrados demonstraram que os critérios adotados pelo Método de Simulação, através dos dias típicos, facilitariam a aprovação de configurações com valores muito abaixo ou acima dos limites do Método Simplificado da NBR 15.575 (ABNT, 2013). Em relação aos graus-hora a análise mostrou-se mais coerente com relação às configurações aprovadas e Esses novos limites adotados para os graus-horas mostraram-se muito mais pertinentes, dificultando para as configurações, que estão fora desses limites, conseguissem sistematicamente serem aprovadas.

Palavras-chave: NBR 15575, desempenho térmico, avaliação de parâmetros.

ABSTRACT

SOARES, Maicon Motta. **Survey from the Thermal Performing Parameter of 15.575/2013 NBR: Social Interest Habitations at 2 Bioclimatic Zone.** 2014. Dissertation (Architecture Masterchip) – Post Graduation Program in Architecture and Town Planning, UFPel, Pelotas-RS.

The projecting instruments and directions are essential for helping in the country architecturing view. The surveys' developments from thermal performing contribute for the projecting strategies. This work helps to the subject through the prescribing survey of 15.575 NBR (2013 ABNT), about its application on 2 bioclimatic zone in social interest habitations. Due to this, it was defined an HIS with limited specifications mentioned by 15.575 NBR (2013 ABNT). Afterwards, it was performed a combining configuration for the different parameters of the performing survey and, as a result, a total of 6912 possible combinations were done. From these, 300 combinations were selected and simulated, obtained by aleatory pattern by means of hypercube – latin method. The temperatures related to typical days of winter and summer were selected. At a second moment, it was performed an analysing employing (utilizing) proposal by grades/hour instead of analysing the typical days. At the analyses' development after considering the simulating results, it was proposed a new reference values' utilization both to grades/hour and the limits indicated in the rule (pattern), so that the anterior limits showed to be very high. For the new configurations, it was also employed a combining analysis with occupied edification following the technical rule of quality determination for the energetic efficiency level of housing edifications (RTQ-R). Consequently, it made possible the creation of another limit for attaching the performing level whether the building may be simulated on this way. The results which were found demonstrated that the criteria adopted by simulating method according to typical days would make easier the configurations' approval with much low valves or above the limits from 15.575 NBR simplified method (2013 ABNT).

The analysis showed to be more logical related to grades/hour and the approved configurations and these new limits adopted for grades/hour' ones showed to be much more pertinent, raising difficulties for the configurations that are out of these limits and they could systematically be approved.

Keywords: 15.575 NBR, Thermal Performing, Parameters' Survey

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Regiões climáticas no Brasil.....	18
Figura 2 - Zonas bioclimáticas no Rio Grande do Sul	19
Figura 3 – Escala PMV	26
Figura 4 - Relação PMV e PPD	27
Figura 5 - Faixas de Conforto de Temperaturas Operativas para espaços Naturalmente condicionados	28
Figura 6 - Carta bioclimática de Givoni.....	29
Figura 7 - Representação do conceito de graus-hora	30
Figura 8 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro	33
Figura 9 – Desempenho térmico das vedações	34
Figura 10 - Interface gráfica do <i>EnergyPlus</i>	46
Figura 11 - Interface gráfica do <i>DesignBuilder</i>	47
Figura 12 - Intervalos usados pela amostra hipercubo latina para variáveis dedistribuição normal e uniforme	49
Figura 13 – Fluxograma das etapas do desenvolvimento da pesquisa	51
Figura 14 – Planta baixa da edificação.....	52
Figura 15 - Orientação do dormitório 1 para o dia típico de verão	55
Figura 16 - Orientação do dormitório 2 para o dia típico de inverno.....	56
Figura 17 - Orientação solar da cobertura: (a) Eixo leste-oeste; (b) Eixo norte-sul.....	56
Figura 18 - Componente equivalente	62
Figura 19 - Parede equivalente da ZB2.....	63
Figura 20 - Bloco das zonas térreas	65
Figura 21 - Bloco das zonas da Cobertura	66
Figura 22 - Distribuições de probabilidade das variáveis analisadas	69
Figura 23 - Carta bioclimática de Santa Maria - RS	72
Figura 24 – Gráfico “ <i>boxplot</i> ”	76
Figura 25- Seleção através do método boxplot para o Dia Típico de inverno	104
Figura 26 - Seleção através do método boxplot para o Dia Típico de verão.....	104
Figura 27 - Gráfico da distribuição normal dos desempenhos.....	110
Figura 28 - Ocorrência dos valores de Transmitância Térmica das paredes nos dormitórios 1 e 2	112
Figura 29 - Ocorrência dos valores de Capacidade Térmica das paredes nos dormitórios 1 e 2	113
Figura 30 - Ocorrência dos valores de Absortância Solar das paredes nos dormitórios 1 e 2	113
Figura 31 - Ocorrência dos valores de Transmitância Térmica da cobertura nos dormitórios 1 e 2...	114

Figura 32 - Ocorrência dos valores de Capacidade Térmica da cobertura nos dormitórios 1 e 2.....	114
Figura 33 - Gráfico das Ocorrência real da Transmitância Térmica das paredes.....	116
Figura 34 - Gráfico das Ocorrência real da Capacidade Térmica das paredes.....	117
Figura 35 - Gráfico das Ocorrência real da Transmitância Térmica da cobertura	117
Figura 36 - Gráfico das Ocorrência real da Transmitância Térmica da cobertura	118
Figura 37 - Gráfico das Ocorrência real da Capacidade Térmica da cobertura	119
Figura 47a – Configurações geradas pelo <i>SimLab</i>	154

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão	35
Tabela 2- Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno.....	36
Tabela 3– Desempenho térmico das vedações (dia típico de verão).....	37
Tabela 4 – Desempenho térmico das vedações (dia típico de inverno)	38
Tabela 5 – Critérios que eram adotados para a avaliação de desempenho térmico para a condição de inverno.....	41
Tabela 6 – Critérios que eram adotados para a avaliação de desempenho térmico para a condição de verão.....	41
Tabela 7 - Área mínima de ventilação em dormitórios e sala de estar.....	43
Tabela 8 - Temperatura do solo definida pelo programa <i>SLAB</i>	53
Tabela 9 - Cidades analisadas para determinar o nível de significância	58
Tabela 10 – Frequência de ocorrência das cidades analisadas	59
Tabela 11 - Média das frequências de ocorrências das cidades analisadas	59
Tabela 12 - Frequência de ocorrência adotada para a Zona Bioclimática 2.....	60
Tabela 13 - Definição do dia típico de verão para a Zona Bioclimática 2	60
Tabela 14 - Definição do dia típico de inverno para a Zona Bioclimática 2.....	61
Tabela 15 - Dados dos dias típicos para a Zona Bioclimática 2.....	61
Tabela 16- Valores da parede a serem combinados	67
Tabela 17- Valores da cobertura a serem combinados.....	67
Tabela 18 - Probabilidades dos parâmetros.....	68
Tabela 19 - Configurações variadas do caso-base.....	74
Tabela 20 - Configurações variadas do caso-base.....	75
Tabela 21 - Parâmetros de graus-hora anual do caso-base.....	75
Tabela 22 - Padrão de ocupação (tabela 3.39 do RTQ-R).....	79
Tabela 23 – Taxas metabólicas para cada atividade (tabela 3.40 do RTQ-R).....	79
Tabela 24 – Padrão do uso da iluminação (tabela 3.41 do RTQ-R).....	80
Tabela 25 – Densidade de potência instalada de iluminação (tabela 3.42 do RTQ-R)	80
Tabela 26 – Carga interna de equipamentos (tabela 3.43 do RTQ-R)	80
Tabela 27- Valores de expoentes e camada limite para diferentes categorias de terreno.....	81
Tabela 28- Coeficientes de pressão do vento em habitações com geometria simples	82
Tabela 29 - Dados das simulações para o dia típico de inverno e verão para Upar 1,00Wm ² /K	86
Tabela 30 - Dados das simulações para o dia típico de inverno e verão para Upar 1,75Wm ² /K	87
Tabela 31 - Dados das simulações para o dia típico de inverno e verão para Upar 2,50Wm ² /K	88

Tabela 32 - Dados das simulações para o dia típico de inverno para Upar 3,25Wm ² /K.....	91
Tabela 33 - Dados das simulações para o dia típico de inverno e verão para Upar 4,00Wm ² /K	92
Tabela 34 - Dados das simulações para o dia típico de inverno para Upar 4,75Wm ² /K.....	93
Tabela 35 - Dados das simulações referente aos graus-hora para o dormitório 1e 2 com Upar 1,00Wm ² /K.....	95
Tabela 36 - Dados das simulações referente aos graus-hora para o dormitório 1 e 2 com Upar 1,75Wm ² /K.....	96
Tabela 37 - Dados das simulações referente aos graus-hora para o dormitório 1 e 2 com Upar 2,50Wm ² /K.....	97
Tabela 38 - Dados das simulações referente aos graus-hora para o dormitório 1 e 2 com Upar 3,25Wm ² /K.....	100
Tabela 39 - Dados das simulações referente aos graus-hora para o dormitório 1 e 2 com Upar 4,00Wm ² /K.....	101
Tabela 40 - Dados das simulações referente aos graus-hora para o dormitório 1 e 2 com Upar 4,75Wm ² /K.....	102
Tabela 41 - Temperatura interna das 75 melhores configurações para o Dia Típico de inverno	105
Tabela 42 - Temperatura interna das 75 melhores configurações para o Dia Típico de verão	107
Tabela 43 – Melhores combinações comuns aos dias típicos de inverno e verão.....	109
Tabela 44 - Cálculo da média, desvio padrão e distribuição da normal para os dormitórios 1 e 2 nas 40 combinações comum a ambos.....	111
Tabela 45 - Critérios para determinação dos níveis de desempenho para dormitório 1 (N-O).....	112
Tabela 46 - Critérios para determinação dos níveis de desempenho para dormitório 2 (S-L).....	112
Tabela 47– Novos limites adotados para o Método Simplificado.....	115
Tabela 48 - Ocorrência real da Transmitância Térmica das paredes.....	115
Tabela 49 - Ocorrência real da Capacidade Térmica das paredes.....	116
Tabela 50 - Ocorrência real da Absortância Solar das paredes	117
Tabela 51 - Ocorrência real da Transmitância Térmica da cobertura	118
Tabela 52 - Ocorrência real da Capacidade Térmica da cobertura	119
Tabela 53 - Análise dos Graus-hora para o dormitório 1e 2 com Upar 1,00W/m ² K (novos valores de referência)	121
Tabela 54 - Análise dos Graus-hora para o dormitório 1e 2 com Upar 1,75W/m ² K (novos valores de referência)	122
Tabela 55 - Análise dos Graus-hora para o dormitório 1e 2 com Upar 2,50W/m ² K (novos valores de referência)	123
Tabela 56 - Análise dos Graus-hora para o dormitório 1e 2 com Upar 3,25W/m ² K (novos valores de referência)	126

Tabela 57 - Análise dos Graus-hora para o dormitório 1e 2 com Upar 4,00W/m ² K (novos valores de referência)	127
Tabela 58 - Análise dos Graus-hora para o dormitório 1e 2 com Upar 4,75W/m ² K (novos valores de referência)	128
Tabela 59 - Cálculo da média, desvio padrão e distribuição da normal para os dormitórios 1 e 2 nas 40 combinações comuns a ambos (RTQ-R).....	130
Tabela 60 - Critérios para determinação dos níveis de desempenho para dormitório 1 (N-O) com padrão de ocupação	131
Tabela 61 - Critérios para determinação dos níveis de desempenho para dormitório 2 (S-L) com padrão de ocupação	131
Tabela 62 - Análise dos Graus-hora para o dormitório 1e 2 com Upar 1,00W/m ² K (ocupação RTQ-R)	131
Tabela 63 - Análise dos Graus-hora para o dormitório 1e 2 com Upar 1,75W/m ² K (ocupação RTQ-R)	132
Tabela 64 - Análise dos Graus-hora para o dormitório 1e 2 com Upar 2,50W/m ² K (ocupação RTQ-R)	134
Tabela 65 - Análise dos Graus-hora para o dormitório 1e 2 com Upar 3,25W/m ² K (ocupação RTQ-R)	137
Tabela 66 - Análise dos Graus-hora para o dormitório 1e 2 com Upar 4,00W/m ² K (ocupação RTQ-R)	138
Tabela 67 - Análise dos Graus-hora para o dormitório 1e 2 com Upar 4,75W/m ² K (ocupação RTQ-R)	139

LISTA DE SIGLAS

FO%: Frequência de Ocorrência

ZB2: Zona Bioclimática 2

DT: Dia Típico

U_{par} : Transmitância Térmica da parede

CT_{par} : Capacidade Térmica da parede

AS_{par} : Absortância Térmica da parede

U_{cob} : Transmitância Térmica da cobertura

CT_{cob} : Capacidade Térmica da cobertura

GH: Graus-hora

GHA: Graus-hora de Aquecimento

GHR: Graus-hora de resfriamento

CA: Consumo para aquecimento

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Apresentação do tema	15
1.2	Justificativa do tema.....	17
1.3	Objetivos	21
1.3.1	Objetivo Geral	21
1.3.2	Objetivos específicos.....	21
1.4	Estrutura do trabalho	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1	Arquitetura Bioclimática	23
2.2	Avaliação Termoenérgica de Edificações	25
2.2.1	Normas Internacionais de avaliação de Conforto Térmico	25
2.2.2	Graus-hora e Horas de Desconforto	30
2.2.3	Normas Nacionais de Avaliação	31
2.2.4	RTQ-C e RTQ-R.....	44
2.3	Programas de Simulação Computacional.....	45
2.4	Hipercubo Latino (LHS)	47
3	MÉTODOS.....	50
3.1	Definição do Objeto de Estudo	52
3.1.1	Tipologia e Geometria.....	52
3.1.2	Definição da Temperatura do Solo.....	52
3.1.3	Propriedades Construtivas da Envoltória	53
3.1.4	Ventilação.....	54
3.1.5	Padrão de Ocupação	55
3.1.6	Orientação Solar.....	55
3.1.7	Definição do Dia Típico.....	57
3.2	Modelagem e Configuração de Simulação do Caso-Base.....	61
3.2.1	Configuração dos Fechamentos Opacos.....	62
3.2.2	Zonas Térmicas na Modelagem da Edificação.....	65
3.3	Modelagem e Simulação das configurações propostas a serem analisadas.....	66
3.3.1	Definição das Amostras Aleatórias	67
3.3.2	Automação para Simulação das combinações geradas	69
3.3.3	Arquivo Climático.....	72
3.4	Crítérios de Análises das Configurações.....	73
3.5	Revisão dos Valores de Referência.....	75

3.6	Configuração de Uso do RTQ-R nos novos Valores de Referência	78
3.6.1	Padrão de Ocupação	78
3.6.2	Ventilação Natural.....	81
3.6.3	Funcionamento das venezianas	83
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	84
4.1	Análise dos Dias Típicos de Inverno e Verão	85
4.1.1	Conclusão Parcial das simulações para os dias típicos de verão e inverno.....	93
4.2	Análise dos Graus-hora de Desconforto.....	94
4.2.1	Conclusão parcial das simulações para os Graus-hora.....	103
4.3	Obtenção dos dados dos novos Valores de Referência	103
4.4	Análise das Variáveis dos novos Valores de Referência para determinação dos limites para o Método Simplificado.....	112
4.4.1	Conclusão parcial das análises das variáveis	119
4.5	Análise dos Graus-Hora adotando os novos Valores de Referência	120
4.5.1	Conclusão parcial das simulações dos Graus-hora com novos valores de referência .	128
4.6	Análise dos Graus-Hora adotando os Novos Valores de Referência com o Padrão de Ocupação do RTQ-R.....	129
4.6.1	Conclusão parcial dos Graus-hora com padrão de ocupação do RTQ-R	139
5	CONCLUSÃO	140
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	142
	Sugestões para trabalhos futuros	142
7	BIBLIOGRAFIA.....	144
	APÊNDICE.....	153
	Apêndice A.....	154

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do tema

Um dos problemas comuns a países que se encontram em processo de desenvolvimento é o acesso à moradia por parte de uma parcela considerável da população que se enquadra no contexto econômico-social como de baixa renda.

No Brasil, segundo dados do Ministério das Cidades de 2010, o déficit habitacional de 2007 para 2008 sofreu uma redução de 6,3 milhões para 5,8 milhões de domicílios - queda de 8%. Na Região Sul, o déficit habitacional tem em torno de 10% do total do País, ou seja, 590 mil moradias. O Rio Grande do Sul é o estado da região com o maior déficit habitacional, com 230 mil moradias (AGÊNCIA BRASIL, 2011). Para reduzir o déficit habitacional e garantir a população o acesso à casa própria, o programa Minha Casa, Minha Vida, vinculado ao Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) previa que em quatro anos (2011-14) fossem construídas três milhões de moradias para famílias com renda mensal de até 03 salários mínimos, investindo R\$ 279 bilhões na construção dessas habitações.

Tendo a necessidade de reduzir o custo de seus produtos, a cadeia produtiva trouxe dificuldade em conservar o padrão de qualidade dos projetos e obras de habitação e infraestrutura, resultando em vida útil muito curta e soluções insatisfatórias (SINDUSCON, 2013).

A carência dessas estratégias projetuais levou à baixa qualidade de conforto no interior das edificações (ALMEIDA e CABÚS 2005).

Dentre as recomendações mínimas exigidas, as especificações devem atender à norma de desempenho NBR 15.575 (ABNT, 2013) ou evidenciar desempenho aceitável junto à Caixa Econômica Federal, órgão financiador.

Em Habitações de Interesse Social, o fator determinante para a viabilização do empreendimento é o baixo custo dos financiamentos. De acordo com a portaria 325, de 7 de Julho de 2011, (Ministério das cidades), o valor máximo para financiamento nos estados da região sul do Brasil (RS, SC, PR) é de R\$ 56.000,00 (cinquenta e seis mil reais) para capital e região metropolitana e de R\$ 52.000,00 (cinquenta e dois mil reais) para demais municípios.

No que se refere ao desempenho térmico e redução de consumo, talvez, o das Habitações de Interesse Social (HIS) seja um dos mais importantes, já que a maioria dos seus usuários têm um poder aquisitivo menor e grande parte das vezes não dispõem de recursos financeiros para arcar com uma climatização artificial para compensar o desconforto térmico.

Faria, Umetsu e Frota(2003) e Almeida e Cabús(2005) também indicaram em seus trabalhos que a falta de preocupação com o aproveitamento dos recursos naturais na fase de projeto, é um dos principais definidores das condições insatisfatórias no conforto das habitações.

No Brasil, estudos com o intuito de avaliar o conforto térmico de edificações residenciais têm sido desenvolvidos desde a década de 1980, visando estabelecer novos métodos e técnicas para a avaliação do desempenho térmico para cada local de inserção.

A normatização para avaliar o desempenho térmico e energético de edificações no Brasil é recente e é resultado do desenvolvimento de vários estudos realizados em centros de pesquisa e universidades (CURCIO, 2011).

A crescente preocupação com o grau de conforto dos usuários e o consumo de energia desnecessário, de edificações mal construídas ou projetadas, conduziu a uma normatização referente ao assunto. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) aprovou nos últimos anos, duas normas: A NBR 15.220 – Desempenho Térmico de Edificações, em 2005, e a NBR 15.575 – Desempenho de Edifícios Habitacionais, em 2008, tendo revisões em 2010 e 2013.

A primeira norma citada, a NBR 15.220 (ABNT, 2005) estabelece o Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ZBB), recomendando as diretrizes construtivas e as estratégias mais adequadas para as diversas zonas bioclimáticas.

A NBR 15.575 (ABNT, 2013), propõe uma análise de requisitos, critérios e métodos de avaliação de diversos tipos de desempenhos, abrangendo o desempenho estrutural,

estanqueidade de aberturas, desempenho térmico, acústico e lumínico, adequação ambiental, durabilidade e manutenibilidade.

A Parte da NBR 15.575 (ABNT, 2013) que trata do desempenho térmico de edificações apresenta recomendações aplicáveis na fase de projeto. A partir dela é possível realizar uma avaliação pelo método simplificado, método de simulação computacional e também pelo método de medição *in loco* na edificação. Para o método simplificado, é possível avaliar verificando-se o cumprimento de determinados limites para as propriedades térmicas dos componentes construtivos dos fechamentos. Caso os resultados da edificação se mostre insatisfatório, com relação a esse método, ela pode ser avaliada pelo método da simulação computacional.

A NBR 15.575 (ABNT, 2013) estabelece que quando uma edificação não consegue atender aos pré-requisitos do método simplificado, esta avaliação deve ser realizada por simulação ou medição. Assim, alguns sistemas construtivos estão, naturalmente, impedidos de comprovação através desse método simplificado, só sendo possível comprovar seu desempenho térmico através de simulação, tornando o processo mais caro.

1.2 Justificativa do tema

De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger (1936), o Brasil está dividido em oito regiões climáticas, como mostra a Figura. 1. As regiões que possuem clima subtropical continental apresentam grande variação de temperatura entre verão e inverno, não possuem uma estação seca e as chuvas são bem distribuídas durante o ano. É um clima característico das áreas geográficas a sul do Trópico de Capricórnio e a norte do Trópico de Câncer, com temperaturas médias anuais nunca superiores a 20°C.



Figura 1 – Regiões climáticas no Brasil

Fonte:

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/31/BrazilKoppenClimateMap_Portuguese.svg/400px-BrazilKoppenClimateMap_Portuguese.svg.png

Observando a NBR 15.220 (ABNT, 2005), o Rio Grande do Sul possui as zonas bioclimáticas 1, 2 e 3, sendo a zona 2 com maior predominância, como mostra a Figura 2. O estado está localizado na zona de clima subtropical continental. O inverno costuma registrar temperaturas abaixo de zero, com o surgimento de geada e até de neve em alguns municípios. A temperatura média anual situa-se entre 14 e 22 °C, sendo que nos locais com altitudes acima de 1.100 m, cai para aproximadamente 10 °C. A média das máximas mantém-se em torno de 24 a 27 °C nas superfícies mais elevadas do planalto e, nas áreas mais baixas, entre 30 e 32°C. No inverno, a temperatura média oscila entre 10 e 15 °C na maior parte do estado. A média das máximas também é baixa, em torno de 20 a 24 °C nos grandes vales e no litoral, e 16 a 20 °C no planalto. A média das mínimas varia de 6 a 12 °C, sendo comum o termômetro atingir temperaturas próximas de 0 °C até índices negativos, devido à invasão das massas polares (IBGE, 2010).

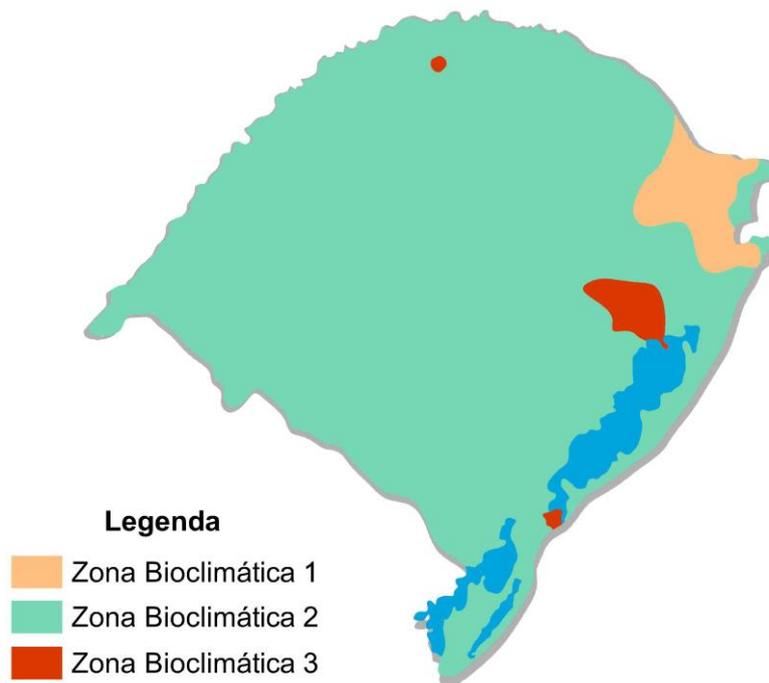


Figura 2 - Zonas bioclimáticas no Rio Grande do Sul

Silva e Gonçalves (2008) fizeram uma coletânea de dados horários, no município de Pelotas (RS), de temperaturas durante um período de dois anos, sendo observadas temperaturas perto dos 40°C no verão, atingindo amplitude térmica de até 18°C. No período de inverno, as temperaturas mínimas chegaram a 0°C e amplitude térmica de 15°C.

Para Oliveira (2012), torna-se mais importante à definição correta dos materiais construtivos para os fechamentos opacos empregados nas edificações em regiões climáticas com variação muito grande na amplitude térmica, além de estratégias de projeto que busquem uma interação com o clima local, promovendo melhores condições de conforto térmico no interior da edificação.

Este é um dos objetivos da NBR 15575, melhorar o desempenho das edificações para promover melhores condições de conforto nas edificações. Este processo de melhoria do desempenho parte do que se faz atualmente em direção ao que deveria ser feito. Neste sentido a norma estabelece mudanças e para tal estabelece parâmetros a serem seguidos para se obter esta melhoria ou pelo menos condições mínimas de desempenho de edificações.

Venâncio e Pedrini (2011), realizaram pesquisa com arquitetos, consultores e pesquisadores e constatou que em torno de 60% dos entrevistados adotam as recomendações normativas para melhorar o desempenho térmico e energético das edificações. Isto mostra a

importância de se ter recomendações para elaboração de projetos e também de sistemas construtivos para definir as estratégias climáticas.

Entretanto, muitos trabalhos têm questionado estes parâmetros e critérios e os resultados obtidos pela adoção dos mesmos.

Brito *et al.* (2012), realizaram a avaliação do desempenho térmico de edificações da NBR 15.575, considerando o método simplificado, para a zona 8. Verificaram-se que os valores estabelecidos por essa norma se mostraram limitados, permitindo que determinados sistemas construtivos sejam aprovados sem terem as características imprescindíveis para terem desempenho térmico mínimo nas edificações habitacionais.

Ferreira e Pereira (2012) avaliaram o desempenho térmico de uma habitação de interesse social de acordo com a NBR 15.575 para diversas zonas bioclimáticas e verificaram que o Método da Simulação Computacional indicado na NBR 15.575 (ABNT, 2013), demonstrou ser bastante insatisfatório com relação ao dia típico, tornando necessária a utilização do arquivo climático para se obter resultados com maior vínculo com a realidade.

Akutsu, Brito e Chieppe (2012), avaliaram o efeito da capacidade térmica e da resistência térmica de paredes no desempenho térmico através da simulação computacional utilizando o dia típico de verão para a cidade de São Paulo, concluindo que mesmo com uma capacidade térmica baixa, compensando com o aumento da resistência térmica, o desempenho térmico se mostra favorável.

Esses trabalhos questionam os valores estipulados pela NBR 15.575 para capacidade térmica, de paredes e coberturas, e também para o procedimento de avaliação em relação ao dia típico no método da simulação, assim, serviram de motivação para a realização dessa pesquisa.

Outra motivação é a aprovação de algumas configurações que possuem baixa temperatura no interior da edificação, mediante aos parâmetros mencionados na NBR 15575. O exemplo é o caso da cidade de Curitiba, que a temperatura do dia típico de inverno é de 0,7°C. Com isso, de acordo com a NBR 15.575 (ABNT, 2013), é necessário acrescentar 3°C no dia típico de inverno para atingir o desempenho térmico, ou seja, com 3,7°C é possível obter desempenho térmico mínimo. Essa temperatura fica muito longe das mínimas condições de conforto, necessitando compensar esta diferença com elevado consumo de energia.

A NBR 15575 não faz distinção entre habitação de interesse social e as demais. Todas têm que atender a critérios mínimos de desempenho. Assim os critérios, parâmetros e os questionamentos que se faz à aplicação da metodologia se aplicam a qualquer tipologia e nível sócio econômico da construção. A adoção de um modelo de Habitação de Interesse Social, foi feito pois esse tipo de habitação se mostra como sendo mais padronizada, possuindo configurações mais próximas dos limites mínimos, tanto pela norma de desempenho quanto pelas normas técnicas. Assim o modelo possui uma análise mais simplificada.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho é avaliar as prescrições da NBR 15.575 (ABNT, 2013), na sua aplicação na Zona Bioclimática 2 em Habitações de Interesse Social.

1.3.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos do trabalho destacam-se:

- Definir as características construtivas da Habitação de Interesse Social (HIS) como objeto de estudo.
- Simular a HIS, através da utilização do *software DesignBuilder e EnergyPlus*, tanto para o caso-base (configuração com as características limites da NBR 15.575) quanto para diferentes configurações construtivas da edificação;
- Analisar os resultados dos dias típicos (verão e inverno) e observar os graus-hora de aquecimento e resfriamento como também a temperatura interna e externa, obtidos na simulação do caso base e das demais configurações.
- Propor parâmetros de análise com a adoção do padrão de ocupação do RTQ-R.
- Verificar a necessidade de propor a alteração nos limites dos fechamentos opacos e do procedimento de avaliação através dos dias típicos para o conceito de graus-hora de aquecimento e resfriamento em relação ao método por simulação da NBR 15.575.

1.4 Estrutura do trabalho

No intuito de atingir os objetivos propostos, o trabalho está dividido em cinco capítulos.

No primeiro capítulo é apresentada uma introdução sobre o tema, caracterizando o problema, a justificativa de escolha do tema e os objetivos.

No segundo capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica. São apresentados os conceitos de arquitetura bioclimática, parâmetros de análise de desempenho térmico e energético de edificações, mostrando métodos de análise utilizados no Brasil e no mundo e também a utilização de programas de simulação computacional.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia aplicada no estudo. São mostrados como se definiu a tipologia da Habitação de Interesse Social (HIS) estudada. No próximo passo, é exposta a modelagem, a caracterização das configurações, tanto o caso base (limites da NBR 15575) quanto às demais configurações propostas, apresentando os programas computacionais utilizados e o método de avaliação dos dados.

No quarto capítulo são apresentadas as análises dos dados simulados da edificação com relação ao desempenho térmico. As simulações são avaliadas, com relação aos índices de desempenho térmico, através da análise do dia típico e também serão avaliadas com relação aos graus-hora de aquecimento e resfriamento, indicando a necessidade de energia para que a zona de conforto seja atingida, mesmo com a necessidade de se utilizar equipamentos auxiliares.

O quinto capítulo, são expostas e discutidas as conclusões sobre a avaliação de desempenho térmico realizado nas simulações.

Por fim, são apresentadas também considerações finais sobre a pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Arquitetura Bioclimática

A enorme variabilidade climática que se observa na superfície terrestre determina mudanças nas condições de habitabilidade da terra, tanto para a flora e fauna quanto para o próprio ser humano. Assim, as diferentes condições climáticas serão confrontadas – na perspectiva dos organismos vivos – como propiciadoras, em um grau maior ou menor, de ambientes favoráveis à vida.

Com o conhecimento dos conceitos básicos de clima e conforto, compreende-se a importância da bioclimatologia aplicada à arquitetura. Através da edificação é possível extrair proveito das condições climáticas, ou mesmo evitá-las, de forma a propiciar um ambiente interno confortável para os usuários.

A expressão projeto bioclimático surgiu com Olgyay (1968), aplicando o conceito de bioclimatologia na arquitetura. Para Lamberts, Dutra e Pereira(2014), a arquitetura por seus próprios meios, busca utilizar as condições favoráveis do clima de modo a tentar satisfazer as exigências de conforto térmico do homem.

A consciência sobre conceitos bioclimáticos, levando em conta as condições climáticas e a utilização dos recursos disponíveis na natureza (sol, vegetação, chuva, vento), visa minimizar os impactos ambientais e reduzir o consumo energético.

A prática de utilizar-se os conceitos bioclimáticos vem desde a antiguidade, onde para a obtenção do conforto térmico vinha quase que exclusivamente do aproveitamento das características desejáveis do clima. Este foi o caso da Roma antiga, onde criou-se o *Heliocaminus*, lei que garantia aos cidadãos o direito ao sol. Além de leis, existem vários exemplos de construções, como as do norte da China, onde elas foram construídas no subterrâneo visando minimizar as temperaturas externas extremas (tanto mínimas quanto máximas), e tirando proveito da temperatura amena do solo para obter o conforto térmico.

Mas os conceitos bioclimáticos começaram a cair em desuso na arquitetura a partir do séc. XVIII, com o advento da Revolução Industrial, quando surgiram diversos materiais novos, entre eles o concreto e o aço. Com isso, o estilo tradicional de construção, com o uso de pedra e alvenaria, começou a perder sua função, dando lugar a edifícios estufas, sendo inserido a vários locais com climas diferentes sem que haja readaptações ao local de inserção (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 2014, p.13).

Com isso, ocorreram grandes transformações na arquitetura dos prédios, onde muitas deles não mais se relacionavam com o ambiente onde eram inseridos. No caso do *International Style* americano dos anos 1950, muitos arquitetos criaram os edifícios revestidos com cortinas de vidro, e esta ideia foi exportada para os mais diversos lugares do mundo como símbolo de status ou poder (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 2014).

A necessidade de ostentar elementos que representariam o progresso, o poder econômico e a abundância de tecnologia foram responsáveis pela criação de um padrão globalizado, e fez com que, sobretudo nos tempos contemporâneos, muitas vezes fosse desconsiderada a questão ambiental na arquitetura. A discussão sobre o conforto ambiental surge em um esforço pelo resgate da arquitetura adaptada ao clima do local para onde será feita, ao invés de outras intenções como a monumentalidade, a produtividade ou a representatividade (CURCIO, 2011).

Mas esse quadro começou a mudar na década de setenta, com a chamada "crise do petróleo". Com o aumento da população nos centros urbanos, aliado aos impactos ambientais da geração de energia baseada em fontes fósseis (não-renováveis), levaram vários países a implementarem políticas de eficiência energética, a busca pela produção de energia através de fontes renováveis e o retorno aos princípios da arquitetura bioclimática.

De acordo com Geller (1994), é mais fácil economizar energia do que fornecê-la, pois a necessidade de redução dos gastos passará aos fabricantes e aos consumidores, e não mais do setor público.

Essa discussão sobre conforto ambiental e eficiência energética só surge quando acontecem os problemas, e no Brasil, esse debate só começou a se intensificar a partir do chamado apagão de 2001, quando passou-se por uma das maiores crises energéticas noticiadas, afetando o fornecimento e distribuição de energia elétrica. O fato foi causado por falta de chuvas, ocasionando várias represas vazias e impossibilitando a geração de energia pelas hidrelétricas – elemento basilar da produção energética brasileira. A falta de

planejamento e investimentos em geração e transmissão de energia também foram apontados como fatores da crise. O apagão elétrico gerou um prejuízo ao Tesouro Nacional de 45,2 bilhões de reais (TCU, 2009).

A partir daí, o poder público começou a adotar medidas políticas para a racionalização da energia, de forma a evitar outros graves transtornos à população e enormes prejuízos ao país. No próprio ano de 2001 foi publicado pelo Presidente da República o Decreto-Lei 4.059, que sanciona a Lei 10.295, conhecida como “Lei de Eficiência Energética” (BRASIL, 2007).

Essa lei dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, visando a alocação eficiente de recursos energéticos e a preservação do meio ambiente.

Um pouco mais adiante, em Outubro de 2003, foi lançado o PROCEL EDIFICA, através do Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações. O plano estabelece seis vertentes de ação: arquitetura bioclimática, indicadores referenciais para edificações, certificação de materiais e equipamentos, regulamentação e legislação, remoção de barreiras à conservação de energia e educação (PROCEL, 2006).

A partir do PROCEL EDIFICA, vários estudos foram feitos no país, até se chegar nos desenvolvimentos das normas técnicas e regulamentos técnicos utilizados atualmente e que serão citados no decorrer da revisão.

2.2 Avaliação Termoenergética de Edificações

2.2.1 Normas Internacionais de avaliação de Conforto Térmico

Com relação a avaliação de conforto térmico, vários países possuem diretrizes para projeto de edificações como normas de desempenho, sendo que algumas dessas são de caráter obrigatório ou compulsório.

Para Pereira (2009), as normas mais disseminadas de caráter internacional, que serviram como apoio a outras normas, foram desenvolvidas pela *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)*, nos Estados Unidos.

A *ASHRAE Standard 90.1* (ASHRAE, 2010) propõe os requisitos mínimos de eficiência de edificações, exceto residências unifamiliares, para o projeto e construção, plano de uso e operação, e utilização de energias renováveis. A *Standard 90.2* (ASHRAE, 2004)

estabelece os requisitos mínimos específicos para eficiência em projetos de edifícios residenciais.

Para o método de avaliação da *ASHRAE* para ambientes típicos, admite uma taxa com percentual de insatisfeitos em relação ao índice *Predicted Mean Vote* (Voto Médio Predito) – PMV. A validade do método é aplicável para ambientes com atividade leve, o que equivale a taxas metabólicas entre 1,0 e 1,3met. O isolamento térmico das roupas deve estar entre 0,5 e 1,0clo e a velocidade do ar de até 0,2m/s.

O PMV, desenvolvido por Fanger (1972), é um índice obtido a partir dos dados de temperatura, velocidade e umidade relativa do ar, temperatura média radiante, além da atividade física e da vestimenta e que representa a escala de sensação térmica, com referência no balanço térmico do corpo humano. Essa escala varia em 7 pontos (de -3 a +3), sendo o zero para conforto térmico, graduações negativas para sensação de frio e graduações positivas para sensação de calor, como mostra na Figura 3.

PMV	Sensação Térmica
+3	Muito Quente
+2	Quente
+1	Levemente Quente
0	Neutra
-1	Levemente Frio
-2	Frio
-3	Muito Frio

Figura 3 – Escala PMV

Fonte: Adaptado da ASHRAE (2001)

Junto ao PMV, surgiu também o conceito de *Predicted Percentage of Dissatisfied* (Percentual de insatisfeitos) PPD, que é um índice do percentual de pessoas que sentem desconforto térmico. A Figura 4 mostra a relação entre o PMV e o PPD.

No desenvolvimento da norma ISO 7730 (2005), que se aplica à avaliação de ambientes térmicos moderados, adotaram-se as pesquisas de Fanger (1972). A norma passou por duas revisões, nos anos de 1994 e 2005, sendo que as alterações mais significativas

vieram na versão mais recente, que adicionou tabelas com categorias de conforto térmico em relação a aceitabilidade do ambiente térmico. Foi inserida uma nova categoria, aumentando a extensão com relação ao PPD, recomendando que deva ser menor que 15% (o que corresponde a uma faixa do PMV de -0,7 a +0,7).

Através do método de cálculo na norma é possível a obtenção de uma porcentagem de pessoas insatisfeitas devido às correntes de ar, e também a obtenção dos parâmetros relativos às condições de aceitabilidade térmica do ambiente (LAMBERTS e XAVIER, 2002).

Com relação ao Brasil, pode-se citar alguns trabalhos que utilizaram o critério PMV/PPD nas avaliações de conforto térmico, como os de Araújo (1996); Lassaroto e Santos (2007) e Voltani (2009).

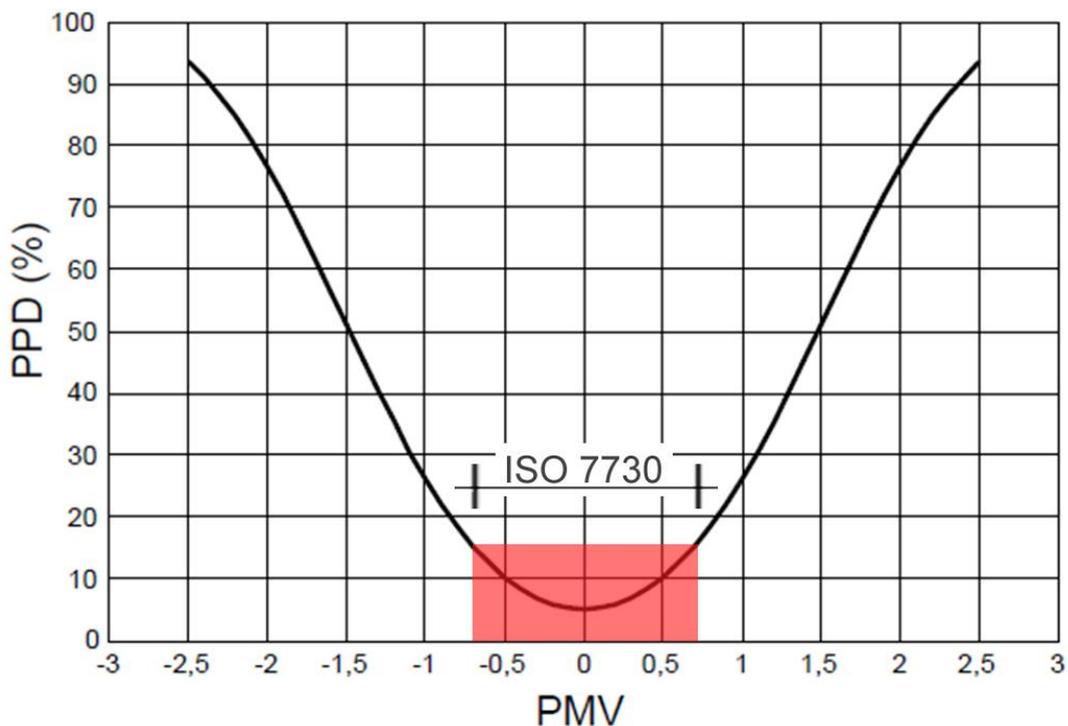


Figura 4 - Relação PMV e PPD

Fonte: Adaptado da ASHRAE (2001)

A *ASHRAE* possui um método opcional, que faz uso de um banco de dados com edifícios e usuários que reúne aproximadamente 21.000 conjuntos de vários países. A classificação dos edifícios foi separada em dois grupos: aqueles naturalmente ventilados e os artificialmente ventilados.

De acordo com De Dear e Brager (1998), o método de avaliação de conforto utilizado pela *ASHRAE* era adequado apenas no caso dos edifícios condicionados artificialmente. Para o caso dos edifícios com ventilação natural, foi desenvolvido um método com novos limites para uma zona de conforto, chamado de Método Adaptativo.

O Método Adaptativo foi incluído na *ASHRAE Standard 55* (ANSI; ASHRAE, 2010) com o nome de Método Opcional para Determinação das Condições Térmicas Aceitáveis em Espaços Naturalmente Condicionados (PEREIRA, 2009). A temperatura de conforto é relacionada em uma faixa com o valor da média mensal de temperatura externa do ar, variando de 17°C a 31°C, observando-se uma faixa de até 80% da aceitabilidade do ambiente térmico, conforme a Figura 5.

A equação 1 determina a temperatura operativa de conforto e estabelece uma relação direta com a temperatura média mensal do exterior. A utilização desse modelo só é possível se, obrigatoriamente, as médias mensais de temperatura externa estarem situadas entre 10 e 33,5°C.

$$T_{oc} = 18,9 + 0,255 T_{ext}$$

Equação 1

Onde: T_{oc} = Temperatura operativa de conforto

T_{ext} = Temperatura média mensal do exterior

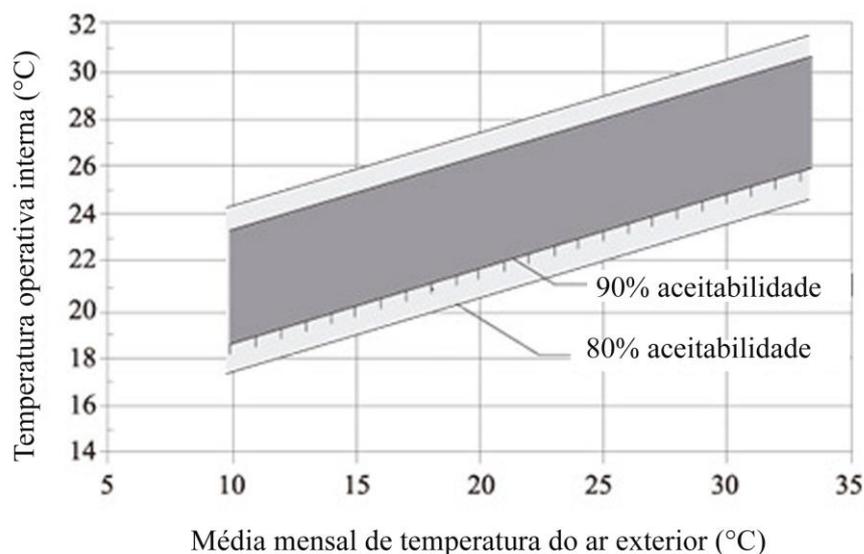


Figura 5 - Faixas de Conforto de Temperaturas Operativas para espaços Naturalmente condicionados

Fonte: Adaptado da ASHRAE (2001)

No Método de Conforto Adaptativo, não há limitações para os valores de velocidade e de umidade do ar, o que influencia muito nas condições de conforto térmico e que foi utilizado na metodologia para o desenvolvimento do zoneamento bioclimático brasileiro.

Givoni (1992) desenvolveu uma carta psicrométrica em que estabelece a zona de conforto no interior de uma edificação para países quentes e em desenvolvimento, conforme Figura 6. Através das variáveis de temperatura e umidade relativa do ar do ambiente exterior, é possível o estabelecimento de estratégias bioclimáticas para a obtenção do conforto na edificação. Segundo Givoni (1992), os valores indicados para os limites de temperatura de conforto, nesses países, considerando diversos limites de umidade relativa (entre 20% e 80%), são de 20°C a 29°C no verão, e de 18°C a 27°C no inverno.

No trabalho de Silva (1994) foram aplicados os índices de PMV sobre os limites de conforto estabelecidos por Givoni. Demonstrou-se que esses limites encontram-se, quase que na totalidade, dentro dos limites de conforto do PMV, validando a utilização dos limites de Givoni.

Além disso, a carta de Givoni serviu como parâmetro para vários trabalhos desenvolvidos no Brasil, inclusive o do desenvolvimento da NBR 15.220 (ABNT, 2005) (OLIVEIRA, 2012).

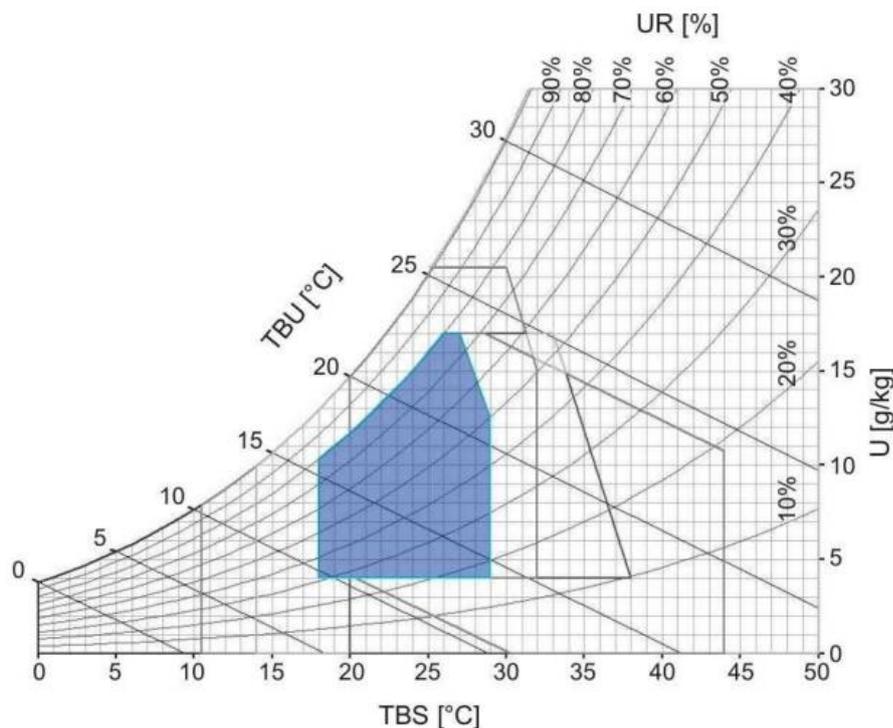


Figura 6 - Carta bioclimática de Givoni
Fonte: Adaptado de Givoni (1992)

2.2.2 Graus-hora e Horas de Desconforto

Szokolay (1987) desenvolveu o conceito de graus-hora de desconforto, que é um método paramétrico de análise de eficiência energética. Utiliza-se este conceito para estimar a energia requerida tanto para refrigeração quanto para aquecimento. Ele é definido como o somatório das diferenças de temperatura hora a hora, cada vez que esta encontra-se acima (no caso do resfriamento) ou abaixo (no caso do aquecimento) de uma temperatura base.

No trabalho de Barbosa (1997), desenvolveu-se uma metodologia para avaliação do desempenho térmico em edificações térreas unifamiliares. Barbosa buscou estabelecer o número de horas de desconforto, ou seja, o total de horas em que as temperaturas internas na edificação estivessem fora da zona de conforto. Estabeleceu-se um limite aceitável para desconforto anual de uma habitação de interesse social em torno de 1000 horas, tendo como parâmetro a zona de conforto de Givoni (1992), fixada entre 18°C e 29°C.

Barbosa *et al.* (2003) revisou e ampliou os valores aceitáveis de desconforto, passando de 1000 para 1752 horas, ou seja, 20% do período anual.

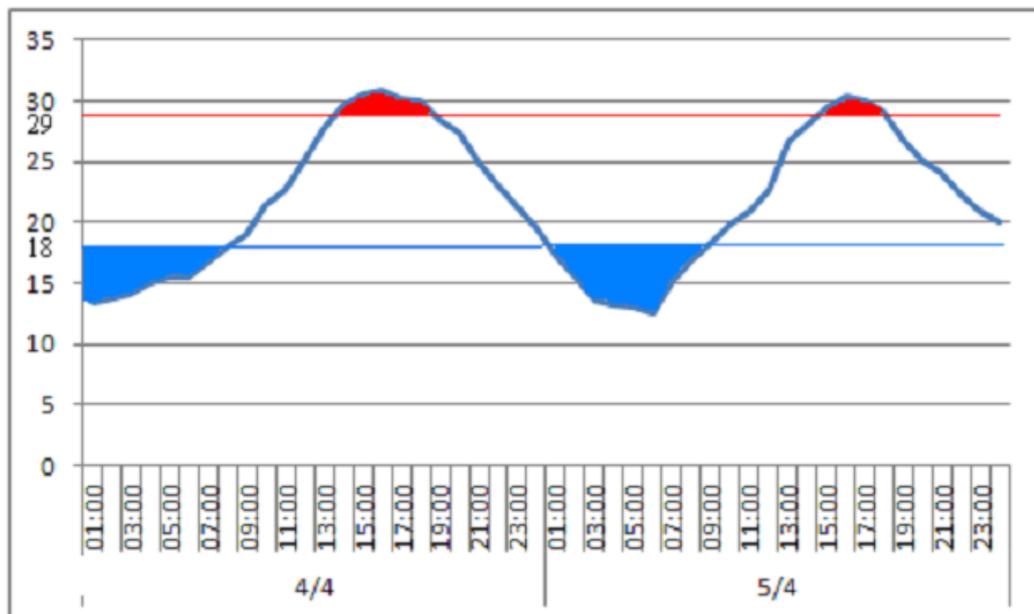


Figura 7 - Representação do conceito de graus-hora

Fonte: Oliveira (2012)

Morello (2005) concluiu, em seu trabalho, que o critério dos graus-hora, desenvolvido por Barbosa (1997) é de simples aplicação, e pode ser uma possibilidade válida para a avaliação do comportamento térmico de edificações residenciais.

2.2.3 Normas Nacionais de Avaliação

A necessidade do desenvolvimento de uma normalização sobre desempenho térmico e energético de edificações foi inicialmente discutida durante o I Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, realizado em Gramado, no Rio Grande do Sul, em 1990. No ano seguinte realizou-se o I Encontro Nacional de Normalização, ligada ao Uso Racional de Energia e ao Conforto Ambiental em Edificações, na cidade de Florianópolis, em Santa Catarina, com o objetivo do estabelecimento de diretrizes básicas para o desenvolvimento da normalização brasileira (ROMAN e BONIN, 2003).

Os primeiros estudos com relação a conforto térmico de edificações tinham o intuito de reduzir o consumo de energia dos sistemas de iluminação artificiais e do condicionamento de ar. Para os autores, seria necessária a adoção no Brasil de uma nova metodologia que levasse em consideração o caráter eficaz das trocas térmicas que ocorrem nas edificações. A adequação da edificação ao clima seria o primeiro passo na direção da normalização.

Esse primeiro passo só aconteceu no ano de 2005 quando entrou em vigor a primeira norma brasileira que trata deste assunto, a NBR 15.220 – Desempenho Térmico de Edificações (ABNT, 2005) que estabelece um Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ZBB) e diretrizes construtivas recomendadas para cada zona bioclimática. Em 2008, foi elaborada a primeira versão para a NBR 15.575, chamada de Norma de Desempenho de Edificações Habitacionais até Cinco Pavimentos, que é uma norma mais ampla que a NBR 15.220, abordando diversos itens, sendo um deles o desempenho térmico. Ela se baseia no ZBB da norma anterior, mas apresenta critérios e valores diferentes para a análise do desempenho térmico. Além do mais, a norma utiliza a simulação computacional como um dos meios de análise desse desempenho. A NBR 15.575, quando foi lançada, surpreendeu as empresas do setor da construção civil, e impôs severas dificuldades aos construtores, aos projetistas e à indústria de materiais para que se adequassem aos requisitos apresentados no documento, muitos deles inéditos à época (PINIWEB, 2013). Após anos de debates e revisões, a terceira versão da NBR 15.575 (ABNT, 2013) foi publicada em fevereiro de 2013 e passou a vigor em agosto de 2013, com o nome de Norma de Desempenho de Edificações Habitacionais.

Após o lançamento da primeira versão da NBR 15.575, em 2009, o país experimentou um grande salto em relação à eficiência energética de edifícios com a aprovação do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), pela Portaria nº163 do Instituto Nacional de

Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). O RTQ-C é um regulamento que objetiva criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética dos edifícios comerciais, de serviços e públicos, especificando requisitos técnicos e métodos para a classificação dos mesmos.

No ano de 2010, foi publicada a Portaria nº 449 do INMETRO, aprovando a criação do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). O RTQ-R objetiva criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética de edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares, especificando os requisitos técnicos e os métodos para classificação de edificações residenciais quanto à eficiência energética, permitindo a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), dentro do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) do INMETRO.

2.2.3.1 NBR 15.220:2005 – Desempenho Térmico de Edificações

A primeira norma brasileira na área aqui abordada, possui cinco partes que descrevem métodos de cálculo e de medição de propriedades térmicas dos componentes construtivos das edificações e sugere, a partir da formatação de um zoneamento bioclimático brasileiro, estratégias bioclimáticas e diretrizes construtivas para elaboração de projetos de habitações unifamiliares de interesse social.

As cinco partes da norma estão caracterizadas a seguir:

- 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 (ZBB) e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- Parte 4: 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 fluxométrico.

A Parte 3 desta norma apresenta um Zoneamento Bioclimático (Figura 8), onde indica-se a divisão do território brasileiro em oito zonas, estabelecidas a partir da adaptação da Carta Bioclimática de Givoni. Além do mais, apresenta recomendações quanto a estratégias de climatização passiva e ativa de habitações unifamiliares de interesse social aplicáveis na fase de projeto. São feitas recomendações de diretrizes construtivas e

detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo, com base em parâmetros e condições de contorno, como o tamanho das aberturas para ventilação, proteção das aberturas, fechamentos opacos (paredes e tipo de coberturas).

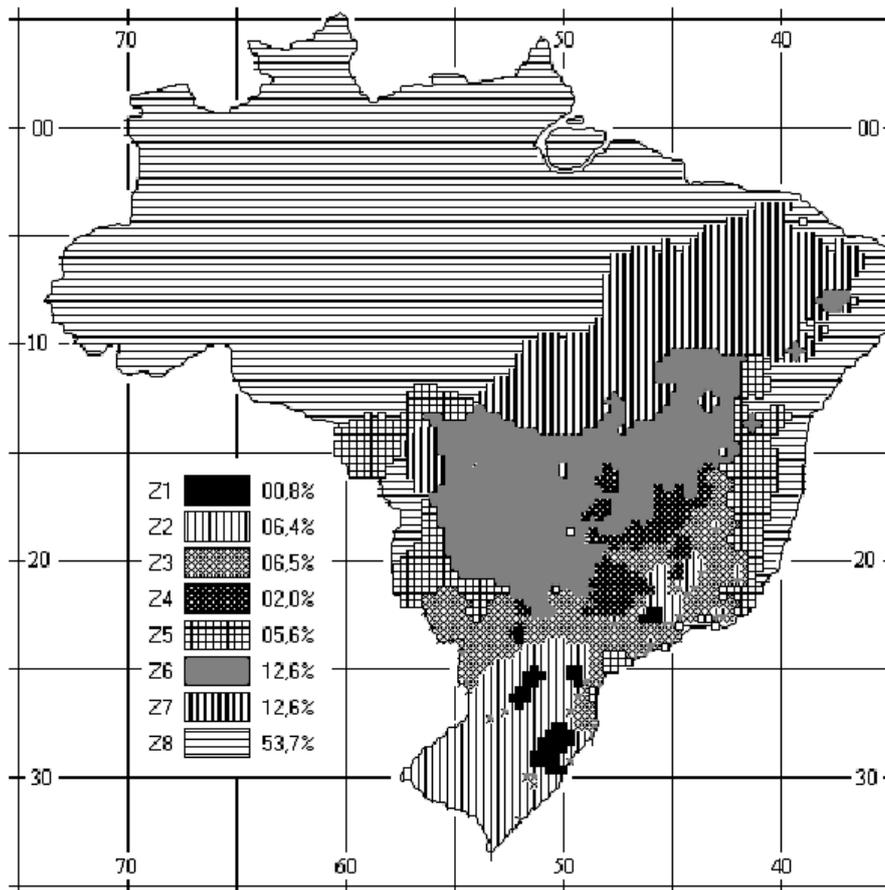


Figura 8 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro

Fonte: NBR 15.220 (ABNT, 2005)

Além do que, existem trabalhos que criticam afóra o Zoneamento bioclimático, os parâmetros dos componentes dos fechamentos da edificação e também os critérios de avaliação de conforto e desempenho termoenergético indicados pela norma.

Menezes (2006) e Matos (2007) também levantaram dúvidas sobre as características dos fechamentos da edificação, mencionados na NBR 15.220-3, não expressam a realidade.

Em um trabalho, Oliveira (2012) avaliou as prescrições da NBR 15.220 – parte 3, quanto às características térmicas - transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar - dos fechamentos opacos (paredes e coberturas) para a zona bioclimática 2. O autor que os limites indicados pela norma se mostraram contrárias em relação ao desempenho térmico e propôs novos valores de fechamentos opacos (paredes e coberturas) para edificações.

2.2.3.2 NBR 15.575 (2013) – Desempenho de Edificações Habitacionais

A NBR 15.575 (ABNT, 2013), vigente desde julho de 2013, é uma norma que tem aspecto mais amplo que a citada anteriormente, abordando diversos itens, sendo um deles o de desempenho térmico. Ela estabelece os requisitos e critérios de desempenho aplicáveis a todo tipo de edificação na fase de projeto.

Diferente da NBR 15.220, que utiliza o atraso térmico como um dos parâmetros de configuração, a NBR 15575 utiliza a capacidade térmica como parâmetro. Estudo nesse sentido, como o de Pereira (2009), que analisou a importância do envelope no desempenho térmico em uma habitação ocupada e ventilada naturalmente em Florianópolis, zona bioclimática 3, concluiu que, mais do que a transmitância térmica, a capacidade térmica dos fechamentos tem uma correlação positiva com o conforto térmico no interior das edificações.

Com relação aos critérios, todos eles, critérios incluídos nesta norma, estabeleceu-se um patamar mínimo (M) de desempenho, o qual deve ser atendido de forma obrigatória pelos diferentes elementos e sistemas da construção. Para alguns critérios, são indicados outros dois níveis de desempenho, o intermediário (I) e o superior (S), entretanto sem o mesmo caráter obrigatório (CBIC,2013, p.21).

A) Métodos e Critérios de Avaliação

Zonas Bioclimáticas	PAREDES EXTERNAS		PAREDES INTERNAS	COBERTURA
	Transmitância Térmica (U)	Capacidade Térmica (CT)	Capacidade Térmica (CT)	Transmitância Térmica (U)
1	$U \leq 2,5$ $U \leq 3,7$ se $\alpha < 0,6$ ou $U \leq 2,5$ se $\alpha > 0,6$	$CT \geq 130$	$CT \geq 130$	$U \leq 2,30$
2				$U \leq 2,30$ se $\alpha \leq 0,6$ ou $U \leq 1,5$ se $\alpha > 0,6$
3				
4				
5				
6				
7				
8		sem exigências	sem exigências	$U \leq 2,30$ FV se $\alpha \leq 0,4$ ou $U \leq 1,5$ FV se $\alpha > 0,4$

Legenda

- U = transmitância térmica ($W/(m^2K)$) – o inverso da resistência térmica (RT), sendo RT o somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais internas e externas.
- CT = capacidade térmica dos componentes ($KJ/m^2.K$) – quociente da capacidade térmica de um componente pela sua área.
- α = absorptância à radiação solar – quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície.
- A = área de piso do ambiente.
- FV = fator de ventilação.

Figura 9 – Desempenho térmico das vedações
Fonte: Adaptado da NBR 15575 (2013)

A parte específica da NBR 15.575 que aborda o desempenho térmico de edificações apresenta os requisitos a serem atendidos, aplicáveis na fase de projeto das habitações. Ela permite uma avaliação por três formas: Através do Método Simplificado, por Simulação Computacional e por Medição *in Loco*. No primeiro, é possível verificar-se o atendimento aos requisitos para os fechamentos opacos com base nos valores de transmitância e capacidade térmica de paredes e coberturas, conforme Figura 9 citada anteriormente. Para esse tipo de avaliação, é possível apenas a obtenção do nível de desempenho mínimo.

Caso os valores obtidos na edificação não atendam àqueles estabelecidos pela norma, o desempenho pode ser obtido através do Método da Simulação Computacional. Nesse método é possível a obtenção dos três níveis de desempenho: mínimo, intermediário e superior. Já no método por Medição *in Loco*, a avaliação é feita para edificações existentes ou para protótipos feitos com esta finalidade.

Para avaliar-se o desempenho, são analisadas as condições de conforto no período de verão e de inverno, levando em conta o zoneamento bioclimático definido pela NBR 15.220 – parte 3 (ABNT, 2005). As Tabelas. 1 e 2, apresentam os níveis de desempenhos estipulados pela NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Tabela 1 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

Nível de Desempenho	Critérios	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$
I	$T_{i, máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2^{\circ}\text{C})$	$T_{i, máx.} \leq (T_{e,máx.} - 1^{\circ}\text{C})$
S	$T_{i, máx.} \leq (T_{e,máx.} - 4^{\circ}\text{C})$	$T_{i, máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2^{\circ}\text{C})$
$T_{i,máx.}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius. $T_{e,máx.}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius. NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.		

Fonte: Adaptado da NBR 15575 (2013)

Tabela 2- Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno

Nível de desempenho	Critérios	
	Zonas 1 a 5	Zonas 6 a 8
M	$T_{i, \text{mín.}} \geq (T_{e, \text{mín.}} + 3^{\circ}\text{C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado.
I	$T_{i, \text{mín.}} \geq (T_{e, \text{mín.}} + 5^{\circ}\text{C})$	
S	$T_{i, \text{mín.}} \geq (T_{e, \text{mín.}} + 7^{\circ}\text{C})$	
$T_{i, \text{mín.}}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius. $T_{e, \text{mín.}}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius. NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.		

Fonte: Adaptado da NBR 15575 (2013)

Tanto para o Método da Simulação Computacional quanto para o da Medição *in Loco*, as verificações devem ser feitas para os dias típicos de verão e inverno correspondente a cada zona bioclimática, excluindo as zonas bioclimáticas de 6 a 8 que não necessita verificação para o dia típico de inverno.

O dia típico pode ser tanto o de inverno quanto o de verão. Esses dias são estabelecidos com base em dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar. A avaliação de desempenho por Simulação Computacional ou Medição *in Loco* da NBR 15.575 (ABNT, 2013), devem ser analisados os dados da edificação, tendo como base os dias típicos de verão e de inverno.

A própria NBR 15.575 (ABNT, 2013) apresenta os dias típicos de verão e inverno das capitais brasileiras, elaborados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), conforme as Tabelas 3 e 4.

Tabela 3– Desempenho térmico das vedações (dia típico de verão)

Cidade	Temperatura máxima diária (°C)	Amplitude diária de temperatura (°C)	Temperatura de bulbo úmido (°C)	Radiação Solar (Wh/m ²)	Nebulosidade (décimos)
Aracaju	30,9	5,4	24,9	6277	6
Belém	33,4	10,5	26,1	4368	6
Belo Horizonte	32	10,3	21,7	4641	6
Boa Vista	35,3	9,8	25,8		6
Brasília	31,2	12,5	20,9	4625	4
Campo Grande	33,6	10	23,6	5481	6
Cuiabá	37,8	12,4	24,8	4972	6
Curitiba	31,4	10,2	21,3		8
Florianópolis	32,7	6,6	24,4		7
Fortaleza	32	6,5	25,1	5611	5
Goiânia	34,6	13,4	21	4455	4
João Pessoa	30,9	6,1	24,6	5542	6
Macapá	33,5	9	25,8		7
Maceió	32,2	8,2	24,6	5138	6
Manaus	34,9	9,1	26,4	5177	7
Natal	32,1	8	24,8	6274	6
Porto Alegre	35,9	9,6	23,9	5476	5
Porto Velho	34,8	12,5	26	6666	7
Recife	31,4	7,4	24,7	5105	6
Rio Branco	35,6	12,7	25,4	6496	7
Rio de Janeiro	35,1	6,4	25,6	5722	5
Salvador	31,6	6,1	25	5643	5
São Luiz	32,5	7,4	25,4	5124	5
São Paulo	31,9	9,2	21,3	5180	
Teresina	37,9	13,2	25,1	5448	5
Vitória	34,6	7,4	25,9	4068	5

Fonte: Adaptado da NBR 15.575 (2013)

Tabela 4 – Desempenho térmico das vedações (dia típico de inverno)

Cidade	Temperatura mínima diária (°C)	Amplitude diária de temperatura (°C)	Temperatura de bulbo úmido (°C)	Radiação Solar (Wh/m ²)	Nebulosidade (décimos)
Aracaju	18,7	5,1	21,5	5348	6
Belém	20,4	10	25,5	4161	6
Belo Horizonte	8,7	12,6	16	3716	3
Boa Vista	20,7	8,4	24,9		7
Brasília	10	12,2	14,8	4246	3
Campo Grande	13,7	11,5	17,3	4250	4
Cuiabá	11,4	14,3	20,1	4163	4
Curitiba	0,7	11,6	11		6
Florianópolis	6	7,4	13,4		6
Fortaleza	21,5	7	24	5301	5
Goiânia	9,6	14,9	16,2	1292	3
João Pessoa	19,2	6,5	22,4	4836	6
Macapá	21,8	6,5	24,9		8
Maceió	17,8	7,5	21,7	4513	6
Manaus	21,4	7,9	25	4523	7
Natal	19,1	7,8	22,5	5925	5
Porto Alegre	4,3	8,6	12,1	2410	6
Porto Velho	14,1	14,1	23,6	6670	5
Recife	18,8	6,7	22,1	4562	6
Rio Branco	11,9	14,9	22,1	6445	6
Rio de Janeiro	15,8	6,3	19,1	4030	5
Salvador	20	5	21,7	4547	5
São Luiz	21,5	6,9	24,9	4490	6
São Paulo	6,2	10	13,4	4418	
Teresina	18	12,6	22,9	5209	4
Vitória	16,7	6,9	20,4	2973	5

Fonte: Adaptado da NBR 15.575 (2013)

Caso a cidade em que a edificação será inserida não conste nas tabelas apresentadas acima, a NBR 15.575 (ABNT, 2013) permite a utilização dos dados climáticos da cidade mais próxima, desde que esteja dentro da mesma zona bioclimática e com altitude de mesma ordem de grandeza.

Para a determinação do dia típico existem dois métodos aplicados no Brasil para o tratamento dos dados climáticos. O primeiro foi desenvolvido por Sattler (1989) e o outro foi desenvolvido por Akutsu e Vittorino (1991).

No método de Sattler (1989), calcula-se a temperatura média diária para cada um dos dias do período de dados disponíveis, as quais são ordenadas em ordem crescente. Após, são selecionados 15% do número totais de dias com as temperaturas médias mais baixas ou mais altas do período. Os dias incluídos no período quente chamam-se "dias quentes", e aqueles incluídos no período frio são chamados dias frios (GOULART, 1993). Junto com os valores de temperaturas são determinados os níveis das Frequências de Ocorrências, que são de 1%, 2,5%, 5% e 10% para os dias quentes, e de 90%, 95%, 97,5% e 99% para os dias frios. Cada nível caracteriza o dia cuja temperatura média é excedida para cada um destes percentuais. A metodologia trabalha com um dia teórico, onde são calculadas as médias das características dos dias dentro dos intervalos, e assim, definem-se os dias típicos de verão e os dias típicos de inverno.

Para o método de Akutsu e Vittorino (1991), definem-se inicialmente os meses denominados como "período de verão" e "período de inverno". Para determinar-se o período de verão, seleciona-se o mês com maior média das temperaturas máximas diárias. Com esse mês (mais quente) será diminuído o " α " da equação 2, e com o resultado verificar-se-ão os demais meses. Os meses que possuírem a média das temperaturas máximas diárias acima desse resultado, pertencerão ao período de verão.

$$\alpha = 0,10 \times (T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}})$$

Equação 2

onde: $T_{\text{máx}}$ = média das temperaturas máximas diárias do mês mais quente

$T_{\text{mín}}$ = média das temperaturas mínimas diárias do mês mais quente

A determinação do período frio é feita de forma semelhante àquela utilizada para determinação do período quente, só que são utilizadas as médias das temperaturas mínimas diárias. O mês mais frio é caracterizado pela menor média das temperaturas mínimas diárias, e os meses pertencentes ao período frio possuirão uma diferença de $\alpha^{\circ}\text{C}$ com relação ao mês mais frio.

Depois é feita a seleção dos dados diários pertencentes a cada período, os quais são ordenados de forma decrescente, e então definidos os níveis de Frequência de Ocorrência (FO%) de 1%, 2,5%, 5% e 10% para o verão, e 99%, 97,5%, 95% e 90% para o inverno, nos dias analisados destes períodos. Os dias para o período de verão devem apresentar valores de Temperatura de Bulbo Seco máxima ($TBS_{\text{máx}}$) maiores ou iguais a $TBS_{\text{máx}}$ daquele nível. Para o período de inverno, os valores de Temperatura de Bulbo Seco mínima ($TBS_{\text{mín}}$) devem ser menores ou iguais ao $TBS_{\text{mín}}$ do nível (GOULART, 1993).

Após, determina-se um intervalo de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ em torno de uma temperatura de referência para cada valor de Frequência de Ocorrência, e encontram-se os dias dentro desse intervalo. Nesse intervalo, procura-se o dia real com as características mais próximas dos valores médios, definindo-se assim o dia típico para cada nível de frequência.

Entretanto, o método do uso do dia típico em simulações tem sido questionado em alguns trabalhos e relatórios técnicos.

Sorgato, Melo e Lamberts (2013) fizeram uma análise do método de simulação de desempenho térmico da NBR 15.575, observaram que o método da norma apresenta limitações quanto ao atendimento do desempenho térmico e propõem uma avaliação de modo que seja considerado a realidade de uso da edificação.

Sorgato *et al* (2012) fizeram uma nota técnica referente à avaliação para a norma de desempenho NBR 15.575 em consulta pública, para isso, foram observadas alterações de grande impacto negativo no desempenho térmico das edificações. Uma dessas observações foi o método de simulação e concluíram que o método não avalia a influência da variação anual da temperatura no desempenho térmico da edificação que se refere ao dia de projeto que apresenta temperaturas extremas que acontecem geralmente a cada 30 anos e não representam a condição normal de temperatura.

Ferreira e Pereira (2012) verificaram que existe uma lacuna no Método da Simulação Computacional indicado na NBR 15.575 (ABNT, 2013), que demonstrou-se bastante insatisfatório com relação ao dia típico, tornando necessária a utilização do arquivo climático para se obter resultados com maior vínculo com a realidade.

Na sua primeira versão, em 2008, os critérios de avaliação eram mais exigentes, pois consideravam a temperatura interna da edificação como parâmetro para se determinar os níveis de desempenho. Com isso era possível estabelecer um nível de desempenho de igual critério para quaisquer das zonas bioclimáticas. As Tabelas 5 e 6 apresentam esses critérios.

Tabela 6 – Critérios que eram adotados para a avaliação de desempenho térmico para a condição de verão

Nível de desempenho	Limites de temperatura do ar no verão
M	- Valor máximo diário da temperatura do ar interior \leq valor máximo diário da temperatura do ar exterior (zonas 1 a 8)
I	- Valor máximo diário da temperatura do ar interior \leq 29°C (zonas 1 a 7) - Valor máximo diário da temperatura do ar interior \leq 28°C (zona 8)
S	- Valor máximo diário da temperatura do ar interior \leq 27°C (zonas 1 a 7) - Valor máximo diário da temperatura do ar interior \leq 26°C (zona 8)
Zonas bioclimáticas de acordo com o projeto de norma 02:135.07-003:1998 – Parte 3	

Fonte: Adaptado de NBR 15.575 (2008)

Tabela 5 – Critérios que eram adotados para a avaliação de desempenho térmico para a condição de inverno

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5 ¹⁾	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
M	Valor mínimo diário da temperatura do ar interior \geq 12°C.	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado.
I	Valor mínimo diário da temperatura do ar interior \geq 15°C.	
S	Valor mínimo diário da temperatura do ar interior \geq 17°C.	
¹⁾ Nas zonas 1 e 2 o critério deve ser verificado considerando-se fonte interna de calor de 1000W.		
Zonas bioclimáticas de acordo com o projeto de norma 02:135.07-003:1998 – Parte 3		

Fonte: Adaptado de NBR 15.575 (2008)

Na versão de 2013, os níveis de desempenho são baseados na temperatura externa da cidade ou zona a ser simulada, fazendo com que haja um critério desigual na determinação do desempenho térmico.

Com facilidade, pode-se observar que a alteração dos critérios de avaliação dos níveis de desempenho da versão da atual da NBR 15.575, possibilita que uma edificação em Curitiba, PR, cuja temperatura externa do dia típico de inverno é de 0,7°C (Tabela 06), seja aprovada pela NBR 15.575 (ABNT, 2013) se a temperatura interna atingir 3,7°C.

Ao mesmo tempo em que se aprova esta edificação para Curitiba com 3,7°C de temperatura interna, se reprova a edificação para São Paulo, se a temperatura interna desta edificação não atingir 12,2°C, já que a temperatura externa do dia típico de inverno é 9,2°C.

No caso de Curitiba, cuja temperatura interna ficou em $3,7^{\circ}\text{C}$, a edificação poderia ser aprovada sem necessidade de isolamento térmico, mesmo que esta edificação necessite obrigatoriamente de aquecimento artificial. Enquanto que em São Paulo, cuja temperatura interna poderia ter atingido 12°C , seria indicado a necessidade de melhoria no isolamento.

Pela versão da NBR 15.575 (2008) ambas as edificações só seriam aprovadas se a temperatura interna atingisse 12°C , considerando uma fonte interna de calor de 1000W, o que exigiria uma preocupação maior com o isolamento em Curitiba, para que o calor interno não fosse inteiramente perdido.

Por outro lado, estabelecer uma temperatura máxima e mínima interna, única para todas as zonas bioclimáticas, sem considerar o clima específico de cada uma, pode gerar expectativas que não correspondem à realidade dos usuários.

O trabalho de De Dear e Brager (1998), que resultou no Método Adaptativo, busca justamente contornar este problema.

B) Condições de contorno do Método de Simulação

Orientação e Absortância Solar da Edificação

A norma estabelece que, para a avaliação por simulação, devem ser simulados recintos de permanência prolongada na unidade habitacional (sala de estar e dormitórios), considerando um ambiente na extremidade da habitação e a orientação geográfica mais crítica para o ponto de vista térmico do verão e inverno. Para o verão, o ambiente deve possuir uma janela voltada para a fachada Oeste e uma parede exposta para o Norte. Para o inverno, o ambiente deve possuir uma janela voltada para a fachada Sul e uma parede exposta para o Leste.

Já para a absortância da radiação solar, a norma estabelece que a edificação deve ser configurada conforme a cor estabelecida no projeto. Caso não tenha a cor definida para paredes, a simulação será feita para as três absortâncias, ou seja, cor clara ($\alpha=0,3$), cor média ($\alpha=0,5$) e cor escura ($\alpha=0,7$).

Ocupação e Usos

Com relação a ocupação e usos da edificação, a norma estabelece que a habitação seja configurada como se estivesse totalmente desocupada, sem fontes internas de calor, tanto dos ocupantes quanto dos equipamentos de uso geral (como lâmpadas e aparelhos eletrônicos, por exemplo).

Aberturas e Ventilação natural

Ambientes de permanência prolongada (sala de estar e dormitórios, novamente) terão um percentual de área mínima de abertura para ventilação. Caso a cidade onde a edificação será inserida tenha alguma legislação específica, essa atenderá aos requisitos, desde que possua um percentual maior do que mencionado na norma; quando não houver legislação, a edificação adotará os valores estabelecidos pela NBR 15.575 (ABNT, 2013), conforme Tabela 7.

As aberturas serão conformadas como se não existisse nenhum tipo de obstrução ou elemento de proteção contra a incidência direta da radiação solar.

Tabela 7 - Área mínima de ventilação em dormitórios e sala de estar

Nível de desempenho	Critérios	
	Zonas 1 a 7 (aberturas médias)	Zona 8 (aberturas grandes)
Mínimo	$A \geq 7\%$ da área do piso	$A \geq 12\%$ da área do piso – Região norte $A \geq 8\%$ da área do piso – Região nordeste e sudeste
NOTA: Nas zonas de 1 a 6 as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio.		

Fonte: Adaptado de NBR 15575 (2013)

Na ventilação natural, a simulação será configurada como uma condição “padrão”, ou seja, com uma taxa de renovação de ar estabelecida em uma por hora (1ren/h) no ambiente. Essa taxa é considerada como uma ventilação oriunda de frestas, inclusive para os áticos e coberturas.

A NBR 15.575 (ABNT, 2013) estabelece que, caso a edificação não atenda aos critérios estabelecidos para verão para a taxa de uma renovação por hora, ela será simulada novamente alterando-se a ventilação com taxa ampliada para cinco renovações de ar por hora (5 ren/h) e sem sombreamento nas janelas.

No sombreamento será necessária a inserção de proteção solar na esquadria, (venezianas, cortinas, etc), capaz de reduzir em 50% a radiação solar no ambiente. A taxa de renovação de ar para essa alternativa deve ser de uma renovação de ar por hora (1ren/h).

Pode-se também adotar a combinação destas duas alternativas, estabelecendo-se a taxa de cinco renovações por hora (5ren/h) e sombreamento de 50% das esquadrias com relação à radiação solar.

2.2.4 RTQ-C e RTQ-R

Na área da eficiência energética, alguns dos maiores avanços estão nas publicações do Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R).

Assim como a NBR 15575, o RTQ-C e o RTQ-R também adotam a simulação computacional como um dos métodos de avaliação da edificação, porém essa configuração é estabelecida através de simulação horária de um ano típico (*TRY ou TMY*), diferentemente da NBR 15575 que se utiliza de uma temperatura base referente aos dias típicos tanto de verão quanto de inverno.

O RTQ-C foi publicado pela Portaria nº372 de 17 de Setembro de 2009, e apresenta os critérios para classificação do nível de eficiência energética do edifício através da avaliação de três sistemas: envoltória, iluminação e condicionamento de ar, podendo ser concedida uma etiqueta parcial ou geral para o edifício.

Em 2010 foi publicado o RTQ-R, pela Portaria nº449, de 25 de novembro. O regulamento tem como objetivo criar condições para a etiquetagem do nível de eficiência energética de edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares, especificando os requisitos técnicos e os métodos para classificação das edificações residenciais quanto à eficiência energética, para obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE).

No Método Prescritivo serão considerados pré-requisitos limites das propriedades térmicas dos fechamentos, em função do zoneamento bioclimático brasileiro, como absorvância solar, transmitância, capacidade térmica e da ventilação e da iluminação natural.

Os ambientes de permanência prolongada são avaliados separadamente, em função dos indicadores de graus-hora de resfriamento (GHR) e do cálculo do consumo anual relativo para aquecimento (CA), obtido através de equações de redução matemática, buscando a valorização dos projetos mais eficientes e que empregam os materiais mais adequados. Os resultados obtidos são comparados com os valores de referência das tabelas de classificação para cada nível de eficiência energética, desde A até E, e o cumprimento dos pré-requisitos são verificados. Nota-se que o RTQ-R não possui uma avaliação por graus-hora de aquecimento (GHA).

No Método de Simulação Computacional deve-se modelar as zonas térmicas da edificação e realizar simulações para duas condições: a naturalmente ventilada e a condicionada artificialmente. Após, faz-se a comparação com os mesmos valores de referência do Método Prescritivo. No entanto, neste método, os pré-requisitos a serem atendidos dizem respeito à iluminação e à ventilação natural, além de outros específicos para o processo de simulação.

Com relação a estudos, fazendo um comparativo entre o método da NBR 15575 e o do RTQ-R, apontam diferenças entre os métodos, sendo este último considerado muito mais amplo e preciso. Como é mencionado no trabalho de Silva e Ghisi (2014) que fizeram uma análise comparativa dos resultados do desempenho térmico da envoltória de uma edificação residencial pelos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR 15575-1 e chegaram à conclusão que os resultados mais realistas são apresentados no método do RTQ-R pois possui uma classificação mais abrangente.

Até esse momento, é importante salientar a coexistência de normas e regulamentos em desempenho termoenergético, com critérios e metodologias diferentes gerando dúvidas e insegurança quanto à adequação destas.

2.3 Programas de Simulação Computacional

A disponibilidade de diversos tipos de ferramentas computacionais para simulação são importantes instrumentos na verificação e análise de edifícios, tanto em relação ao seu comportamento energético quanto térmico, acústico, de iluminação, entre outros.

A grande vantagem da simulação computacional é sua versatilidade de utilização desde a fase de concepção e projeto, durante a construção ou mesmo ainda na habitação já edificada. Desse modo, o arquiteto tem a condição de testar inúmeras soluções para a edificação, com um baixo custo (quando utilizada antes da construção), ou sem a necessidade de intervenção antecipada na mesma (quando em construção ou já edificada). Para Martins *et al.* (2009), toda simulação computacional representa uma simplificação da realidade em seus níveis de complexidade, que em função dos parâmetros adotados podem levar a resultados mais ou menos precisos.

Na década de 70 foram desenvolvidas as primeiras ferramentas de simulação computacional de edificações. O BLAST e o DOE-2, desenvolvidos nos Estados Unidos entre

as décadas de 70 e 80, tiveram seus principais recursos e características convergidos no *EnergyPlus*.

O *EnergyPlus*, desenvolvido pelo *Lawrence Berkeley National Laboratory* (Califórnia – EUA) associados com outros laboratórios americanos, para o *Department of Energy of the United States of America (DOE)*, é um dos programas de simulação computacional térmica e energética mais utilizados e confiáveis atualmente no mundo.

Segundo Melo (2007), o *EnergyPlus* é o primeiro sistema especializado em análise energética e utilizado para dar suporte no desenvolvimento das normas da *ASHRAE* em alguns países.

O *EnergyPlus*, a partir da modelagem física do edifício e seus sistemas de ventilação, iluminação, aquecimento e resfriamento, é capaz de estimar trocas térmicas, índices de iluminação e consumo energético de edifícios (PEREIRA e GHISI, 2008).

De acordo com Mendes *et al* (2005), o *EnergyPlus*, apesar de sua disseminação no meio da simulação computacional térmica e energética, não possui interface gráfica própria, dificultando a utilização do programa, apesar de atualmente utilizar-se da interface de outros programas de modelagem tridimensional. A Figura 10 mostra a interface do programa de edição do *Input Data File (IDF)* do *EnergyPlus*.

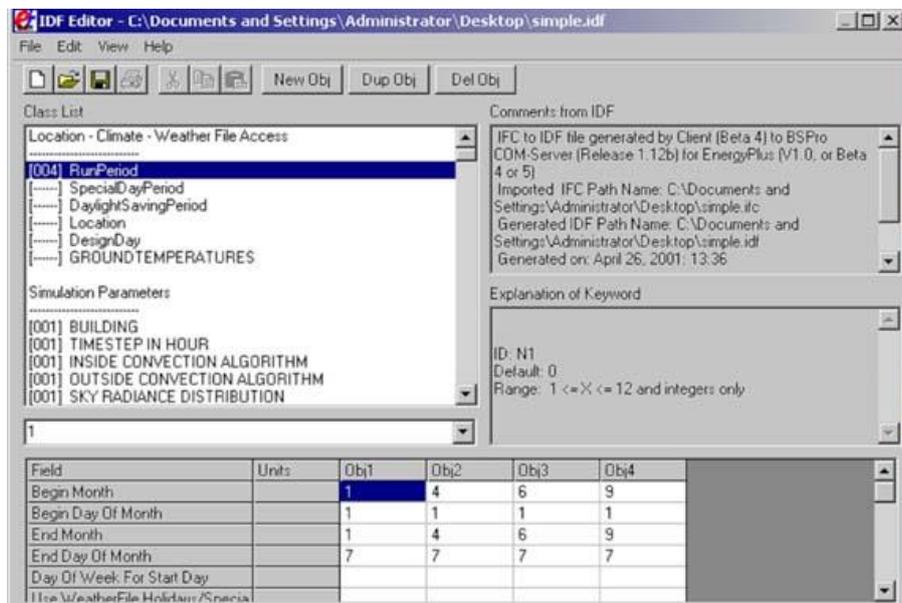


Figura 10 - Interface gráfica do *EnergyPlus*

Fonte: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/images/screen_shot_idf_editor.jpg (2013)

O *DesignBuilder* (Figura 11), *software* empregado nesse trabalho para a modelagem da edificação, difere do *EnergyPlus* por possuir uma interface gráfica com recursos que permitem a interação com o usuário tanto para modelagem da geometria quanto para inserção dos dados técnicos e propriedades físicas dos sistemas construtivos. Entretanto, com relação a simulação termoenergética em si, o *DesignBuilder* utiliza os algoritmos do *EnergyPlus* para essa função, de forma que este funcione como motor de cálculo para aquele.

Nas simulações computacionais desse trabalho utilizaram-se as versões *EnergyPlus* 8.1 (DOE, 2013) e *DesignBuilder* 3.4.0.041 (DESINGBUILDER, 2014). Ambos os programas atendem a ASHRAE 140, uma das recomendações da NBR 15575 (2013), do RTQ-C e RTQ-R para o cálculo do desempenho térmico pelo Método de Simulação.

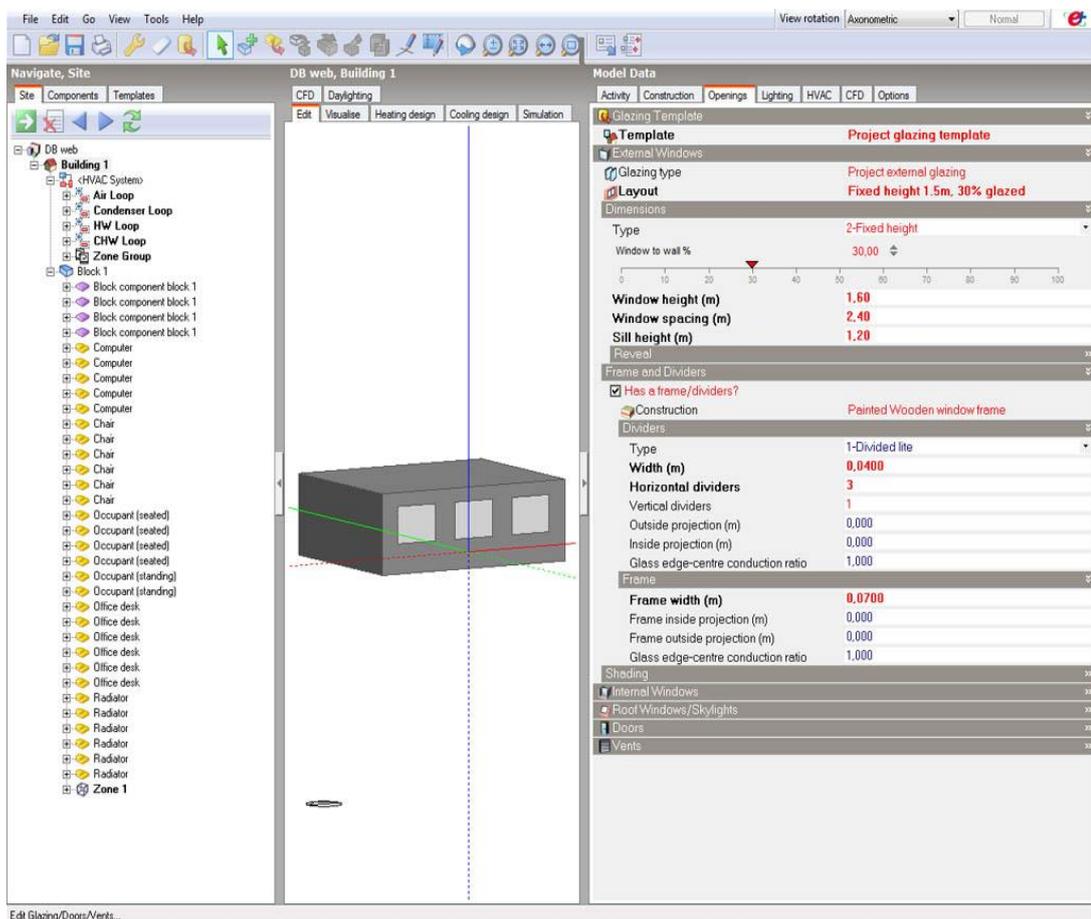


Figura 11 - Interface gráfica do *DesignBuilder*

Fonte: http://designbuilder.cz/docs/designbuilder_cz/imgs/DesignBuilder-okna1-0.jpg (2013)

2.4 Hipercubo Latino (LHS)

Nos problemas de difícil previsibilidade, os modelos computacionais adotam técnicas para representar a aleatoriedade, tal como, a geração de valores aleatórios como dados de

entrada. Na maioria das vezes esses valores são oriundos de um sorteio aleatório simples de um determinado espaço amostral (DEUS, 2010, p.57).

Há técnicas que representam de modo mais eficiente este espaço amostral, de modo que para a seleções das amostras é estabelecida em procedimentos que percorrem todo o espaço amostral. O método do Hipercubo Latino é uma técnica de amostragem estratificada na qual os estratos selecionados da distribuição são representados na amostra através de um representante.

A amostragem por hipercubo latino foi sugerida por McKay, Beckman e Conover (1979), nela o domínio de cada variável aleatória (VA) X_k ($k = 1, \dots, M$) é dividido em N intervalos, ΔX_k ($i=1, 2, \dots, N$), de igual probabilidade $1/N$. O número de intervalos N na amostragem por hipercubo latino deve ser igual ao tamanho da amostra desejada, ou seja, igual ao número total de simulações.

Trabalhos recentes em simulação de desempenho termoenergético de edificações têm utilizado o método do Hipercubo Latino para gerar combinações de amostras aleatórias. O método do Hipercubo Latino permite que se realizem diferentes combinações entre os parâmetros de um mesmo caso (MELO, 2012).

Silva e Ghisi (2014) utilizaram o método do Hipercubo Latino para gerar 500 combinações de amostragens aleatórias em um universo de 12 variáveis de simulação, e isso possibilitou a obtenção dos níveis de desempenho.

Heo, Choudhary e Augenbroe (2012) também utilizaram em seu trabalho o método do Hipercubo Latino, obtendo sucesso para a calibração de modelos energéticos para análise de *retrofit*.

A Figura 12 ilustra os correspondentes intervalos usados na amostra do hipercubo latino para ambas as variáveis em função da sua distribuição de probabilidade e da função de distribuição acumulada.

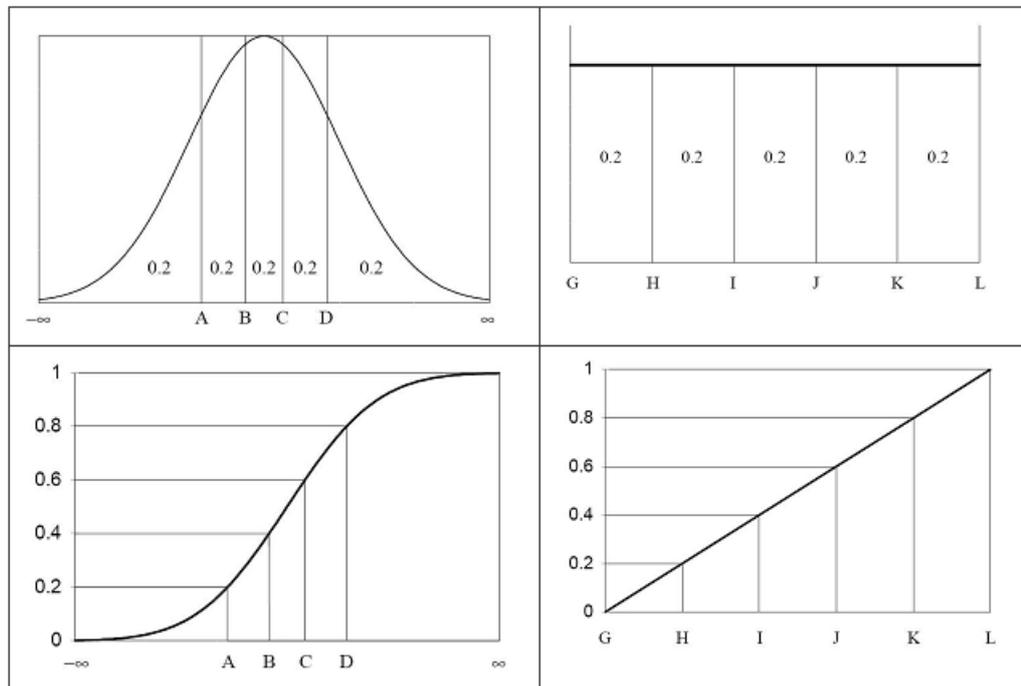


Figura 12 - Intervalos usados pela amostra hipercubo latina para variáveis de distribuição normal e uniforme

Fonte: (Wyss, 1998)

3 MÉTODO

Para um melhor entendimento das etapas do método da pesquisa, foi elaborado um fluxograma mostrando cada passo importante no andamento do trabalho, conforme Figura 13. O fluxograma se mostra importante para entender cada etapa e ajustes necessários nos programas de simulação e do método de análise.

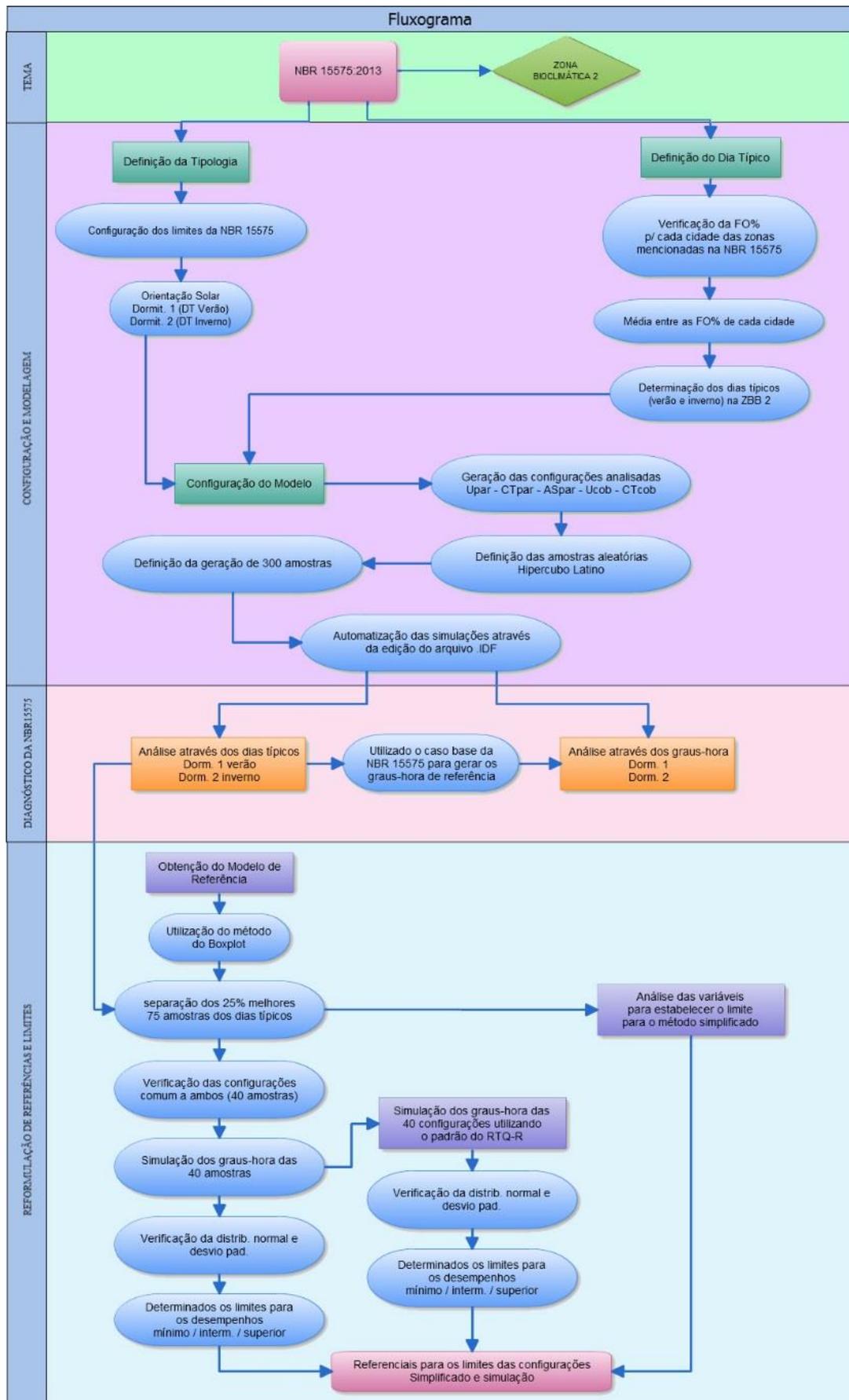


Figura 13 – Fluxograma das etapas do desenvolvimento da pesquisa

3.1 Definição do Objeto de Estudo

3.1.1 Tipologia e Geometria

A escolha do tipo partiu do desenvolvimento de um projeto de habitação que atendesse as especificações mínimas para o programa Minha Casa, Minha Vida (Ministério das Cidades, 2009). Então, adotou-se neste trabalho o tipo desenvolvido por Oliveira (2012), onde o autor verificou as especificações mínimas que constam no programa Minha Casa Minha Vida “2” e o código de obras do município de Pelotas, pertencente a zona bioclimática 2, e buscou uma habitação que representasse a tendência atual da construção civil no país, no que tange à HIS, sendo que a área total das edificações analisadas estaria compreendida entre 35 e 42m². Foi projetado uma edificação térrea com dois dormitórios, sala e cozinha conjugadas, e banheiro, com metragem de 40,80m², conforme Figura 14.

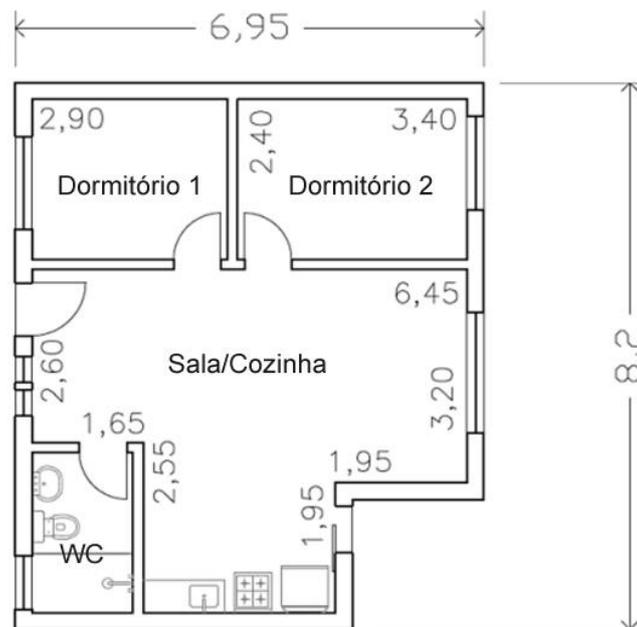


Figura 14 – Planta baixa da edificação
Fonte: OLIVEIRA (2012)

3.1.2 Definição da Temperatura do Solo

A temperatura do solo para as simulações é um fator importante, sobretudo no caso de edificações térreas. O contato do piso com o solo tem influência direta na temperatura interna dos ambientes.

Para a definição da temperatura do solo utilizou-se o programa *SLAB* (vinculado ao *EnergyPlus*). Este calcula a temperatura média do solo em cada mês do ano, considerando os valores do ar interno e externo da habitação para este cômputo.

No trabalho desenvolvido por Oliveira *et al* (2012), foi verificado a influência da escolha da forma de inserção da temperatura do solo no programa de simulação, para a zona bioclimática 2. Foi feita a análise do conforto térmico obtido no interior da edificação, através do programa *Analysis-Bio* (UFSC, 2010), em uma edificação modelada e simulada através do programa *DesignBuilder*, configurada conforme parâmetros mínimos exigidos pelo programa *Minha Casa Minha Vida* e com os padrões de ocupação e utilização do RTQ-R. Os resultados obtidos indicaram a importância da utilização da metodologia do RTQ-R para inserção da temperatura do solo (programa *SLAB*) no processo de simulação, demonstrando que a influência da temperatura do solo no balanço térmico da edificação é significativamente maior quanto mais isolada for a edificação.

Silva e Ghisi (2014) também utilizaram o *SLAB* para a determinação da temperatura do solo em seus trabalhos, pois a iteração das simulações analisadas pelos autores, dependia diretamente da temperatura média do ar interno da edificação, onde a temperatura do solo gera influência.

A escolha do *SLAB* para configurar a temperatura do solo se deu pelo fato da influência do solo com relação a troca de calor com o ambiente interno da edificação, tentando fazer com que a edificação se aproxime o máximo possível com a realidade. Os valores definidos através do programa *SLAB* foram utilizadas em todas as simulações, e são apresentadas na tabela 8.

Tabela 8 - Temperatura do solo definida pelo programa *SLAB*

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
°C	26	25	25	24	20	19	20	19	19	21	21	23

3.1.3 Propriedades Construtivas da Envoltória

A configuração do modelo de referência, o qual denominou-se de caso-base, foi construída com a utilização dos dados limites impostos pela NBR 15.575 (ABNT, 2013). As paredes (externas e internas) são compostas de cerâmica, com transmitância térmica de $U_{par}=2,5W/m^2K$ e capacidade térmica de $CT_{par}=130KJ/m^2K$ para a zona bioclimática

analisada. A absorptância solar adotada possui percentual de 50% ($\alpha = 0,50$). A NBR 15.575 (ABNT, 2013) estabelece para uma edificação que não possua uma cor definida, a exigência da simulação ser realizada para três matizes de cor, ou seja, clara ($\alpha = 0,3$), média ($\alpha = 0,5$) e escura ($\alpha = 0,7$). Para o caso-base, utilizou-se a absorptância intermediária.

Para a cobertura utilizou-se o valor da transmitância térmica de $U_{cob}=2,3W/m^2K$, isso equivale a uma cobertura com telha de barro, câmara de ar e forro. Como a NBR 15.575 (ABNT, 2013) não estabelece algum valor para Capacidade Térmica da cobertura, utilizou-se a $CT_{cob}=110KJ/m^2K$, que segundo Silva e Ghisi (2013) é o valor típico, com maior probabilidade de ocorrência. Em relação a absorptância solar, a cobertura foi configurada com absorptância intermediária, ou seja, cor média ($\alpha = 0,5$). Essa absorptância será mantida para todas as simulações pois não será analisado diferentes valores de absorptância na cobertura.

Com relação ao tamanho das aberturas, configurou-se $A \geq 7\%$ do piso, de modo que fosse atendido o mínimo exigido pela NBR 15.575 (ABNT, 2013), e sem nenhum dispositivo de sombreamento.

3.1.4 Ventilação

Segundo a *ASHRAE* (2009), as trocas de ar entre os meios externo e interno dão-se de duas formas: pela ventilação e através das infiltrações. A ventilação é a forma intencional de ingresso ou expurgo de ar no interior do ambiente. Se natural, pode ter causa na diferença de pressão ou temperatura, enquanto a ventilação forçada ou mecânica necessita de ventiladores, exaustores e insufladores para proporcionar a movimentação do ar para dentro ou para fora do ambiente. A outra forma de trocar-se o ar é por meio de infiltração, geralmente indesejada, representada pela passagem de ar através de falhas de encaixe ou frestas existentes em aberturas, que geram um fluxo incontrolável do ar de fora para dentro da edificação.

De acordo com a NBR 15.575 (ABNT, 2013), nas simulações foram consideradas para a ventilação uma condição padrão, com taxa de uma renovação de ar por hora (1 ren/h) do ambiente inclusive para os áticos das coberturas. Nessa condição de ventilação, considera-se que não há nenhum elemento sombreador contra a incidência de radiação solar. Caso a unidade habitacional não atenda aos critérios estabelecidos para o período do verão, nas condições acima, a NBR 15.575 (ABNT, 2013) estabelece a necessidade de nova simulação, considerando-se uma nova configuração da taxa de ventilação com cinco renovações do volume de ar do ambiente por hora (5 ren/h). Nesse trabalho, inicialmente a edificação foi analisada utilizando-se a taxa de ventilação de 1 ren/h em todas as simulações.

3.1.5 Padrão de Ocupação

De acordo com a NBR 15.575 (ABNT, 2013), o padrão de ocupação será configurado como se a edificação estivesse vazia e fechada, sem que haja pessoas ou quaisquer dispositivos de ganhos internos.

3.1.6 Orientação Solar

Segundo a NBR 15.575 (ABNT, 2013), para o método de simulação será definida a orientação solar dos ambientes analisados com as piores condições possíveis, desde que não haja implantação definida para o projeto. Neste trabalho, na simulação para o período de verão, a edificação foi orientada de modo que o dormitório 1 tivesse a janela voltada para a fachada Oeste e uma parede para a fachada Norte, conforme Figura 15. Para o período de inverno, a edificação foi posicionada de modo que o dormitório 2 tivesse a janela com face para a fachada Sul e uma parede voltada para a fachada Leste, conforme Figura 16.



Figura 15 - Orientação do dormitório 1 para o dia típico de verão



Figura 16 - Orientação do dormitório 2 para o dia típico de inverno

A cobertura também teve sua orientação modificada, juntamente com a edificação, conforme Figura. 17a e 17b. A cobertura tem um papel fundamental no desempenho térmico, para habitações térreas (LAMBERTS *et al*, 2010). No trabalho de Oliveira (2012) verificou-se que a radiação solar varia conforme a orientação da cobertura, mas essas alterações na orientação das águas do telhado não apresentam diferenças significativas nos ganhos calculados, sendo que a diferença de conforto foi no máximo de 1,5%.

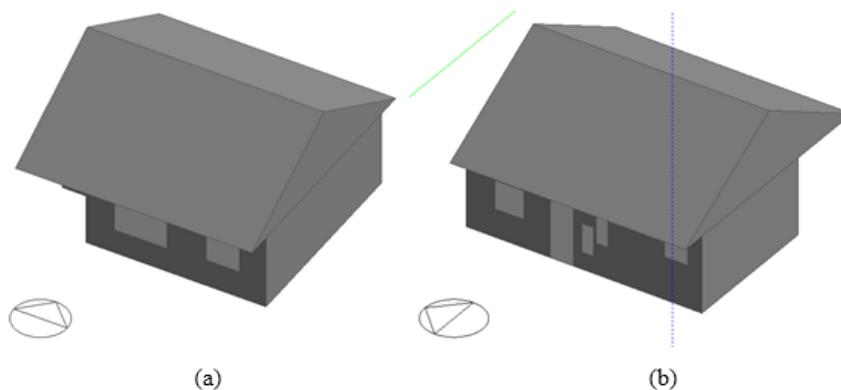


Figura 17 - Orientação solar da cobertura: (a) Eixo leste-oeste; (b) Eixo norte-sul

3.1.7 Definição do Dia Típico

Para determinação dos dias típicos de verão e inverno, foi utilizado o método de tratamento da Akutsu e Vittorino (1991) que foi o mesmo utilizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) na determinação dos dias típicos estabelecidos na NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Cabe ainda ressaltar que o método de tratamento estabelece Frequências de ocorrências (FO%) para a determinação do dia típico, mas a norma não estabelece para qual Frequência de Ocorrência, foram definidos os dias típicos.

A NBR 15.575 (ABNT, 2013) estabelece que para a realização das simulações computacionais, utilizem-se os valores de referências de dias típicos próprios apresentados na norma para as cidades brasileiras. Na falta dos dados específicos da cidade onde insere-se a edificação, a própria NBR 15575 recomenda a utilização de dados das cidades com características climáticas semelhantes e na mesma zona bioclimática, conforme discriminado na NBR 15.220-3 (ABNT, 2005).

A NBR 15.575 (ABNT, 2013) não possui nenhum dado de dia típico de verão e de inverno para cidades pertencentes a zona bioclimática 2. Ela também não estabelece qual foi o percentual da Frequência de Ocorrência (FO%) utilizado no cálculo dos dias típicos das cidades existentes na própria norma.

Em decorrência da ausência de dia típico na norma, para o caso da **Zona Bioclimática 2**, aplicações da NBR 15.575 submetidas ao SINAT (Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Produtos Inovadores) têm utilizado a cidade de São Lourenço, MG, observando valores gerados pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) com base em dados climáticos do INMET e dados de radiação solar global no plano horizontal obtidos do CRESESP. Entretanto, a cidade de São Lourenço situa-se a uma altitude de 953 metros, não sendo da mesma ordem de grandeza da altitude da cidade de Santa Maria, RS, tomada como referência em simulações da Zona Bioclimática 2, por possuir arquivo de dados horários do tipo *TMY*. São Lourenço por sua vez não possui dados horários do tipo *TRY* ou *TMY*, impossibilitando realizar as simulações. Apesar de pertencerem a mesma zona bioclimática, utilizar duas cidades diferentes para avaliar métodos diferentes, gera uma dificuldade a mais para isolar a variável a ser analisada e uma imprecisão na origem da avaliação.

Como este trabalho tem como um dos objetivos específicos, avaliar a influência do método de simulação por dia típico e por simulação horária, faz-se necessário obter o dia típico de uma cidade da qual se tenha dados horários.

Para isso, utilizar-se-á o arquivo climático *TMY* de Santa Maria-RS, pertencente a Zona Bioclimática 2. Antes de estabelecer um dia típico de verão e inverno para a zona bioclimática 2 a partir de um arquivo *TMY*, fez-se uma análise dos arquivos climáticos *TRY* de algumas cidades existentes na NBR 15.575 (ABNT, 2013), de modo a identificar qual seria a Frequência de Ocorrência conforme estabelecido pela NBR 15.575 (ABNT, 2013) para essas cidades, tendo como origem os dados *TRY*.

Foi escolhida uma cidade de cada zona bioclimática, desconsiderando-se as zonas 2 e 5 por não possuírem dados de cidades na norma. A Tabela. 9 apresenta as cidades selecionadas para o cálculo da Frequência de Ocorrência.

Tabela 9 - Cidades analisadas para determinar o nível de significância

Zona Bioclimática	Cidade	Dia típico de Verão	Dia típico de inverno
1	Curitiba	✓	✓
2	<i>Não possui dados de cidades</i>	X	X
3	Porto Alegre	✓	✓
4	Brasília	✓	✓
5	<i>Não possui dados de cidades</i>	X	X
6	Campo Grande	✓	Ñ necessita cálculo
7	Cuiabá	✓	Ñ necessita cálculo
8	Rio de Janeiro	✓	Ñ necessita cálculo

Para verificar o dia típico correspondente de cada cidade, através do arquivo climático *TRY*, utilizou-se o método de Akutsu e Vittorino (1998), já citado anteriormente. Depois, foi possível a comparação dos dados dessas cidades, mencionados na norma, com os resultados obtidos dos arquivos climáticos. Assim, foi possível o estabelecimento da frequência de Ocorrência (FO%) para cada cidade analisada, tanto para o dia típico de inverno, quanto para o dia típico de verão, conforme Tabela 10.

Tabela 10 – Frequência de ocorrência das cidades analisadas

Cidade	Dia típico de verão (FO%)	Dia típico de inverno (FO%)
Curitiba	2,7	99,3
Porto Alegre	6,3	97,8
Brasília	13,9	76,7
Campo Grande	13,8	Ñ possui
Cuiabá	9,2	Ñ possui
Rio de Janeiro	0,2	Ñ possui

Com a definição da frequência, fez-se uma média das ocorrências das cidades (para o período de verão e para o de inverno). A média destas ocorrências serviu como base para a identificação dos dias típicos de verão e de inverno no arquivo climático daquelas zonas faltantes. A média das Frequências de Ocorrências está apresentada na Tabela 11.

Tabela 11 - Média das frequências de ocorrências das cidades analisadas

Dia Típico	Frequência de Ocorrência (Média)
Verão	8,5%
Inverno	91,6%

Este processo de analisar e obter uma média das Frequências de Ocorrências dos dias típicos, das cidades constantes na NBR 15.575, a partir de dados TRY, é apenas para estabelecer um parâmetro de referência, pois que previamente se poderia determinar qual Frequência de Ocorrência seria adotada para identificar os dias típicos de verão e inverno, no arquivo TMY de Santa Maria, RS.

O método de Akutsu e Vittorino (1998) estabelece Frequências de Ocorrências para o verão de 1%, 2,5%, 5% e 10%, e para o inverno de 99%, 97,5%, 95% e 90%, respectivamente de maior exigência a menor exigência. Assim, arredondou-se os valores das médias de verão e inverno para o nível de maior exigência, conforme apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 - Frequência de ocorrência adotada para a Zona Bioclimática 2

Dia Típico	Frequência de ocorrência adotada para ZB2
Verão	5%
Inverno	95%

Com as Frequências de Ocorrências definidas, foi possível o estabelecimento dos parâmetros para o cálculo dos dias típicos a serem adotados para a cidade de Santa Maria-RS, pertencente a zona bioclimática 2, utilizando-se o método de Akutsu e Vittorino (1998).

Primeiramente simulou-se o arquivo climático de Santa Maria-RS e analisou-se os meses pertencentes ao período de verão (dezembro, janeiro e fevereiro) e aos de inverno (junho e julho), através da Equação. 02, já referida no método. Com a definição do período, simularam-se os dias dos meses pertencentes a cada um dos períodos, organizados de acordo com a Frequência de Ocorrência relacionada à temperatura do ar interno. As Tabelas 13 e 14 mostram apenas os nove primeiros dias de cada período com as Frequências de Ocorrência calculadas.

Tabela 13 - Definição do dia típico de verão para a Zona Bioclimática 2

Definição do dia típico de verão ZB2		
Data	Temperatura (°C)	Frequência Ocorrência
26/jan	36.00	1.66%
30/jan	36.00	1.66%
22/jan	35.00	3.48%
25/dez	34.80	3.99%
27/dez	34.80	3.99%
29/dez	34.00	6.68%
27/jan	34.00	6.68%
24/dez	33.80	7.54%
12/dez	33.20	10.60%

Tabela 14 - Definição do dia típico de inverno para a Zona Bioclimática 2

Definição do dia típico de inverno ZB2		
Data	Temperatura (°C)	Frequência Ocorrência
27/jun	-1.20	99.08%
21/jun	-0.50	98.67%
31/jul	-0.50	98.67%
28/jun	2.00	95.74%
30/jul	3.00	93.61%
25/jun	4.60	88.60%
26/jun	5.50	84.78%
05/jul	6.00	82.33%
18/jun	6.40	80.19%

Os dias típicos mais característicos são os dias 27 de dezembro (verão) e 28 de junho (inverno), pois tiveram suas Frequências de Ocorrências mais próximas das definidas anteriormente. A Tabela 15 mostra os dados que foram inseridos no programa *EnergyPlus* para os dias típicos de Santa Maria-RS.

Tabela 15 - Dados dos dias típicos para a Zona Bioclimática 2

Dia típico de verão ZB2				
Data	Temp. Máx diária (°C)	Amplitude diária de temp. (°C)	Temp. Bulbo úmido (°C)	Radiação solar (W.h/m ²)
27/dez	34,8	15,6	22,8	5113
Dia típico de inverno ZB2				
Data	Temp. Mín diária (°C)	Amplitude diária de temp. (°C)	Temp. Bulbo úmido (°C)	Radiação solar (W.h/m ²)
28/jun	2,0	21,0	7,0	3261

3.2 Modelagem e Configuração de Simulação do Caso-Base

O processo de modelagem da edificação foi feito no programa computacional *DesignBuilder*, pois ele possui uma interface gráfica de fácil manuseio e configuração, utilizando o motor de cálculo do *EnergyPlus*. Foi necessária uma metodologia para a inserção da configuração dos fechamentos opacos naquele programa. Após a modelagem, foi gerado um arquivo em formato *IDF* e importado para o programa *EP-Launch*, diretamente na suíte do *EnergyPlus*, onde foi possível rodar a simulação destas configurações.

3.2.1 Configuração dos Fechamentos Opacos

Para configurar os fechamentos opacos, o programa *DesignBuilder* considera que todos os componentes são constituídos por camadas transversais ao fluxo de calor, desconsiderando o cálculo de resistências térmicas em paralelo. Ou seja, existem algumas limitações para o desenvolvimento de materiais e componentes.

Ordenes *et al* (2003) desenvolveram em seu trabalho um modelo de construção de um componente equivalente, levando em consideração os fluxos de calor por camadas transversais para a correta inserção de dados no programa. Deste modo, as espessuras e a densidade de massa aparente do material são alteradas, mas sem que haja modificação na transmitância térmica (U), na resistência térmica (R_t) e na capacidade térmica (C_t) do componente, conforme apresentado na Figura 18.

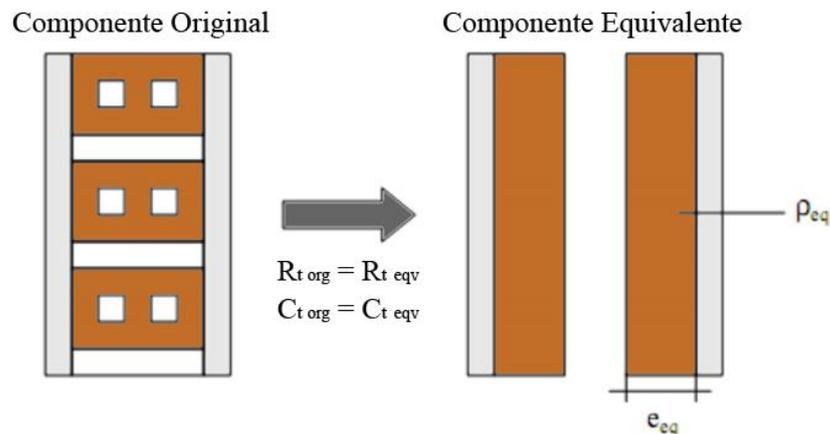


Figura 18 - Componente equivalente

Fonte: Ordenes *et al* (2003)

Na fixação dos fechamentos opacos para o Caso-Base adotou-se as indicações da norma para a zona bioclimática 2, relacionada às características térmicas limites das vedações externas, conforme tabelas 13 e 14 da parte 4, e tabela 5 da parte 5 da NBR 15575 (ABNT, 2013).

Para a configuração do Caso-Base utilizou-se, nas paredes, elementos de massa única composta por cerâmica (o qual vulgarmente foi citado como tijolo maciço equivalente). Serão usados também elementos de massa única na cobertura, pois como há grandes variações de transmitâncias e capacidades térmicas, a adoção de câmara de ar na cobertura impediria algumas configurações de serem simuladas. A opção por empregar a massa única neste componente objetiva uma diminuição dos dados de entrada informados ao programa. Com

isso atenua-se a possibilidade percentual de erros, sem que isto implique em alteração das propriedades térmicas do componente na edificação.

3.2.1.1 Cálculo para o fechamento vertical equivalente do Caso-Base

O cálculo do fechamento vertical equivalente foi feito a partir da transmitância térmica recomendada pela NBR 15.575 (ABNT, 2013), com a qual obteve-se a resistência total. A partir daí, subtraíram-se os valores das resistências superficiais – tanto externa quanto interna – e determinou-se a resistência do material. A seguir, junto com essa resistência do material, especificou-se o valor da condutividade térmica e chegou-se ao valor da espessura equivalente do componente, como mostra o cálculo a seguir:

$U = 2,50 \text{ Wm}^2/\text{K}$		
$R_T = \frac{1}{U} \quad R_T = 0,4 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$		
<hr/>		
$R_T = R_t - R_{si} - R_{se}$	$R_T = 0,4 - 0,13 - 0,04$	$R_T = 0,23 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$
<hr/>		
$R_t = R_{\text{cerâmica}}$	$0,23 = \frac{e_{eq}}{0,9}$	$e_{eq} = 0,207\text{m}$



Figura 19 - Parede equivalente da ZB2

Como a capacidade térmica possui valor já definido, possibilitou-se a determinação da densidade de massa equivalente dos materiais, tendo como parâmetro de entrada sua espessura e valor de calor específico, conforme apresentado a seguir:

$CT = 130 \text{ kJ/m}^2\text{K}$		
$CT = (e.c.\rho_{eq})$	$130 = (0,207 \times 0,92 \times \rho_{eq})$	$\rho_{eq} = \frac{130}{0,1904}$
$\rho_{eq} = 682,62 \text{ kg/m}^2$		

Calculou-se a densidade de massa aparente, pois o programa computacional faz uso dela para o estabelecimento da capacidade térmica (CT).

3.2.1.2 Cálculo para o fechamento horizontal equivalente do Caso-Base

Para a configuração do fechamento horizontal adotou-se a mesma formulação utilizada na configuração do fechamento vertical.

A coexistência de dois valores para o fluxo da resistência superficial na cobertura implica na adoção do valor da resistência térmica descendente (0,17). Oliveira (2012) adotou o fluxo descendente em seu trabalho para o cálculo da cobertura equivalente como dado de entrada para a simulação. A própria NBR 15.220 (ABNT, 2005) também adotou o fluxo descendente como modelo de cálculo.

$U = 2,30 \text{ Wm}^2/\text{K}$		
$R_T = \frac{1}{U} \quad R_T = 0,4347 \text{ m}^2\text{K/W}$		
$R_T = R_t - R_{si} - R_{se}$	$R_T = 0,4347 - 0,17 - 0,04$	$R_T = 0,2247 \text{ m}^2\text{K/W}$
$R_t = R_{concreto}$	$0,2247 = \frac{e_{eq}}{1,75}$	$e_{eq} = 0,393\text{m}$

$CT = 110 \text{ kJ/m}^2\text{K}$		
$CT = (e.c.\rho_{eq})$	$110 = (0,393 \times 1 \times \rho_{eq})$	$\rho_{eq} = \frac{110}{0,393}$
$\rho_{eq} = 279,89 \text{ kg/m}^2$		

3.2.2 Zonas Térmicas na Modelagem da Edificação

Para a modelagem volumétrica da edificação foi necessária a construção de dois blocos: um para o térreo, outro para a cobertura, ilustrados nas Figuras 20 e 21. As paredes internas foram modeladas até a cobertura, de forma que possibilitassem a criação de zonas térmicas independentes. Caso a edificação possuísse câmara de ar na cobertura, haveria trocas térmicas entre os ambientes, assim os resultados poderiam não corresponder com a realidade em cada ambiente. Além do mais, isso também se faz necessário pois o programa de simulação termoenergética *DesignBuilder* limita os valores para entrada de dados na configuração para os fechamentos de paredes e coberturas, estabelecendo a espessura máxima admitida pelo programa de 0,5m. Se a cobertura possuísse câmara de ar, as configurações com Transmitâncias Térmicas maiores que $3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ e Capacidades Térmicas maiores que $110 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ teriam-se valores de espessuras e densidade de massa aparente muito elevados, ficando acima do valor limite permitido no programa computacional.

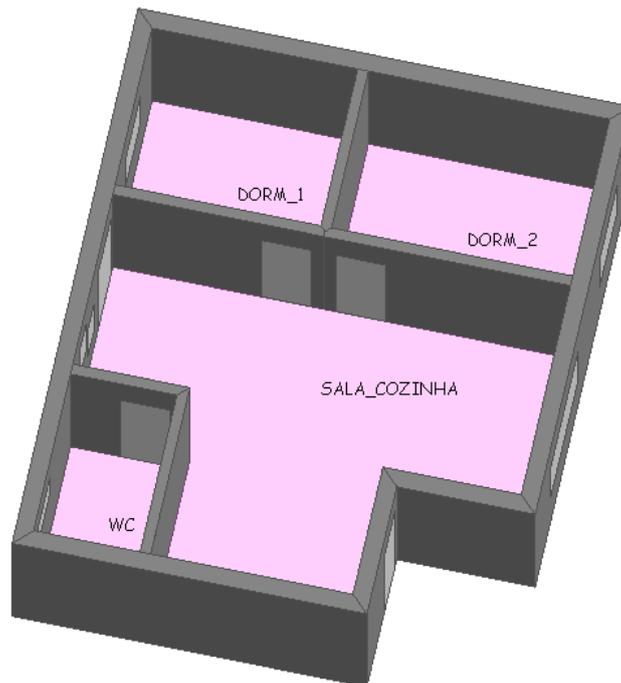


Figura 20 - Bloco das zonas térreas

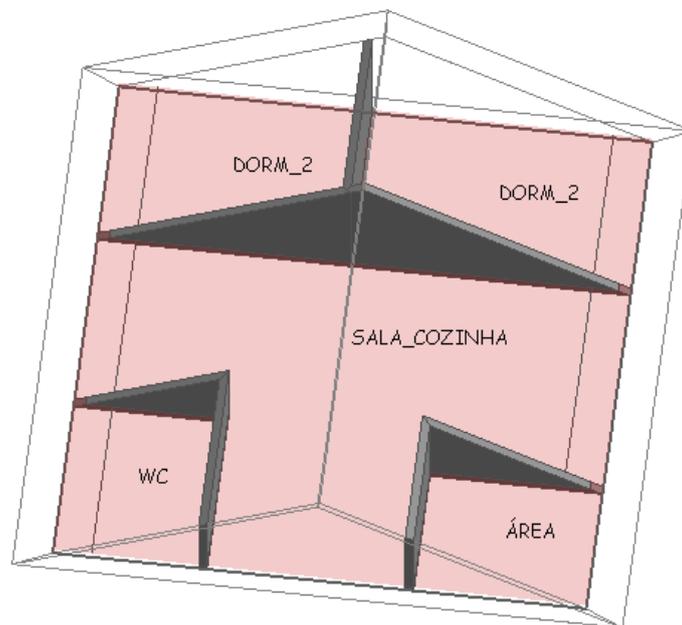


Figura 21 - Bloco das zonas da Cobertura

Para análise dos compartimentos, selecionar-se-á apenas o pavimento térreo, visto que não existe ocupação alguma no bloco superior, e de modo que não haja interferência nos resultados.

Oliveira (2012 p.66) também utilizou em seu trabalho a segregação dos blocos. Isso permitiu que o bloco superior fosse usado apenas como função das alterações nas transmitâncias da cobertura, e o bloco térreo como análise dos resultados dos compartimentos.

3.3 Modelagem e Simulação das configurações propostas a serem analisadas

Para definir as configurações dos fechamentos opacos a serem analisadas, verificou-se os trabalhos de Oliveira (2012), Silva e Ghisi (2014), além da NBR 15.220-3 (ABNT, 2005). Através desses trabalhos foram estabelecidos os valores de diferentes transmitâncias e capacidades térmicas, tanto de paredes quanto de coberturas de modo a que se atenda aos objetivos da pesquisa.

A NBR 15.575 (ABNT, 2013) estabelece que no caso da edificação não ter uma cor definida, ela será simulada para as três variações de absorvância a radiação solar, para a cor clara ($\alpha=0,3$), média ($\alpha=0,5$) e escura ($\alpha=0,7$).

As combinações e valores para transmitâncias e capacidades térmicas de paredes e coberturas, e a absorvância solar das paredes, estão apresentados nas Tabelas 16 e 17.

Tabela 16- Valores da parede a serem combinados

		Absortância 0,3			Absortância 0,5			Absortância 0,7		
	U (W/m ² K)	CT (kJ/m ² K)								
		40	85	130	175	220	265	310	355	
Paredes	1,00									
	1,75									
	2,50									
	3,25									
	4,00									
	4,75									

Tabela 17- Valores da cobertura a serem combinados

	U (W/m ² K)	CT (kJ/m ² K)							
		20	65	110	155	200	245	290	335
Cobertura	1,00								
	1,65								
	2,30								
	2,95								
	3,60								
	4,25								

Quando são cruzados todos os valores das alternativas selecionadas, são obtidas 6.912 combinações de simulação. Para o âmbito de uma dissertação de mestrado, esse total de simulação não poderia ser comportada em tempo disponível, portanto buscou-se uma forma de encontrar as configurações que seriam mais significativas usando um método específico de amostras aleatórias que é o hipercubo latino.

3.3.1 Definição das Amostras Aleatórias

Para essa pesquisa, utilizou-se o método do Hipercubo Latino para geração de combinações aleatórias. Por meio do programa *SimLab* v.2.2.1, que é um *software* capaz de executar sensibilidades e análises de incertezas utilizando diferentes técnicas matemáticas, estabeleceu-se o número de combinações a serem geradas.

No trabalho de Macdonald e Strachan (2001), há recomendação que se utilize um mínimo de 80 combinações aleatórias. Para o trabalho aqui apresentado, estabeleceu-se o cálculo de amostragem de 300 combinações aleatórias, bem acima do mínimo estabelecido por Macdonald e Strachan (2001).

Esse mesmo número de combinações também foi utilizado por Knaap (2011) que gerou 300 combinações para ventilação natural e 300 combinações para condicionamento de ar, criando um cenário de referência feito para 3 moradias isoladas e 20 apartamentos, num universo de 23 variáveis possíveis. Para a configuração no programa, se estabeleceu o tipo de distribuição de probabilidades e a expectativa de ocorrência de cada parâmetro. Nesse caso, a distribuição de probabilidade adotada foi a discreta, que estabelece apenas os valores dos parâmetros indicados para serem combinados. Caso fosse adotada uma distribuição normal, as combinações teriam valores de números não inteiros, os quais estariam entre os valores estabelecidos nas Figuras 24 e 25 já citadas.

Para a probabilidade de ocorrência, adotaram-se os valores do trabalho de Silva e Ghisi (2014) e também os da NBR 15.220-3 (ABNT, 2005). Além do mais, os valores de maiores probabilidades foram baseados nos valores limites da NBR 15.575 (ABNT, 2013), pois as Habitações de Interesse Social possuem suas configurações próximas a esses limites. A probabilidade também define o percentual dos valores nas amostras geradas, ou seja, quanto maior a probabilidade, maior a ocorrência do valor nas amostras.

A Tabela 18 apresenta os parâmetros, valores e probabilidades adotados.

Tabela 18 - Probabilidades dos parâmetros

Parâmetro	Valor	Probabilidade
Transmitância térmica da parede (U _{par})	1,00 / 1,75 / 2,50 / 3,25 / 4,00 / 4,75	0,1 / 0,2 / 0,35 / 0,2 / 0,1 / 0,05
Capacidade térmica da parede (CT _{par})	40 / 85 / 130 / 175 / 220 / 265 / 310 / 355	0,1 / 0,2 / 0,3 / 0,2 / 0,1 / 0,07 / 0,02 / 0,01
Absortância solar da parede (AS _{par})	0,3 / 0,5 / 0,7	0,33 / 0,34 / 0,33
Transmitância térmica da cobertura (U _{cob})	1,00 / 1,65 / 2,30 / 2,95 / 3,60 / 4,25	0,1 / 0,2 / 0,35 / 0,2 / 0,1 / 0,05
Capacidade térmica da cobertura (CT _{cob})	20 / 65 / 110 / 155 / 200 / 245 / 290 / 335	0,1 / 0,2 / 0,3 / 0,2 / 0,1 / 0,07 / 0,02 / 0,01

O somatório das probabilidades deve ser igual a 1. A distribuição de probabilidades das variáveis analisadas segue uma distribuição próxima à normal, com exceção da absortância solar.

No caso da absortância solar, utilizaram-se probabilidades iguais, sem que haja uma de maior ocorrência, pois a própria NBR 15.575 (ABNT, 2013) estabelece a simulação para as

três absorvâncias. O valor de 0,34 adotado para a absorvância média serviu para que o somatório das partes iguaisse a 1.

A figura 22 abaixo apresenta os gráficos das distribuições de probabilidade das variáveis analisadas neste trabalho e listadas na Tabela 18.

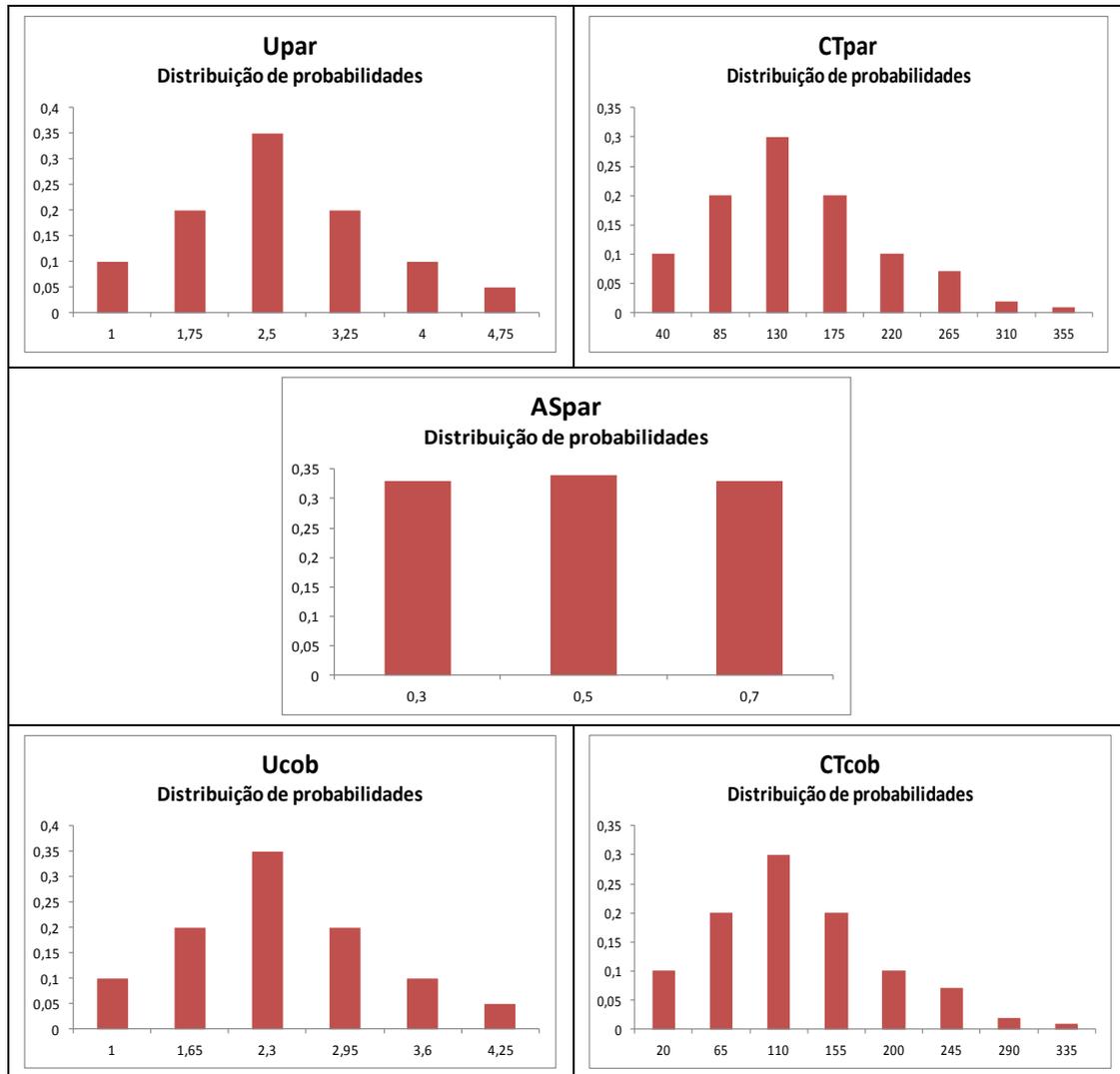


Figura 22 - Distribuições de probabilidade das variáveis analisadas

As 300 combinações geradas pelo programa *SimLab v.2.2.1* estão apresentadas no Apêndice A.

3.3.2 Automação para Simulação das combinações geradas

A partir das combinações geradas, deve-se executar as simulações para cada ambiente a ser analisado. No caso específico, os dormitórios 1 e 2. Além do mais, cada ambiente teria a simulação para o dia típico correspondente e também para o ano todo, resultando em um conjunto de 1200 simulações.

Na tentativa de resolução das simulações de modo rápido e confiável, verificou-se a possibilidade de execução automática das simulações. Franco *et al* (2012) utilizaram o *Building Controls Virtual Test Bed (BCVTB)* como ambiente de integração e execução simultânea de softwares como o *MatLab* e o *EnergyPlus*, concluindo que é possível o aumento das possibilidades de trabalhos na área ao permitir a criação e aplicação de controles específicos para inúmeros fins, melhorando as análises dos dados simulados como um todo. No trabalho de Franco, Ferrugem e Silva(2012) inúmeras simulações foram executadas automaticamente, editando o arquivo *Input Data File (IDF)* do *EnergyPlus* e executando-o a cada passo de simulação, conforme código de regras e sistemas de Redes Neurais.

O primeiro passo para o processo auxiliar de automatização seria a edição do arquivo *Input Data File (IDF)* para simulação no programa *EnergyPlus*, verificando-se quais dados deveriam ser alterados de acordo com a Transmitância e Capacidade Térmica de paredes e coberturas, e a absortância solar de paredes. Para isso utilizou-se dos fechamentos opacos de paredes e cobertura como massa única, e do cálculo das espessuras e densidades equivalentes nas paredes e coberturas de cada configuração.

A seguir verificou-se onde esses dados de espessuras e densidades equivalentes das paredes e coberturas estariam registrados no arquivo *IDF*, determinando-os para serem substituídos pelos dados de cada uma das configurações a serem analisadas.

A automatização foi ajustada para que o dormitório 1 fosse simulado para o perfil climático do dia típico de verão e para o ano todo. No dormitório 2, ela foi ajustada para o dia típico de inverno e para o ano todo.

O desenvolvimento de um conjunto de algoritmos para a automatização das simulações tornou-se necessário. Com esta finalidade, utilizou-se a linguagem de programação *Python*, além do suporte de linguagem de rotinas *Shell Scripts* para o desenvolvimento de alguns passos fundamentais para o processo.

Os dados fornecidos consistiam de tabelas com n linhas, nas quais cada linha representava um conjunto de configurações que deveriam gerar n arquivos do tipo *Input Data File (IDF)*.

Na primeira etapa utilizou-se, como dado de entrada, um arquivo no formato *comma-separated values (CSV)* com n valores para configuração; para a saída, geraram-se n arquivos do tipo *IDF*. A seguir, implementou-se um algoritmo que acessa o arquivo *<config.csv>* e transfere todas as configurações possíveis para um determinado vetor, o qual pode ser

acessado pelo seu índice. Um laço de iteração do tipo *for* percorre um arquivo *IDF* já existente, de modo que, durante os momentos dessa iteração, sejam alteradas as linhas necessárias para que se satisfaça a configuração necessária. O laço de repetição¹ termina quando 300 iterações forem realizadas. Assim, os 300 arquivos *IDF* com as configurações existentes são gerados, e seriam passíveis de acesso posterior através de pastas com o valor do seu índice (de 1 até 300).

Na segunda etapa, simularam-se todos os arquivos *IDF* gerados. Para realizar estas simulações, necessitou-se do recurso da linguagem *Shell Script*, a qual permite um cenário próprio à execução – dentro de uma janela de ação chamada Terminal – de algoritmos que realizem chamadas no sistema.

O pequeno algoritmo desenvolvido propõe-se a realizar as chamadas necessárias para rodar o *software EnergyPlus* por meio de linha de comando (*prompt*), e com isso realizar, a cada iteração, a simulação de todos os arquivos *IDF* existentes. Um exemplo do código do algoritmo é mostrado abaixo:

```
#!/bin/bash
for i in {1..300}
do
./runenergyplus ~/Maicon/Inverno/${i}/Sm0ffPSZ.idf BRA_Santa.Maria.839360_SWERA
done
```

Para a terceira e última etapa, após a obtenção dos resultados das simulações, realizou-se a implementação de um novo algoritmo, desta vez com o objetivo de extrair e filtrar os dados obtidos nas simulações.

O algoritmo desenvolvido lê cada um dos arquivos e extrai as informações para vetores, de modo que permita o acesso posterior dos dados e efetue buscas para encontrar alguma informação específica (como a temperatura interna, por exemplo).

Para os arquivos de saída, configurou-se a automatização para que dados de temperaturas do ar no interior dos compartimentos analisados fossem extraídos. No caso do dia típico de verão, selecionou-se a maior temperatura interna diária; para o de inverno, selecionou-se a menor temperatura interna diária. No ano todo, selecionaram-se as temperaturas internas diárias correspondente a cada hora do dia, totalizando 8.760 horas.

¹ Pode-se afirmar que os trechos de programas que executam estruturas sob esses comandos executam-nas "em laço", em *loops*.

Mesmo depois da geração de todos os arquivos das simulações, pinçaram-se dez combinações de forma aleatória para que fossem configuradas e simuladas manualmente. Com isso, verificar-se-ia a veracidade dos dados gerados pela automatização. Em todas as simulações, os resultados obtidos foram os mesmos gerados na automatização.

3.3.3 Arquivo Climático

O arquivo climático utilizado para representar a Zona Bioclimática 2, foi o de Santa Maria, RS que possui formato *TMY* e foi o mesmo adotado para as simulações que geraram as equações do método prescritivo do RTQ-C e RTQ-R (POUEY, 2011, p.74).

Oliveira (2012) analisou dados de temperatura e de umidade do ar na cidade de Santa Maria-RS, trabalhando com a carta bioclimática de Givoni e utilizando o programa *AnalysisBio v.2.1.5*.

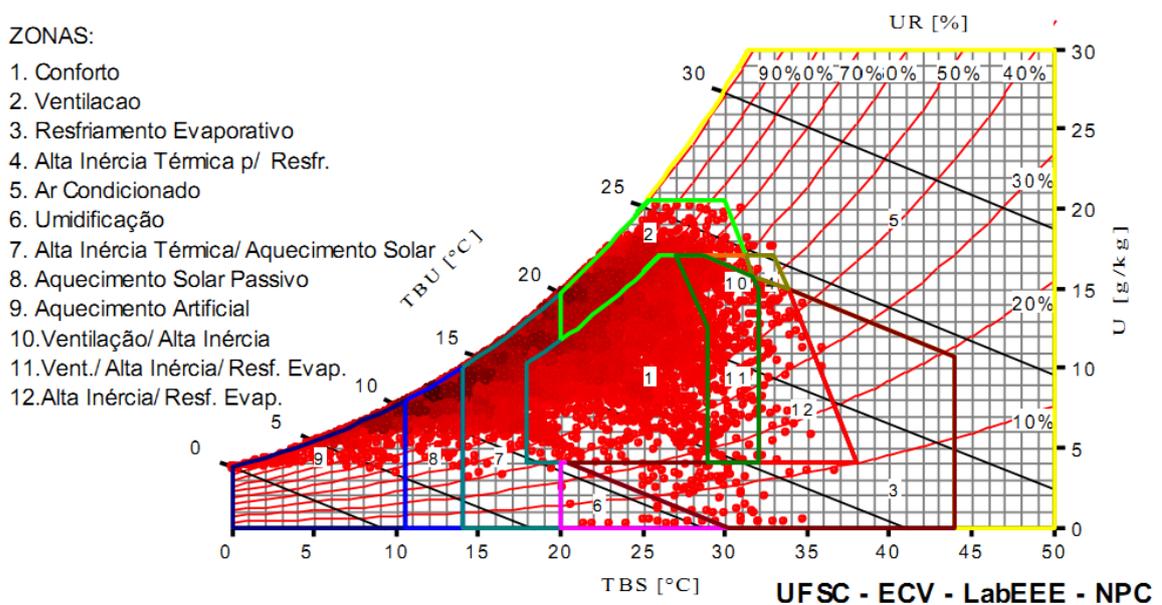


Figura 23 - Carta bioclimática de Santa Maria - RS

Fonte: Ordenes et al (2003)

Os dados plotados na carta indicam que Santa Maria possui um percentual de conforto térmico na ordem de 34% das horas anuais, enquanto 66% delas estão em desconforto. Desses 66% remanescentes, 21,40% representam desconforto por calor, e 44,60% desconforto por frio. As estratégias aconselhadas com maior ênfase para o período de calor são a ventilação, correspondente a 16,90% do período de desconforto, e também a alta inércia térmica para resfriamento, com 4,50%. Para o período de frio, as estratégias indicadas são de alta inércia térmica e aquecimento solar, que contabilizam 25,50%, e o aquecimento solar passivo, com

11,66% das horas. Porém, em 7,44% das horas do ano, seriam necessárias a utilização de aquecimento artificial.

Em relação aos graus-hora (total de 8.760 horas), o arquivo climático indica que em 400 destas horas do período (4,57%) a temperatura está acima dos 29°C, temperatura considerada como limite de conforto, com 741 graus-hora de desconforto por calor. No desconforto por frio, o arquivo possui 3.349 horas (38,23%) do período com temperatura abaixo dos 18°C (temperatura limite), com 15.767 graus-hora de desconforto. Essa diferença significativa entre os graus-hora, deve-se ao fato do período de inverno ser bastante longo e com temperaturas externas muito baixas. Isso já demonstra no dia típico de inverno de Santa Maria, que foi calculado com uma T_{ext} mínima de 2,0°C.

3.4 Critérios de Análises das Configurações

Após definir a metodologia de obtenção das configurações e o conhecimento geral da zona bioclimática, deve-se estabelecer os critérios de análise para as configurações simuladas.

Como relata Sorgato, Melo e Lamberts (2013) a adoção de graus-hora seria bastante apropriado para a avaliação de desempenho de edificações submetidas à NBR 15.575. Porém, de alguma forma os critérios de desempenho por graus-hora também deveriam estar relacionados às características do clima da zona bioclimática.

O Método Adaptativo de De Dear e Brager (1998) poderia fornecer uma temperatura base variável em função das temperaturas médias anuais ou até mensais, relacionando o clima à expectativa de conforto.

Entretanto, de modo a simplificar a aplicação mais ampla do método, adotou-se um percentual de graus-hora de desconforto em relação ao experimentado pelo ambiente externo.

Assim, para estabelecer o critério de análise para as configurações nesse trabalho, primeiramente utilizam-se os dados das horas de desconforto – tanto do verão quanto para o inverno – do arquivo climático de Santa Maria-RS. Somando os graus-hora de desconforto de inverno e verão, tem-se um total de 16.508 graus-hora.

Para a configuração do desempenho mínimo, em primeira análise foi utilizado como parâmetro de referência limite aqueles dados de simulação dos graus-hora dos Caso-Base.

Como identificado na análise da NBR 15.575 (ABNT, 2013), os critérios adotados pelo Método Simplificado não se refletem no Método de Simulação. Se o Método

Simplificado estabelece critérios através de parâmetros de valores e variáveis que devam ser atendidos para aprovação, o mínimo que se espera é que a edificação que não atender a estes critérios, e que deverá avaliada pelo Método de Simulação, pelo menos obtenha o mesmo desempenho do Método Simplificado.

Sendo assim os critérios mínimos a serem atingidos pelo Método de Simulação devem ser os valores obtidos pelo caso-base, que adota em sua configuração os limites estabelecidos pelo Método Simplificado da NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Oliveira (2012) também utilizou, como modelo de referência nas análises, a configuração do Caso-Base, que possui os dados limites estabelecidos pela NBR 15.220-3 (ABNT, 2005).

Como mencionado anteriormente, no item 3.1.3, adotou-se o valor de $CT_{cob}=110\text{kJ/m}^2\text{K}$, pois a NBR 15575 (2013) não estabelece qualquer valor para esse parâmetro. Mesmo atribuindo esse valor para o CT_{cob} , verificaram-se outras configurações do Caso-Base com valores diferentes para o CT_{cob} gerados nas combinações, para identificar a relevância do Caso-Base de modo que seja possível a utilização dos seus dados como referência ao estabelecimento de novos parâmetros de análise para a avaliação do desempenho.

Primeiramente, antes da adoção da configuração do Caso-Base como parâmetro, foi necessário observar quantas configurações foram geradas nas combinações (com valores diferentes de $CT_{cob}=110\text{kJ/m}^2\text{K}$), simulá-las para os dias típicos (inverno e verão) e verificar se todas essas combinações atingiriam o desempenho térmico mínimo, estabelecido pela NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Algumas configurações do Caso-Base não atingiram o desempenho mínimo, pois apresentaram temperatura interna máxima maior que a temperatura externa máxima para o dia típico de verão ($34,8^\circ\text{C}$), conforme demonstrado na Tabela 19.

Tabela 19 - Configurações variadas do caso-base

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	DT inverno	DT verao	N° da Combinação
2,50	130	5	2,30	65	6.70°C	35.38°C	32
2,50	130	5	2,30	65	6.70°C	35.38°C	118
2,50	130	7	2,30	155	7.39°C	35.6°C	256
2,50	130	5	2,30	65	6.7°C	35.38°C	282
2,50	130	5	2,30	65	6.7°C	35.38°C	297

Para que o desempenho das edificações fosse reverificado, necessitou-se proceder alteração na taxa de ventilação para cinco renovações do volume de ar do ambiente por hora (5 ren/h), como estabelece a norma nos casos em que não se obtenha o desempenho mínimo. Simuladas novamente, todas essas configurações obtiveram ao menos desempenho mínimo, conforme Tabela 20.

Tabela 20 - Configurações variadas do caso-base

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	DT inverno	DT verao	N° da Combinação
2,50	130	5	2,30	65	6.70°C	34,2°C	32
2,50	130	5	2,30	65	6.70°C	34,2°C	118
2,50	130	7	2,30	155	7.39°C	34,2°C	256
2,50	130	5	2,30	65	6.7°C	34,2°C	282
2,50	130	5	2,30	65	6.7°C	34,2°C	297

Com isso, verificou-se a significância dos parâmetros do Caso-Base, em que todas as combinações atingiram o desempenho térmico mínimo, com temperatura interna de inverno em torno de 7°C e de verão de 34,2°C.

Para o estabelecimento de um número de graus-hora a ser utilizado como parâmetro do nível de desempenho mínimo, simulou-se a configuração com a $CT_{cob}=110\text{kJ/m}^2\text{K}$. Foram simulados os graus-hora tanto para o dormitório 1 quanto para o dormitório 2. Os resultados estão apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 - Parâmetros de graus-hora anual do caso-base

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	GH (dormit. 1)	GH (dormit. 2)	N° da Combinação
2,50	130	5	2,30	110	9205	9329	193

Como obteve-se um conjunto de valores próximos (mas diferentes) de graus-hora, adotou-se o maior valor como aquele de referência, referente ao dormitório 2. O valor estabelecido como parâmetro do nível de desempenho mínimo será o de 9.329 graus-hora. Além do mais, analisando os parâmetros limites estabelecidos na NBR 15.575 (ABNT, 2013) para os fechamentos opacos, percebe-se o elevado valor de graus-hora (9329GH), ficando em torno de 60% dos graus-hora relativo ao obtido no exterior da edificação.

3.5 Revisão dos Valores de Referência

A adoção de novos valores de referência se mostra importante pelo fato de uma edificação conseguir obter o desempenho térmico mínimo possuindo uma temperatura interna

mínima apenas 3°C acima da temperatura mínima externa no dia típico de inverno e ter a temperatura interna máxima igual a temperatura externa máxima para o dia típico de verão.

Para estabelecer novos valores de referência e, com isso, utilizar os dados como limites para determinação no desempenho térmico, foi necessário verificar um método estatístico para base e elencar elementos importantes para gerar esse referencial.

Através do *boxplot* ou gráfico de caixa, é possível captar importantes aspectos de um conjunto de dados formados pelos seguintes elementos na amostra: Valor mínimo, primeiro quartil, mediana, terceiro quartil e valor máximo. O valor mínimo, é a amostra que tem o menor valor. O primeiro quartil, é representado por Q1 e apresenta os valores compreendidos entre os 25% e 50% da amostra. A mediana é que representa a amostra de 50%, ou seja o meio. O terceiro quartil é representado por Q3 e é responsável pelos valores de 50% até 75% das amostras. E por fim, o valor máximo, que é a amostra que possui o maior valor. A Figura 24 mostra essa distribuição no gráfico *boxplot*.

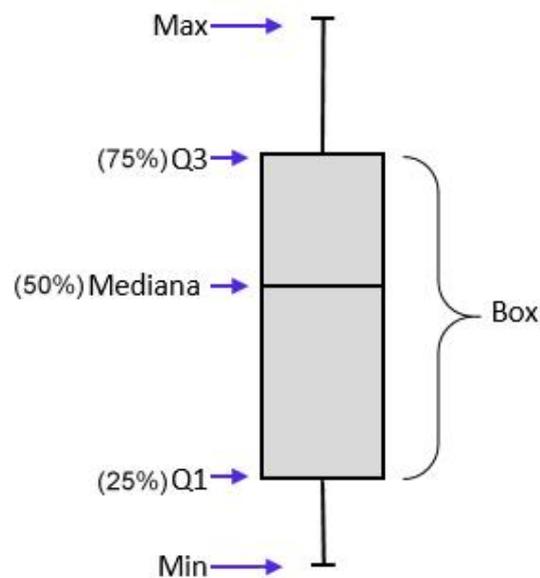


Figura 24 – Gráfico *boxplot*

Berlato e Althaus (2010) em seu trabalho, utilizaram o diagrama de caixa “*boxplot*” para analisarem a distribuição de probabilidade empírica da temperatura mínima em três períodos do ano no Rio Grande do Sul, onde foi analisado a tendência da temperatura mínima e do número de dias de geada no Estado.

Antretter *et al* (2010) também utilizaram o *boxplot* no desenvolvimento do trabalho, onde foram verificadas mensalmente as condições da temperatura externa e temperatura interna no prédio. Com isso, os autores conseguem observar que essa distribuição descreve a probabilidade de ocorrência de uma dada temperatura acontecer no interior do mesmo, verificando uma avaliação das possíveis dependências da distribuição da temperatura e umidade nos edifícios.

Para a utilização do *boxplot*, foi necessário verificar a simulação das 300 combinações e organizá-las de forma decrescente, para o dia típico de inverno, e de forma crescente para o dia típico de verão, ou seja, foram organizadas das melhores para as piores configurações. Após, o *boxplot* separou as amostras a cada 25% (75 amostras) e se separou as 25% (75 amostras) melhores configurações.

Com as 75 melhores combinações tanto para o dia típico de inverno quanto para o dia típico de verão, foi verificado quais configurações, estavam presentes em ambos os dias típicos.

Das combinações que estavam presentes em ambos os dias, foi obtido os valores dos graus-hora total (graus-hora de resfriamento e graus-hora de aquecimento). Com os valores dos graus-hora calculados, foram necessários organizá-los em ordem crescente. Para estabelecer o limite dos graus-hora para o desempenho térmico mínimo. Foi utilizado o método estatístico através da distribuição normal, utilizando uma significância de 68% da amostra, o que equivale a média + 1σ (desvio padrão). Para estabelecer o desempenho térmico intermediário, foi adotado o valor da média da amostra. E em relação ao desempenho térmico mínimo, o limite máximo foi determinado como sendo o valor da média - 1σ (desvio padrão) da amostra.

3.6 Configuração de Uso do RTQ-R nos novos Valores de Referência

3.6.1 Padrão de Ocupação

Além das simulações que foram feitas sem ganho nenhum de calor interno, como estabelece a NBR 15.575 (ABNT, 2013), foram feitas também as simulações das 300 combinações levando em consideração o padrão de ocupação estabelecido pelo RTQ-R (2010). A adoção da utilização dos ganhos internos serviu para se gerar novas possibilidades de análises, querendo ou não utilizar a configuração dos ganhos internos de calor e mantendo o mesmo padrão entre os valores e configurações limites.

O padrão de ocupação dos ambientes foi estabelecido conforme a Tabela 22. Através desses dados, foi possível também definir a taxa metabólica

As Tabelas 22 a 26, apresentam dados do RTQ-R (2010) referentes ao padrão de ocupação dos ambientes, taxa metabólica das atividades desenvolvidas em cada ambiente, padrão de uso, densidade de potência da iluminação e carga interna dos equipamentos.

Tabela 22 - Padrão de ocupação (tabela 3.39 do RTQ-R)

Padrão de ocupação para dias de semana e final de semana				
Hora	Dormitórios		Sala	
	Dias de semana (%)	Final de semana (%)	Dias de semana (%)	Final de semana (%)
1 h	100	100	0	0
2 h	100	100	0	0
3 h	100	100	0	0
4 h	100	100	0	0
5 h	100	100	0	0
6 h	100	100	0	0
7 h	100	100	0	0
8 h	0	100	0	0
9 h	0	100	0	0
10 h	0	50	0	0
11 h	0	0	0	25
12 h	0	0	0	75
13 h	0	0	0	0
14 h	0	0	25	75
15 h	0	0	25	50
16 h	0	0	25	50
17 h	0	0	25	50
18 h	0	0	25	25
19 h	0	0	100	25
20 h	0	0	50	50
21 h	50	50	50	50
22 h	100	100	0	0
23 h	100	100	0	0
24 h	100	100	0	0

Fonte: INMETRO (2010)

Tabela 23 – Taxas metabólicas para cada atividade (tabela 3.40 do RTQ-R)

Ambiente	Atividade realizada	Calor produzido (W/m ²)	Calor produzido para área de pele = 1,80m ² (W)
Sala	Sentado ou assistindo TV	60	108
Dormitórios	Dormindo ou descansando	45	81

Fonte: INMETRO (2010)

Tabela 24 – Padrão do uso da iluminação (tabela 3.41 do RTQ-R)

Padrão de iluminação para dias de semana e final de semana				
Hora	Dormitórios		Sala	
	Dias de semana (%)	Final de semana (%)	Dias de semana (%)	Final de semana (%)
1 h	0	0	0	0
2 h	0	0	0	0
3 h	0	0	0	0
4 h	0	0	0	0
5 h	0	0	0	0
6 h	0	0	0	0
7 h	100	0	0	0
8 h	0	0	0	0
9 h	0	100	0	0
10 h	0	0	0	0
11 h	0	0	0	100
12 h	0	0	0	100
13 h	0	0	0	0
14 h	0	0	0	0
15 h	0	0	0	0
16 h	0	0	0	0
17 h	0	0	100	100
18 h	0	0	100	100
19 h	0	0	100	100
20 h	0	0	100	100
21 h	100	100	100	100
22 h	100	100	0	0
23 h	0	0	0	0
24 h	0	0	0	0

Fonte: INMETRO (2010)

Tabela 25 – Densidade de potência instalada de iluminação (tabela 3.42 do RTQ-R)

Ambiente	DPI (W/m ²)
Dormitórios	5,0
Sala	6,0

Fonte: INMETRO (2010)

Tabela 26 – Carga interna de equipamentos (tabela 3.43 do RTQ-R)

Ambiente	Período	Potência (W/m ²)
Sala	24 h	1,5

Fonte: INMETRO (2010)

3.6.2 Ventilação Natural

No Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R, 2009) são estabelecidos parâmetros da ventilação natural a serem utilizados na modelagem para a simulação computacional. Sendo o coeficiente de rugosidade do entorno, o coeficiente do fluxo de ar por frestas, os coeficientes de pressão superficial, e o coeficiente de descarga para janelas e portas.

Em relação ao coeficiente de rugosidade do entorno (α), que representa as barreiras no entorno da edificação para a circulação do vento. Os valores para o coeficiente (α) são estabelecidos pela *ASHRAE Handbook of Fundamental* (2001) e estão indicados na Tabela 29.

Tabela 27- Valores de expoentes e camada limite para diferentes categorias de terreno

Categoria do terreno	Descrição	Expoente (α)	Camada limite (X)
1	Grandes centros urbanos nos quais pelo menos 50% das edificações são maiores do que 21m.	0,33	460
2	Terreno urbano, subúrbio, áreas com árvores, áreas com espaçamento entre obstruções do tamanho ou maiores do que casas unifamiliares	0,22	370
3	Terreno aberto com poucas obstruções geralmente menores do que 10m de altura	0,14	270
4	Áreas desobstruídas próximas a grandes corpos de água, não mais do que 500m terra adentro	0,1	210

Fonte: ASHRAE (2001)

O RTQ-R (INMETRO, 2010) recomenda a categoria 1, que são valores de 0,33 e 460 em relação ao coeficiente de rugosidade. Esses valores representam como se a edificação estivesse localizada em centros urbanos com pelo menos 50% das dos prédios possuem alturas maiores que 21m.

Assim como Oliveira (2012), que trabalhou com habitações de interesse social e utilizou a categoria 2, pois a grande maioria desse tipo de habitação não está inserida em centros urbanos, e sim mais afastadas. A mesma adoção será utilizada nesse trabalho, onde foi adotado o coeficiente de rugosidade e a camada limite de 0,22 e 370.

No fluxo por frestas, a infiltração pode ser determinada através da equação 3.

$$Q = C_Q (\Delta P)^n$$

Equação 3

onde: Q é o fluxo da massa de ar (kg/s);

C_Q é o coeficiente do fluxo de massa de ar (kg/s.m);

ΔP é a diferença de pressão através da fresta (Pa);

n é o expoente do fluxo de ar.

Os valores indicados pelo RTQ-R serão os mesmos adotados nesse trabalho, que são os valores de 0,001 Kg/s.m para o coeficiente do fluxo de massa de ar (C_Q) e 0,65 para o expoente de fluxo de ar (n).

O coeficiente de pressão (C_P) é a pressão do vento no local onde está inserida a edificação. Pode sofrer variações dependendo da rugosidade, a topografia do terreno e a própria geometria da edificação.

Para inserção desses dados do (C_P) no programa *DesignBuilder* foram copiados os dados estabelecidos por Liddament (1986), que a partir de inúmeros ensaios, considerou as construções de baixa elevação e geometria simples, tendo uma relação de comprimento x largura de 1:1 e a velocidade do vento tendo como referência a altura da edificação.

Na Tabela 30, estão indicados os valores dos coeficientes de pressão em relação ao ângulo de incidência do vento na superfície.

Tabela 28- Coeficientes de pressão do vento em habitações com geometria simples

Ângulo do Vento								
Local	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Fachada 1	0,2	0,05	-0,25	-0,3	-0,25	-0,3	-0,25	0,05
Fachada 2	-0,25	-0,3	-0,25	0,05	0,2	0,05	-0,25	-0,3
Fachada 3	-0,25	0,05	0,2	0,05	-0,25	-0,3	-0,25	-0,3
Fachada 4	-0,25	-0,3	-0,25	-0,3	-0,25	0,05	0,2	0,05
Telhado (<10° de inclinação)								
Frente	-0,5	-0,5	-0,4	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	-0,5
Fundo	-0,5	-0,5	-0,4	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	-0,5
Média	-0,5	-0,5	-0,4	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	-0,5
Telhado (>11°-<30 de inclinação)								
Frente	-0,3	-0,4	-0,5	-0,4	-0,3	-0,4	-0,5	-0,4
Fundo	-0,3	-0,4	-0,5	-0,4	-0,3	-0,4	-0,5	-0,4
Média	-0,3	-0,4	-0,5	-0,4	-0,3	-0,4	-0,5	-0,4
Telhado (>30° de inclinação)								
Frente	0,25	-0,3	-0,5	-0,3	-0,4	-0,3	-0,5	-0,3
Fundo	-0,4	-0,3	-0,5	-0,3	0,25	-0,3	-0,5	-0,3
Média	-0,08	-0,3	-0,5	-0,3	-0,08	-0,3	-0,5	-0,3

Fonte: Adaptado de Liddament (1986)

Referente a coeficiente de descarga, ele depende da geometria da abertura da edificação e o valor adotado deve ser entre zero e um. Como a edificação a ser simulada possui aberturas retangulares, o valor a ser adotado será de 0,6. Segundo Mattos (2007) e a própria indicação do RTQ-R, esse valor é o mais utilizado.

O RTQ-R, em relação à ventilação natural, também estabelece padrões de uso possíveis, como o controle através de padrões horários de abertura e fechamento das aberturas ou estratégias de controle automático, por temperatura ou entalpia.

Nesse trabalho, a edificação será configurada utilizando o padrão de uso da ventilação natural, através do uso do controle automático por meio da temperatura. Com isso, as aberturas (janelas) só serão abertas, juntamente, se a temperatura do ar no interior da habitação estiver acima da temperatura de *setpoint* e também for maior que a temperatura do ar no exterior. As aberturas estão configuradas para terem um controle de operação durante as 24 horas do dia. A temperatura de *setpoint* foi definida baseado no trabalho de Martins *et al* (2009) e definida em 25°C.

3.6.3 Funcionamento das venezianas

Como as aberturas estão configuradas para terem um controle de operação durante 24 horas por dia, e para se ter um controle da radiação solar e de segurança, foi necessário adotar uma veneziana horizontal de madeira na cor branca, refletância de 0,8, cuja condutividade térmica é de 0,23W/mK. Em relação a configuração desse dispositivo no programa *DesignBuidar*, foi adotado os mesmos parâmetros utilizado por Oliveira (2012), onde estabeleceu que as venezianas permanecerão fechadas durante todo o dia, entre os meses de outubro e março, e abertas das 8:00 às 17:00, durante os meses de Abril à Setembro.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados referentes as simulações. Os dados obtidos foram analisados de duas formas. A primeira através dos dias típicos de verão e inverno, conforme estabelece a NBR 15.575 (ABNT, 2013), considerando-se os dois dormitórios já mencionados. Para a análise no dia típico de inverno foi extraído, desse dia, a Temperatura Externa mínima ($Text_{min}$), e somou-se ($+3^{\circ}C$), para se chegar a temperatura interna para o desempenho mínimo.

A análise para o dia típico de verão foi feita nos mesmos moldes, necessitando alteração de alguns dados. Necessitou-se a obtenção da temperatura externa máxima ($Text_{max}$), e ela foi utilizada como referência de temperatura para o desempenho mínimo. As combinações que apresentaram Temperaturas Internas máximas ($Tint_{max}$) $>$ $Text_{max}$ foram as que não atingiram ao desempenho térmico mínimo.

A segunda forma de análise faz uso do número de graus-hora total, tanto de resfriamento quanto de aquecimento. Utilizar-se-á esta análise como um indicador energético capaz de quantificar a energia requerida para que as temperaturas da zona de conforto sejam restabelecidas no ambiente analisado.

As temperaturas-base para aquecimento e resfriamento serão de 18 e 29°C, respectivamente. Isto é, as mesmas temperaturas da zona de conforto de Givoni para países em desenvolvimento e que serviram como referência na elaboração das recomendações e estratégias da NBR 15.220-3 (ABNT, 2005).

Para as análises das simulações, necessitou-se organizá-las por ordem de Transmitância e Capacidade Térmica das paredes, visando uma melhor visualização.

4.1 Análise dos Dias Típicos de Inverno e Verão

Os resultados obtidos foram apresentados, juntamente, para o dia típico de inverno e verão. Para o dia típico de inverno, cuja condição mínima de aprovação, segundo a NBR 15.575 (ABNT, 2013), é $T_i \geq T_e + 3^\circ\text{C}$. Como a Temperatura Externa do dia típico de inverno é 2°C , são aprovados todos os casos em que a temperatura interna atinja pelo menos 5°C . Serão referentes ao dormitório 2, para as transmitâncias das paredes de 1,00; 1,75; 2,50; 3,25; 4,00 e $4,75\text{W/m}^2\text{K}$. Os valores das variáveis analisadas destacados em vermelho, representam os que estão fora dos limites indicado na própria NBR 15.575 (ABNT, 2013) para o método simplificado.

No dia típico de verão serão apresentados os resultados obtidos referente ao dormitório 1 para as transmitâncias das paredes de 1,00, 1,75, 2,50, 3,25, 4,00 e $4,75\text{W/m}^2\text{K}$. Cabe lembrar que a condição mínima de aprovação, segundo a NBR 15.575 (ABNT, 2013), é $T_{i\text{máx}} = T_{e\text{máx}}$. Como a Temperatura Externa do dia típico de verão é $34,8^\circ\text{C}$, são aprovados todos os casos em que a temperatura interna não ultrapasse este valor.

Na coluna com o nome (config) possui, em algumas configurações, a indicação de números (1, 2 ou 3). Esses números significam que, se a configuração não atingiu o desempenho térmico na configuração padrão, ela foi simulada novamente levando em consideração a alteração na taxa de renovação de ar por hora e o sombreamento nas aberturas. O número 1, significa que a combinação atingiu o desempenho térmico mínimo apenas colocando sombreamento de 50% na janela do dormitório e mantendo a taxa de renovação de ar em 1,0 ren/h. O número 2, significa que a combinação só conseguiu atingir o desempenho térmico alterando a taxa de renovação de ar para 5,0 ren/h e sem a colocação de sombreamento nas janelas. O número 3, significa que a configuração para tentar conseguir atingir o desempenho térmico mínimo, teve que ser simulada levando em consideração a alteração tanto da taxa de renovação de ar para 5,0 ren/h quanto a colocação de sombreamento em 50% da janela do dormitório. As combinações em vermelho na coluna condicionantes, significa que elas foram simuladas para as três alterações e mesmo assim não atingiu o desempenho térmico mínimo.

A Tabela 29 a seguir apresenta os dados para Transmitância Térmica das paredes de $1,00\text{W/m}^2\text{K}$.

Tabela 29 - Dados das simulações para o dia típico de inverno e verão para Upar 1,00Wm²/K

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	Temp. mín. DT inverno	Temp. máx. DT verão			Situação Final
						Padrão	Condicionantes	config.	
1	40	3	2,3	65	6,16	37,61	35,22		Reprov.
1	40	7	2,3	155	7,09	37,29	34,65	3	Aprov.
1	85	3	2,3	65	6,93	35,82	34,71	1	Aprov.
1	85	7	1,65	110	7,96	34,75			Aprov.
1	85	7	2,95	200	7,78	36,34	34,66	2	Aprov.
1	85	7	2,3	155	7,86	35,60	34,71	1	Aprov.
1	85	3	2,3	110	7,24	35,19	34,13	1	Aprov.
1	130	7	2,95	110	7,74	36,43	34,09	3	Aprov.
1	130	5	2,3	245	8,36	33,65			Aprov.
1	130	7	2,3	155	8,25	34,77			Aprov.
1	130	5	1,65	155	8,33	33,08			Aprov.
1	130	7	2,3	155	8,25	34,77			Aprov.
1	130	7	2,3	200	8,43	34,35			Aprov.
1	130	5	4,25	65	6,91	38,15	35,88		Reprov.
1	130	5	1,65	155	8,33	33,08			Aprov.
1	130	3	2,3	110	7,59	34,45			Aprov.
1	175	3	1	65	8,62	31,95			Aprov.
1	175	5	2,95	20	7,31	36,34	34,52	3	Aprov.
1	175	7	2,95	155	8,21	35,54	34,49	1	Aprov.
1	175	3	2,95	20	7,1	36,04	34,35	3	Aprov.
1	175	7	1	110	9,09	32,01			Aprov.
1	175	3	2,3	65	7,54	34,55			Aprov.
1	175	3	2,95	110	7,56	35,22	34,19	1	Aprov.
1	175	5	2,3	20	7,51	35,26	34,32	1	Aprov.
1	175	3	1	110	8,49	31,21			Aprov.
1	175	7	1	65	8,91	32,37			Aprov.
1	220	7	3,6	20	7,57	37,36	35,07		Reprov.
1	220	3	2,3	65	7,69	34,46			Aprov.
1	265	5	2,3	65	8,11	34,72			Aprov.
1	265	5	2,3	245	8,85	33,26			Aprov.

Os resultados obtidos indicam que, para o dia típico de inverno, independente das alterações da CT_{cob} , AS_{par} , U_{cob} e CT_{cob} , é possível atingir o desempenho mínimo em todas as combinações analisadas. Cabe ressaltar que algumas das configurações possuem valores de configuração da cobertura fora do estabelecido pela NBR 15.575 (ABNT, 2013) e mesmo assim é possível obter a aprovação de desempenho térmico.

Para o dia típico de verão, percebe-se que com a configuração padrão, existia um número significativo de reprovação, sendo que grande parte possui alguma variável fora do limite da NBR 15.575 (ABNT, 2013). Mas quando se aplica as condicionantes para simular novamente as combinações, é possível atingir o desempenho térmico mínimo em 80% das configurações que não tinham atingido tal desempenho.

A Tabela 30 apresenta os resultados obtidos para a Transmitância Térmica das paredes de 1,75W/m².K.

Tabela 30 - Dados das simulações para o dia típico de inverno e verão para Upar 1,75Wm²/K

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	Temp. mín. DT inverno	Temp. máx. DT verão			Situação Final
						Padrão	Condicionantes	config.	
1,75	40	5	2,95	200	6,24	37,64	35,20		Reprov.
1,75	40	3	2,95	155	5,87	37,27	35,04		Reprov.
1,75	40	3	2,3	155	6,14	35,92	34,80	2	Aprov.
1,75	40	3	1	335	7,09	32,76			Aprov.
1,75	40	5	1,65	155	6,59	35,48	34,53	1	Aprov.
1,75	40	5	2,3	110	5,98	37,66	35,31		Reprov.
1,75	40	7	2,95	110	5,82	39,89	37,00		Reprov.
1,75	40	3	1	20	6,06	34,78			Aprov.
1,75	85	5	1,65	110	7,12	34,56			Aprov.
1,75	85	3	2,95	20	5,86	36,77	34,98		Reprov.
1,75	85	3	2,95	110	6,39	36,13	34,10	3	Aprov.
1,75	85	5	2,3	110	6,82	35,86	34,52	2	Aprov.
1,75	85	3	4,25	110	6,01	37,91	35,58		Reprov.
1,75	85	5	2,95	20	6,04	37,59	35,46		Reprov.
1,75	85	3	3,6	20	5,72	37,65	35,64		Reprov.
1,75	85	3	2,3	20	6,05	35,80	34,18	3	Aprov.
1,75	85	5	2,95	110	6,57	37,00	34,66	3	Aprov.
1,75	85	3	2,3	200	7,06	33,95			Aprov.
1,75	85	3	1,65	245	7,37	32,71			Aprov.
1,75	85	7	3,6	110	6,52	38,75	36,00		Reprov.
1,75	85	3	3,6	110	6,19	37,08	34,88		Reprov.
1,75	85	3	2,3	290	7,31	33,42			Aprov.
1,75	130	3	2,3	110	7,11	33,88			Aprov.
1,75	130	7	4,25	200	7,37	37,24	34,73	3	Aprov.
1,75	130	3	2,3	110	7,11	33,88			Aprov.
1,75	130	7	4,25	65	6,81	38,15	35,64		Reprov.
1,75	130	7	1,65	110	7,91	34,36			Aprov.
1,75	130	3	3,6	155	6,94	35,40	34,54	1	Aprov.
1,75	130	5	2,95	110	7,15	35,69	34,82	1	Aprov.
1,75	130	7	1,65	110	7,91	34,36			Aprov.
1,75	130	5	2,3	155	7,59	34,21			Aprov.
1,75	130	7	2,3	110	7,63	35,44	34,74	1	Aprov.
1,75	130	7	2,95	65	7,16	36,79	34,51	3	Aprov.
1,75	130	3	4,25	110	6,58	36,55	34,53	3	Aprov.
1,75	130	5	2,95	110	7,15	35,69	34,32	2	Aprov.
1,75	130	5	2,3	110	7,38	34,69			Aprov.
1,75	130	5	3,6	65	6,75	36,82	34,66	3	Aprov.
1,75	130	3	2,95	65	6,68	35,31	34,41	1	Aprov.
1,75	175	7	3,6	110	7,62	36,29	34,73	2	Aprov.
1,75	175	7	3,6	155	7,8	35,96	34,40	2	Aprov.
1,75	175	3	2,3	245	7,85	32,40			Aprov.
1,75	175	5	1,65	155	8,12	32,62			Aprov.
1,75	175	5	1,65	110	7,96	32,92			Aprov.
1,75	175	3	2,3	65	7,2	33,72			Aprov.
1,75	175	3	1,65	65	7,4	32,73			Aprov.
1,75	175	3	1	20	7,57	31,64			Aprov.
1,75	175	5	4,25	20	6,86	36,68	34,89		Reprov.
1,75	220	3	1,65	155	7,97	31,66			Aprov.
1,75	220	5	2,3	155	8,13	33,21			Aprov.
1,75	220	3	3,6	20	6,97	35,16	34,31	1	Aprov.
1,75	220	5	1,65	245	8,53	31,99			Aprov.
1,75	220	5	1	65	8,39	31,59			Aprov.
1,75	220	5	2,3	200	8,27	32,93			Aprov.
1,75	265	5	1	200	8,81	31,05			Aprov.
1,75	265	7	3,6	110	8,11	35,37	34,55	1	Aprov.
1,75	265	7	2,3	200	8,76	33,30			Aprov.
1,75	265	5	2,3	155	8,3	33,03			Aprov.
1,75	310	3	2,3	20	7,54	33,26			Aprov.
1,75	355	7	2,3	290	9,22	32,82			Aprov.
1,75	355	5	3,6	65	7,93	34,89	34,11	1	Aprov.

Para o dia típico de inverno, nota-se que nenhuma das configurações analisadas tiveram dificuldades de atingir o desempenho térmico mínimo, inclusive em algumas configurações com transmitância térmica de cobertura com $4,25\text{W/m}^2\text{K}$.

Já no dia típico de verão é possível perceber que as condicionantes aplicadas nas combinações que não atingiram o desempenho térmico mínimo, possibilita a aprovação elevada de grande parte das configurações com valores fora dos limites da NBR 15.575 (ABNT, 2013), ou seja, das reprovadas no primeiro momento, 60% delas conseguiram atingir o desempenho térmico mínimo aplicando as condicionantes. Também é possível perceber que quase a totalidade das configurações que foram reprovadas possuem CT_{par} abaixo de $130\text{kJ/m}^2\text{K}$, isso mostra a importância de se utilizar CT_{par} mais elevada e a grande influência dessa variável na temperatura interna da edificação.

A Tabela 31 apresenta os resultados obtidos para a Transmitância Térmica das paredes de $1,75\text{W/m}^2\text{K}$. As configurações do Caso-Base estão destacadas em amarelo.

Tabela 31 - Dados das simulações para o dia típico de inverno e verão para $U_{\text{par}} 2,50\text{W/m}^2\text{K}$

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	Temp. mín. DT inverno	Temp. máx. DT verão			Situação Final
						Padrão	Condicionantes	config.	
2,5	40	5	2,95	20	4,77	39,78	37,47		Reprov.
2,5	40	7	2,3	65	5,33	39,67	37,15		Reprov.
2,5	40	5	1	110	6,27	34,97	34,16	2	Aprov.
2,5	40	3	2,95	290	5,89	35,60	34,88	1	Aprov.
2,5	40	7	2,95	155	5,62	39,47	36,86		Reprov.
2,5	85	3	1,65	65	6,07	34,35			Aprov.
2,5	85	7	2,3	65	6,25	37,94	35,50		Reprov.
2,5	85	5	3,6	155	6,12	37,55	35,24		Reprov.
2,5	85	7	1	110	7,22	35,02	33,88	2	Aprov.
2,5	85	7	4,25	65	5,71	40,06	37,35		Reprov.
2,5	85	5	2,3	110	6,31	36,17	34,18	3	Aprov.
2,5	85	3	1,65	200	6,66	33,08			Aprov.
2,5	85	3	2,3	200	6,48	34,05			Aprov.
2,5	85	5	2,3	65	6,05	36,73	34,69	3	Aprov.
2,5	85	5	1	110	6,96	33,71			Aprov.
2,5	85	3	2,3	65	5,84	35,50	34,71	1	Aprov.
2,5	85	7	2,3	20	5,97	38,15	35,81		Reprov.
2,5	85	5	1,65	110	6,55	35,06	34,26	1	Aprov.
2,5	85	7	2,3	200	6,91	36,49	34,30	3	Aprov.
2,5	85	7	1,65	245	7,23	35,33	34,48	1	Aprov.
2,5	85	3	1,65	20	5,77	34,78			Aprov.
2,5	85	7	2,3	110	6,51	37,39	35,02		Reprov.
2,5	85	5	4,25	155	5,93	38,36	35,91		Reprov.
2,5	85	7	1,65	200	7,13	35,53	34,69	1	Aprov.
2,5	85	3	1,65	155	6,52	33,37			Aprov.
2,5	85	7	2,95	110	6,28	38,33	35,76		Reprov.
2,5	85	7	1,65	155	6,98	35,85	34,48	2	Aprov.
2,5	85	7	2,95	155	6,5	37,83	35,37		Reprov.

(Cont.) Tabela 31 - Dados das simulações para o dia típico de inverno e verão para Upar 2,50Wm²/K

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	Temp. mín. DT inverno	Temp. máx. DT verão			Situação Final
						Padrão	Condicionantes	config.	
2,5	85	5	2,3	110	6,31	36,17	34,18	3	Aprov.
2,5	85	3	1,65	155	6,52	33,37			Aprov.
2,5	85	5	3,6	110	5,9	38,00	35,68		Reprov.
2,5	85	5	1,65	200	6,89	34,31			Aprov.
2,5	130	5	1,65	155	7,31	33,58			Aprov.
2,5	130	7	1,65	110	7,44	35,01	34,40	1	Aprov.
2,5	130	7	1,65	155	7,61	34,66			Aprov.
2,5	130	5	2,3	65	6,7	35,38	34,58	1	Aprov.
2,5	130	5	3,6	110	6,56	36,54	34,46	3	Aprov.
2,5	130	7	2,95	65	6,77	37,22	34,89		Reprov.
2,5	130	3	1	20	6,77	32,33			Aprov.
2,5	130	3	1,65	335	7,31	31,93			Aprov.
2,5	130	3	1	65	7	31,80			Aprov.
2,5	130	5	2,95	65	6,52	36,15	34,80	2	Aprov.
2,5	130	3	2,95	155	6,66	34,32			Aprov.
2,5	130	3	4,25	110	6,18	36,22	34,35	3	Aprov.
2,5	130	3	2,3	200	6,97	33,12			Aprov.
2,5	130	3	1,65	65	6,61	33,26			Aprov.
2,5	130	5	2,3	65	6,7	35,38	34,58	1	Aprov.
2,5	130	5	2,3	155	7,11	34,53			Aprov.
2,5	130	5	2,95	110	6,73	35,82	34,44	2	Aprov.
2,5	130	5	1,65	65	6,91	34,41			Aprov.
2,5	130	7	2,95	110	6,99	36,86	34,58	3	Aprov.
2,5	130	5	2,3	155	7,11	34,53			Aprov.
2,5	130	7	3,6	110	6,8	37,60	35,13		Reprov.
2,5	130	3	2,3	110	6,64	33,81			Aprov.
2,5	130	5	2,3	110	6,92	34,93	34,25	1	Aprov.
2,5	130	5	1,65	20	6,65	34,75			Aprov.
2,5	130	3	2,95	110	6,47	34,77			Aprov.
2,5	130	3	1	200	7,29	31,31			Aprov.
2,5	130	7	2,3	155	7,39	35,60	34,22	2	Aprov.
2,5	130	7	2,95	155	7,18	36,44	34,27	3	Aprov.
2,5	130	5	2,3	65	6,7	35,38	34,58	1	Aprov.
2,5	130	7	4,25	200	6,97	37,55	35,11		Reprov.
2,5	130	7	1	290	8,04	33,64			Aprov.
2,5	130	5	2,3	65	6,7	35,38	34,58	1	Aprov.
2,5	175	5	4,25	155	7,04	35,88	34,45	2	Aprov.
2,5	175	7	2,95	65	7,29	36,11	34,61	2	Aprov.
2,5	175	3	2,3	20	6,59	33,66			Aprov.
2,5	175	3	3,6	65	6,54	34,90	34,11	1	Aprov.
2,5	175	7	2,3	65	7,47	35,44	34,70	1	Aprov.
2,5	175	5	1,65	245	7,86	32,53			Aprov.
2,5	175	5	2,3	110	7,33	34,10			Aprov.
2,5	175	5	1	155	7,93	31,88			Aprov.
2,5	175	7	2,95	65	7,29	36,11	34,61	2	Aprov.
2,5	175	7	1,65	200	8,14	33,69			Aprov.
2,5	175	5	2,95	155	7,34	34,53			Aprov.
2,5	175	5	2,95	65	6,98	35,17	34,41	1	Aprov.
2,5	175	7	1	155	8,32	32,91			Aprov.
2,5	175	5	2,95	110	7,17	34,90	34,18	1	Aprov.
2,5	175	3	2,3	245	7,39	32,30			Aprov.
2,5	175	5	2,95	110	7,17	34,90	34,18	1	Aprov.
2,5	175	3	1,65	155	7,31	31,85			Aprov.
2,5	175	7	2,3	110	7,67	35,06	34,47	1	Aprov.
2,5	220	7	2,3	290	8,43	33,59			Aprov.
2,5	220	5	3,6	65	7,18	35,11	34,34	1	Aprov.
2,5	220	3	2,3	110	7,25	32,69			Aprov.
2,5	220	5	2,3	245	7,99	32,83			Aprov.
2,5	220	3	2,95	65	6,94	33,69			Aprov.
2,5	220	3	2,3	155	7,4	32,31			Aprov.

(Cont.) Tabela 31 - Dados das simulações para o dia típico de inverno e verão para $U_{par} 2,50W/m^2K$

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	Temp. mín. DT inverno	Temp. máx. DT verão			Situação Final
						Padrão	Condicionantes	config.	
2,5	220	7	2,3	110	8	34,40			Aprov.
2,5	220	5	2,3	20	7,25	33,96			Aprov.
2,5	220	5	3,6	155	7,49	34,62			Aprov.
2,5	220	7	1,65	110	8,21	33,58			Aprov.
2,5	220	3	2,3	65	7,07	32,96			Aprov.
2,5	220	5	2,3	110	7,63	33,48			Aprov.
2,5	220	7	1,65	110	8,21	33,58			Aprov.
2,5	220	3	1	200	7,79	30,48			Aprov.
2,5	265	7	3,6	245	7,45	34,52			Aprov.
2,5	265	5	2,95	290	8,15	32,98			Aprov.
2,5	265	3	2,95	110	7,31	33,09			Aprov.
2,5	265	5	2,3	110	7,85	33,17			Aprov.
2,5	265	5	1,65	110	8,02	32,28			Aprov.
2,5	265	5	1,65	335	8,4	31,75			Aprov.
2,5	265	5	3,6	110	7,30	34,45			Aprov.
2,5	265	3	2,3	245	7,78	31,69			Aprov.
2,5	310	5	2,95	200	8,14	33,07			Aprov.

Nas configurações com $U_{par} = 2,50W/m^2K$ foi possível perceber que apenas uma combinação não atingiu o desempenho térmico mínimo no dia típico de inverno, onde, essa combinação apresenta os dois valores de Capacidade Térmica, tanto de paredes quanto de cobertura, os mais baixos analisados. Essa configuração também demonstrou ser bastante insatisfatória para o dia típico de verão, pois mesmo aplicando as condicionantes e simulando novamente, não foi possível atingir o desempenho térmico mínimo. Mostrando que valores baixos para CT_{par} e CT_{cob} não favorecem o desempenho térmico da edificação.

Outro fator importante é a grande maioria das configurações reprovadas estarem com valores de $CT_{par} < 130 kJ/m^2K$. Na análise, foi possível atingir o desempenho térmico mínimo em todas as configurações com $CT_{par} \geq 220 kJ/m^2K$, sem a necessidade de aplicação das condicionantes. Isso mostra a importância de valores mais elevados da CT_{par} no desempenho da edificação.

Para a configuração padrão, 50 combinações não atingiram o desempenho térmico mínimo. Mas aplicando as condicionantes sobre essas combinações, o número de reprovações passa para 15, isso representa uma melhora de 70% para a obtenção do desempenho térmico mínimo. O fato de se abrir um campo para a utilização das condicionantes, só mostra que as probabilidades de reprovações das configurações tornam-se muito baixas.

A Tabela 32 a seguir apresenta os dados para Transmitância Térmica das paredes de $3,25W/m^2K$.

Tabela 32 - Dados das simulações para o dia típico de inverno para Upar 3,25Wm²/K

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcoob	Temp. mín. DT inverno	Temp. máx. DT verão			Situação Final
						Padrão	Condicionantes	config.	
3,25	40	7	1,65	110	5,46	38,19	36,10		Reprov.
3,25	40	3	2,95	155	4,96	36,73	35,13		Reprov.
3,25	40	3	2,3	110	4,92	36,25	34,80	3	Reprov.
3,25	40	7	1,65	65	5,18	38,95	36,68		Reprov.
3,25	40	5	2,3	65	4,83	38,49	36,41		Reprov.
3,25	40	5	2,95	200	5,29	37,71	35,76		Reprov.
3,25	40	3	2,95	110	4,75	37,31	35,60		Reprov.
3,25	40	3	1	65	5,41	34,27			Aprov.
3,25	40	5	2,3	200	5,48	36,74	35,02		Reprov.
3,25	40	7	2,3	65	4,96	40,03	37,50		Reprov.
3,25	40	7	1,65	20	4,92	39,57	37,23		Reprov.
3,25	85	5	2,3	245	6,35	35,36	34,67	1	Aprov.
3,25	85	3	2,95	65	5,28	36,29	34,68	3	Aprov.
3,25	85	7	1,65	155	6,5	36,51	34,50	3	Aprov.
3,25	85	3	2,95	110	5,49	35,92	34,27	3	Aprov.
3,25	85	3	2,95	20	5,07	36,49	34,92		Reprov.
3,25	85	7	1,65	20	5,8	37,88	35,69		Reprov.
3,25	85	5	3,6	155	5,71	37,67	35,50		Reprov.
3,25	130	7	2,3	200	7,1	35,84	34,50	2	Aprov.
3,25	130	7	2,3	155	6,97	36,15	34,73	2	Aprov.
3,25	130	7	2,95	110	6,6	37,34	35,05		Reprov.
3,25	130	7	1	65	7,22	34,94	33,83	2	Aprov.
3,25	130	7	1	155	7,44	34,49			Aprov.
3,25	130	3	1	110	6,69	31,79			Aprov.
3,25	130	3	1,65	110	6,39	32,94			Aprov.
3,25	130	7	2,95	110	6,6	37,34	35,05		Reprov.
3,25	130	5	2,95	110	6,34	36,04	34,67	2	Aprov.
3,25	130	7	2,3	245	7,2	35,61	34,33	2	Aprov.
3,25	130	7	2,95	200	6,93	36,61	34,52	3	Aprov.
3,25	130	3	2,95	200	6,39	33,99			Aprov.
3,25	130	3	1,65	20	5,95	33,73			Aprov.
3,25	130	3	1,65	110	6,39	32,94			Aprov.
3,25	130	5	3,6	155	6,36	36,38	34,37	3	Aprov.
3,25	130	3	2,3	65	6,02	34,29			Aprov.
3,25	175	5	2,3	20	6,58	34,83	34,08	1	Aprov.
3,25	175	7	2,3	155	7,46	35,18	34,69	1	Aprov.
3,25	175	7	1,65	110	7,5	34,69			Aprov.
3,25	175	5	1,65	155	7,27	33,21			Aprov.
3,25	175	7	2,95	155	7,29	35,87	34,45	2	Aprov.
3,25	175	5	3,6	110	6,68	35,66	34,35	2	Aprov.
3,25	175	7	2,3	245	7,67	34,76			Aprov.
3,25	175	3	2,3	110	6,61	33,06			Aprov.
3,25	175	5	1	110	7,43	32,46			Aprov.
3,25	175	5	2,3	155	7,12	33,94			Aprov.
3,25	175	7	2,3	20	6,92	36,04	34,65	2	Aprov.
3,25	175	5	1,65	110	7,14	33,43			Aprov.
3,25	175	3	2,95	65	6,32	34,14			Aprov.
3,25	220	3	3,6	110	6,68	33,87			Aprov.
3,25	220	7	3,6	65	7,24	36,20	34,66	2	Aprov.
3,25	220	5	4,25	110	6,93	35,42	34,78	1	Aprov.
3,25	265	7	1,65	155	8,25	33,36			Aprov.
3,25	265	3	2,3	20	6,8	32,55			Aprov.
3,25	265	7	1,65	110	8,14	33,55			Aprov.
3,25	265	5	2,3	110	7,44	33,15			Aprov.
3,25	265	5	1	65	7,85	31,75			Aprov.
3,25	310	5	2,3	155	7,86	32,64			Aprov.
3,25	310	7	2,3	110	8,19	33,84			Aprov.
3,25	310	3	2,3	245	7,57	31,37			Aprov.
3,25	310	5	2,3	200	7,96	32,48			Aprov.
3,25	355	3	1,65	110	7,44	31,06			Aprov.

Torna-se possível a percepção nessa análise que com o aumento dos valores de Transmitância Térmica (U_{par}), as configurações que possuem $CT_{par} = 40\text{kJ/m}^2\text{K}$ apresentam um não-atendimento do desempenho térmico para a maioria das combinações, tanto para o dia típico de inverno quanto de verão. Isso demonstra a influência na troca de calor com o meio externo quando o elemento de vedação tem pouca capacidade de armazenar o calor e a transmitância térmica das paredes é mais elevada

Para as demais configurações, com $CT_{par} \geq 130\text{kJ/m}^2\text{K}$, apenas duas configurações não atingiram o desempenho térmico mínimo, mesmo estando com valores fora do limite estabelecido na NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Os resultados das simulações para as configurações que apresentam a U_{par} de $4,00\text{W/m}^2\text{K}$ estão listados na Tabela 33.

Tabela 33 - Dados das simulações para o dia típico de inverno e verão para $U_{par} 4,00\text{W/m}^2\text{K}$

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	Temp. mín. DT inverno	Temp. máx. DT verão			Situação Final
						Padrão	Condicionantes	config.	
4	40	3	3,6	65	4,17	38,45	36,71		Reprov.
4	40	5	1	110	5,66	35,95	34,44	3	Aprov.
4	85	7	1	155	6,45	36,34	34,54	3	Aprov.
4	85	7	1,65	65	5,7	38,01	35,84		Reprov.
4	85	3	1,65	155	5,63	33,68			Aprov.
4	85	5	2,3	245	5,94	35,67	34,63	2	Aprov.
4	85	3	2,3	155	5,48	34,56			Aprov.
4	85	7	3,6	110	5,38	39,71	37,22		Reprov.
4	130	3	1	245	6,44	31,91			Aprov.
4	130	3	3,6	65	5,45	35,63	34,63	2	Aprov.
4	130	7	2,95	110	6,26	37,76	35,46		Reprov.
4	130	3	2,95	155	5,9	34,35			Aprov.
4	130	3	1,65	110	6,01	33,08			Aprov.
4	130	7	2,3	110	6,42	37,04	34,97		Reprov.
4	130	7	2,3	110	6,42	37,04	34,97		Reprov.
4	130	5	2,3	200	6,42	34,84	34,22	1	Aprov.
4	130	5	2,3	65	5,96	35,90	34,72	2	Aprov.
4	130	3	1	110	6,31	32,09			Aprov.
4	130	3	2,95	110	5,73	34,73			Aprov.
4	175	7	1,65	155	7,26	34,94	34,42	1	Aprov.
4	175	3	2,3	65	6,11	33,46			Aprov.
4	175	5	2,3	110	6,62	34,53			Aprov.
4	175	7	2,3	20	6,61	36,48	34,56	3	Aprov.
4	175	7	3,6	20	6,38	37,47	35,34		Reprov.
4	220	3	2,3	200	6,8	32,05			Aprov.
4	220	5	2,3	65	6,83	34,11			Aprov.
4	220	7	2,95	155	7,37	35,45	34,20	2	Aprov.
4	220	5	2,95	245	7,18	33,75			Aprov.
4	265	5	2,95	200	7,36	33,48			Aprov.
4	265	7	4,25	245	7,63	35,46	34,10	2	Aprov.

Para essa análise é notório o grande número de combinações que atingiram o desempenho térmico mínimo, mesmo com o elevado valor de U_{par} . Dentre as analisadas, 70%

foram aprovadas. Uma configuração importante de observar e que atingiu o desempenho térmico mínimo é a última, que possui os dois valores elevados, tanto de U_{par} quanto de U_{cob} .

Os resultados das simulações para as configurações da U_{par} de $4,75W/m^2K$ estão apresentados na Tabela 34.

Tabela 34 - Dados das simulações para o dia típico de inverno para $U_{par} 4,75W/m^2/K$

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	Temp. mín. DT inverno	Temp. máx. DT verão			Situação Final
						Padrão	Condicionantes	config.	
4,75	40	3	3,6	155	4,25	37,31	35,75		Reprov.
4,75	40	5	2,95	65	4,17	39,40	37,40		Reprov.
4,75	85	5	1,65	245	5,71	35,29	34,71	1	Aprov.
4,75	130	3	2,3	110	5,56	34,00			Aprov.
4,75	130	3	4,25	65	5,11	36,02	34,59	3	Aprov.
4,75	130	7	1,65	20	5,89	37,46	35,50		Reprov.
4,75	130	7	2,95	245	6,33	37,21	35,18		Reprov.
4,75	130	7	1,65	200	6,5	36,22	34,47	3	Aprov.
4,75	130	7	1,65	65	6,09	37,14	35,17		Reprov.
4,75	175	7	2,3	65	6,5	36,70	34,80	3	Aprov.
4,75	175	7	1	200	7,24	34,84	34,20	1	Aprov.
4,75	175	5	2,3	155	6,45	34,48			Aprov.
4,75	175	3	4,25	155	5,81	34,65			Aprov.
4,75	175	7	1,65	65	6,66	36,06	34,77	2	Aprov.
4,75	220	3	2,3	155	6,41	32,30			Aprov.

Conforme os valores de U_{par} aumentam, a $CT_{par} = 40kJ/m^2K$ mostra-se insatisfatória, não atingindo o desempenho térmico mínimo para o dia típico de inverno nem de verão. Quando se aumenta a CT_{par} , independente dos valores das demais variáveis, possibilita-se a obtenção, pelo menos, do desempenho térmico mínimo. Mostrando a importância dessa variável para o desempenho na edificação.

4.1.1 Conclusão Parcial das simulações para os dias típicos de verão e inverno

Para as análises das combinações nos dias típicos, percebe-se que apenas 33% das amostras não atingiram o desempenho térmico mínimo, sendo que grande parte das próprias variáveis das amostras possuem valores ou acima ou abaixo do preconizado pela NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Utilizando o método de análise através do dia típico para inverno, observa-se que não existe uma coerência na análise das configurações desta forma, visto que há uma gama grande de configurações obtendo o desempenho térmico necessário, mesmo que as variáveis encontrem-se em desacordo com o mencionado na própria NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Com relação a análise do dia típico de verão, nota-se que a dificuldade de atendimento do nível de desempenho mínimo das configurações, seria bem maior do que aquela na análise

para o dia típico de inverno, mas utilizando as condicionantes, existe uma abertura maior na obtenção do desempenho térmico.

Mesmo assim, das 214 combinações fora dos limites da NBR 15.575 (ABNT, 2013), pelo menos em uma variável, apenas 57 delas, o que equivale a 26% não atingiram o desempenho térmico mínimo. Em alguns casos, apesar de todas as variáveis da configuração não atenderem a norma, ainda assim atingiu-se a temperatura base para o desempenho térmico. Confirma-se a contestação feita no trabalho por Ferreira e Pereira (2012), que afirmaram que os resultados obtidos com dados de dias típicos possuem pouca precisão na análise do desempenho.

Pode-se verificar que o Método de Simulação pelo dia típico aprova, sem maiores dificuldades, configurações que seriam totalmente desaprovadas pelo Método Simplificado da NBR 15.575 (ABNT, 2013).

4.2 Análise dos Graus-hora de Desconforto

Para o método de análise de graus-hora, a seguir, os resultados das amostras serão avaliados se atingiu, ou não, o desempenho térmico mínimo. As células em **vermelho**, apresentam as combinações que não atingiram o desempenho mínimo, ou seja, aquelas que estão com o somatório dos graus-hora acima de 9329.

As análises correspondem aos dormitórios 1 e 2, com suas orientações solares conforme mencionadas e pré-estabelecidas no Método deste trabalho.

Conforme já realizado, com relação a ordem de apresentação, organizaram-se as tabelas com relação as transmitâncias das paredes de 1,00, 1,75, 2,50, 3,25, 4,00 e 4,75W/m²K.

A Tabela 35 apresenta os resultados para a U_{par} de 1,00Wm²/K.

Tabela 35 - Dados das simulações referente aos graus-hora para o dormitório 1e 2 com Upar 1,00Wm²/K

Upar	Ct _{par}	Aspar	U _{cob}	Ct _{cob}	Dormitório 1 (N-O)			Dormitório 2 (S-L)		
					Ghr	Gha	Somatório	Ghr	Gha	Somatório
1	40	3	2,3	65	4524	7808	12332	3132	8304	11436
1	40	7	2,3	155	5202	5859	11061	3510	6488	9998
1	85	3	2,3	65	3197	6886	10083	2204	7565	9770
1	85	7	1,65	110	3072	5191	8263	2068	6078	8146
1	85	7	2,95	200	5001	5055	10056	3611	5889	9500
1	85	7	2,3	155	4082	5116	9198	2866	5974	8840
1	85	3	2,3	110	2881	6560	9441	1892	7242	9134
1	130	7	2,95	110	4670	4976	9646	3576	5954	9529
1	130	5	2,3	245	2405	4927	7332	1575	5865	7440
1	130	7	2,3	155	3395	4655	8049	2446	5644	8089
1	130	5	1,65	155	1694	5152	6846	1055	6119	7174
1	130	7	2,3	155	3395	4655	8049	2446	5644	8089
1	130	7	2,3	200	3209	4494	7703	2274	5488	7763
1	130	5	4,25	65	5899	5898	11797	4701	6789	11490
1	130	5	1,65	155	1694	5152	6846	1055	6119	7174
1	130	3	2,3	110	2320	6124	8444	1518	6893	8411
1	175	3	1	65	789	5121	5910	424	6158	6582
1	175	5	2,95	20	3766	5603	9368	2929	6604	9534
1	175	7	2,95	155	3984	4437	8421	2987	5468	8455
1	175	3	2,95	20	3226	6305	9530	2392	7121	9513
1	175	7	1	110	1038	4242	5280	632	5395	6027
1	175	3	2,3	65	2203	6073	8275	1491	6871	8362
1	175	3	2,95	110	2895	5849	8743	2007	6626	8634
1	175	5	2,3	20	2841	5553	8394	2143	6565	8708
1	175	3	1	110	408	5868	6276	179	6739	6918
1	175	7	1	65	1170	4380	5550	760	5523	6283
1	220	7	3,6	20	4917	4774	9690	3963	5930	9893
1	220	3	2,3	65	2012	5833	7845	1339	6646	7985
1	265	5	2,3	65	2334	4904	7238	1645	5893	7538
1	265	5	2,3	245	1868	4300	6168	1214	5294	6508

É possível perceber nessa análise que das 20 configurações que atingiram o desempenho térmico mínimo, 16 delas possuem seus valores das variáveis dentro do limite dos dados mencionados na NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Nas paredes, é interessante observar-se que com a $CT_{par} \geq 130\text{kJ/m}^2\text{K}$ existe uma probabilidade maior de aprovação das configurações. Já com relação a U_{cob} , as configurações com melhores resultados de graus-hora apresentam-se na faixa entre 1,00 e 2,30W/m²K.

Relacionando-se a análise de graus-hora entre os dois dormitórios, é possível perceber que as configurações que não atingiram o desempenho mínimo se mostram muito semelhantes. Ao contrário dos resultados expostos para os dias típicos.

Para as análises das combinações com U_{par} de 1,75W/m²K, os resultados estão listados na Tabela 36.

Tabela 36 - Dados das simulações referente aos graus-hora para o dormitório 1 e 2 com Upar 1,75Wm²/K

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	Dormitório 1 (N-O)			Dormitório 2 (S-L)		
					Ghr	Gha	Somatório	Ghr	Gha	Somatório
1,75	40	5	2,95	200	5142	6769	11911	3456	7359	10814
1,75	40	3	2,95	155	4261	7870	12131	2831	8386	11217
1,75	40	3	2,3	155	3092	7727	10819	1889	8298	10187
1,75	40	3	1	335	805	7178	7983	352	7919	8271
1,75	40	5	1,65	155	3030	6688	9717	1773	7373	9146
1,75	40	5	2,3	110	4910	7297	12207	3298	7847	11145
1,75	40	7	2,95	110	7781	6897	14679	5677	7406	13083
1,75	40	3	1	20	2021	8555	10576	1066	9126	10192
1,75	85	5	1,65	110	2564	6290	8854	1626	7164	8790
1,75	85	3	2,95	20	3964	7997	11961	2970	8688	11658
1,75	85	3	2,95	110	3477	7392	10869	2393	8077	10470
1,75	85	5	2,3	110	3674	6430	10104	2540	7239	9778
1,75	85	3	4,25	110	5158	7532	12690	3849	8159	12009
1,75	85	5	2,95	20	5217	7158	12376	4075	7966	12040
1,75	85	3	3,6	20	4809	8021	12831	3714	8692	12406
1,75	85	3	2,3	20	3068	7966	11034	2194	8682	10876
1,75	85	5	2,95	110	4708	6551	11259	3417	7324	10741
1,75	85	3	2,3	200	2015	6861	8876	1219	7647	8866
1,75	85	3	1,65	245	1095	6712	7808	580	7599	8179
1,75	85	7	3,6	110	7054	6007	13061	5459	6797	12257
1,75	85	3	3,6	110	4349	7457	11805	3138	8109	11248
1,75	85	3	2,3	290	1696	6564	8259	991	7402	8393
1,75	130	3	2,3	110	1900	6835	8735	1254	7697	8950
1,75	130	7	4,25	200	6066	5042	11109	4762	6022	10785
1,75	130	3	2,3	110	1900	6835	8735	1254	7697	8950
1,75	130	7	4,25	65	6653	5555	12208	5461	6580	12041
1,75	130	7	1,65	110	2947	4921	7868	2139	6009	8148
1,75	130	3	3,6	155	3187	6643	9830	2255	7442	9697
1,75	130	5	2,95	110	3699	5926	9626	2760	6880	9640
1,75	130	7	1,65	110	2947	4921	7868	2139	6009	8148
1,75	130	5	2,3	155	2616	5656	8272	1829	6664	8492
1,75	130	7	2,3	110	3977	5060	9037	3026	6108	9133
1,75	130	7	2,95	65	5104	5393	10497	4093	6436	10529
1,75	130	3	4,25	110	4087	6869	10957	3049	7633	10682
1,75	130	5	2,95	110	3699	5926	9626	2760	6880	9640
1,75	130	5	2,3	110	2835	5859	8694	2040	6851	8891
1,75	130	5	3,6	65	4671	6197	10867	3671	7144	10816
1,75	130	3	2,95	65	2845	7065	9910	2062	7882	9944
1,75	175	7	3,6	110	4910	4808	9717	3988	5940	9928
1,75	175	7	3,6	155	4770	4663	9433	3810	5778	9588
1,75	175	3	2,3	245	1216	6093	7309	747	7060	7807
1,75	175	5	1,65	155	1426	5266	6692	974	6443	7417
1,75	175	5	1,65	110	1553	5421	6974	1086	6582	7667
1,75	175	3	2,3	65	1672	6685	8357	1162	7616	8777
1,75	175	3	1,65	65	1044	6736	7781	661	7708	8370
1,75	175	3	1	20	545	6947	7492	301	7943	8244
1,75	175	5	4,25	20	4634	5844	10479	3809	6935	10745
1,75	220	3	1,65	155	682	6170	6852	396	7184	7580
1,75	220	5	2,3	155	1890	5037	6928	1384	6217	7601
1,75	220	3	3,6	20	2656	6440	9096	2035	7381	9416
1,75	220	5	1,65	245	1096	4820	5916	750	6069	6819
1,75	220	5	1	65	712	5234	5946	479	6507	6986
1,75	220	5	2,3	200	1793	4922	6715	1294	6111	7405
1,75	265	5	1	200	470	4765	5235	320	6076	6396
1,75	265	7	3,6	110	3989	4225	8214	3295	5485	8780
1,75	265	7	2,3	200	2425	3895	6320	1925	5191	7116
1,75	265	5	2,3	155	1696	4820	6517	1252	6039	7290
1,75	310	3	2,3	20	1214	6107	7321	855	7125	7980
1,75	355	7	2,3	290	2030	3420	5450	1617	4755	6371
1,75	355	5	3,6	65	2743	4737	7480	2154	5930	8084

Com relação a análise para a U_{par} de $1,75W/m^2K$, percebe-se que 75% das configurações que atingiram o nível de desempenho térmico estão dentro dos limites da NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Nessa análise destaca-se também a semelhança dos resultados para os dois dormitórios em relação as configurações reprovadas. Isso mostra a coerência da utilização dos graus-hora de desconforto nas análises de conforto na edificação.

Os resultados para a U_{par} de $2,50W/m^2K$ estão apresentados na Tabela 37.

Tabela 37 - Dados das simulações referente aos graus-hora para o dormitório 1 e 2 com U_{par} $2,50W/m^2K$

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	Dormitório 1 (N-O)			Dormitório 2 (S-L)		
					Ghr	Gha	Somatório	Ghr	Gha	Somatório
2,5	40	5	2,95	20	7250	8932	16182	5443	9395	14838
2,5	40	7	2,3	65	7845	7457	15302	5630	7917	13547
2,5	40	5	1	110	2543	7206	9749	1350	7899	9249
2,5	40	3	2,95	290	2901	7747	10647	1744	8389	10133
2,5	40	7	2,95	155	7680	6782	14463	5424	7295	12719
2,5	85	3	1,65	65	1888	8220	10108	1132	8979	10111
2,5	85	7	2,3	65	6102	6305	12408	4534	7080	11614
2,5	85	5	3,6	155	5315	6801	12116	3843	7543	11386
2,5	85	7	1	110	3239	5487	8726	2106	6390	8496
2,5	85	7	4,25	65	8721	6751	15473	6890	7472	14362
2,5	85	5	2,3	110	3869	6832	10702	2620	7635	10256
2,5	85	3	1,65	200	1199	7475	8674	641	8380	9021
2,5	85	3	2,3	200	1896	7470	9366	1112	8292	9404
2,5	85	5	2,3	65	4257	7180	11437	3024	7945	10968
2,5	85	5	1	110	1788	6500	8288	997	7469	8466
2,5	85	3	2,3	65	2724	8268	10991	1812	8968	10780
2,5	85	7	2,3	20	6413	6641	13054	4978	7438	12416
2,5	85	5	1,65	110	2861	6696	9557	1784	7570	9353
2,5	85	7	2,3	200	4893	5472	10365	3416	6334	9750
2,5	85	7	1,65	245	3683	5194	8877	2534	6134	8668
2,5	85	3	1,65	20	2131	8560	10691	1392	9303	10695
2,5	85	7	2,3	110	5647	5956	11603	4054	6757	10811
2,5	85	5	4,25	155	6096	6941	13037	4557	7648	12205
2,5	85	7	1,65	200	3869	5322	9191	2638	6244	8882
2,5	85	3	1,65	155	1359	7659	9018	735	8523	9258
2,5	85	7	2,95	110	6671	6138	12809	4968	6899	11867
2,5	85	7	1,65	155	4130	5503	9633	2804	6396	9200
2,5	85	7	2,95	155	6262	5848	12111	4560	6637	11197

(Cont.) Tabela 37 – Dados das simulações referente aos graus-hora para o dormitório 1 e 2 com Upar 2,50Wm²/K

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	Dormitório 1 (N-O)			Dormitório 2 (S-L)		
					Ghr	Gha	Somatório	Ghr	Gha	Somatório
2,5	85	5	2,3	110	3869	6832	10702	2620	7635	10256
2,5	85	3	1,65	155	1359	7659	9018	735	8523	9258
2,5	85	5	3,6	110	5653	7086	12740	4202	7801	12002
2,5	85	5	1,65	200	2337	6252	8589	1419	7215	8634
2,5	130	5	1,65	155	1947	5942	7889	1258	7059	8317
2,5	130	7	1,65	110	3558	5129	8687	2560	6212	8772
2,5	130	7	1,65	155	3298	4937	8235	2359	6047	8406
2,5	130	5	2,3	65	3225	6458	9683	2366	7460	9827
2,5	130	5	3,6	110	4473	6355	10828	3406	7293	10699
2,5	130	7	2,95	65	5631	5631	11262	4479	6638	11116
2,5	130	3	1	20	798	7865	8663	442	8839	9281
2,5	130	3	1,65	335	722	6810	7532	415	7871	8286
2,5	130	3	1	65	627	7623	8250	332	8640	8972
2,5	130	5	2,95	65	3971	6519	10490	3032	7488	10520
2,5	130	3	2,95	155	2219	7198	9417	1474	8078	9552
2,5	130	3	4,25	110	3657	7428	11085	2682	8215	10897
2,5	130	3	2,3	200	1431	7049	8481	868	8012	8880
2,5	130	3	1,65	65	1310	7668	8977	807	8607	9414
2,5	130	5	2,3	65	3225	6458	9683	2366	7460	9827
2,5	130	5	2,3	155	2748	6013	8761	1871	7055	8926
2,5	130	5	2,95	110	3762	6289	10051	2772	7260	10032
2,5	130	5	1,65	65	2415	6380	8795	1655	7431	9086
2,5	130	7	2,95	110	5399	5402	10801	4167	6404	10571
2,5	130	5	2,3	155	2748	6013	8761	1871	7055	8926
2,5	130	7	3,6	110	6164	5511	11674	4876	6490	11366
2,5	130	3	2,3	110	1765	7409	9174	1135	8317	9452
2,5	130	5	2,3	110	2987	6219	9205	2094	7235	9329
2,5	130	5	1,65	20	2590	6604	9194	1915	7671	9586
2,5	130	3	2,95	110	2415	7401	9816	1661	8257	9918
2,5	130	3	1	200	430	7241	7671	231	8303	8534
2,5	130	7	2,3	155	4249	5074	9323	3116	6127	9244
2,5	130	7	2,95	155	5134	5197	10332	3873	6211	10085
2,5	130	5	2,3	65	3225	6458	9683	2366	7460	9827
2,5	130	7	4,25	200	6390	5274	11665	4990	6245	11234
2,5	130	7	1	290	2138	4600	6738	1579	5745	7324
2,5	130	5	2,3	65	3225	6458	9683	2366	7460	9827
2,5	175	5	4,25	155	4114	5768	9882	3200	6825	10025
2,5	175	7	2,95	65	4654	5071	9725	3823	6259	10082
2,5	175	3	2,3	20	1567	7386	8953	1150	8388	9538
2,5	175	3	3,6	65	2567	7145	9712	1912	8072	9984
2,5	175	7	2,3	65	3934	4988	8922	3164	6196	9360
2,5	175	5	1,65	245	1363	5348	6711	950	6638	7588
2,5	175	5	2,3	110	2389	5790	8179	1749	6953	8702
2,5	175	5	1	155	882	5548	6430	592	6875	7467
2,5	175	7	2,95	65	4654	5071	9725	3823	6259	10082
2,5	175	7	1,65	200	2592	4430	7023	1966	5698	7663
2,5	175	5	2,95	155	2899	5667	8566	2148	6795	8943
2,5	175	5	2,95	65	3194	6007	9201	2513	7130	9643
2,5	175	7	1	155	1846	4442	6288	1397	5749	7146
2,5	175	5	2,95	110	3057	5831	8888	2330	6948	9278
2,5	175	3	2,3	245	1053	6640	7694	651	7699	8350
2,5	175	5	2,95	110	3057	5831	8888	2330	6948	9278
2,5	175	3	1,65	155	746	6947	7693	442	8023	8464
2,5	175	7	2,3	110	3753	4807	8561	2935	6007	8942
2,5	220	7	2,3	290	2766	4089	6854	2196	5410	7605
2,5	220	5	3,6	65	3236	5650	8886	2636	6847	9483
2,5	220	3	2,3	110	1121	6759	7880	752	7828	8580
2,5	220	5	2,3	245	1690	5127	6817	1239	6424	7663
2,5	220	3	2,95	65	1686	6852	8539	1230	7880	9110
2,5	220	3	2,3	155	1025	6620	7645	666	7701	8367

(Cont.) Tabela 37 – Dados das simulações referente aos graus-hora para o dormitório 1 e 2 com Upar 2,50W/m²/K

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	Dormitório 1 (N-O)			Dormitório 2 (S-L)		
					Ghr	Gha	Somatório	Ghr	Gha	Somatório
2,5	220	7	2,3	110	3211	4479	7690	2618	5781	8399
2,5	220	5	2,3	20	2142	5745	7888	1772	7033	8805
2,5	220	5	3,6	155	3039	5389	8428	2370	6569	8939
2,5	220	7	1,65	110	2462	4387	6849	1969	5727	7697
2,5	220	3	2,3	65	1218	6917	8134	855	7978	8833
2,5	220	5	2,3	110	1995	5470	7465	1514	6733	8248
2,5	220	7	1,65	110	2462	4387	6849	1969	5727	7697
2,5	220	3	1	200	236	6778	7014	146	7931	8077
2,5	265	7	3,6	245	3786	4071	7857	3109	5375	8484
2,5	265	5	2,95	290	1940	4864	6804	1469	6167	7635
2,5	265	3	2,95	110	1384	6463	7847	974	7533	8507
2,5	265	5	2,3	110	1725	5221	6946	1346	6545	7891
2,5	265	5	1,65	110	1179	5199	6378	900	6579	7478
2,5	265	5	1,65	335	946	4783	5729	710	6194	6904
2,5	265	5	3,6	110	2785	5249	8033	2244	6493	8737
2,5	265	3	2,3	245	770	6233	7003	489	7349	7837
2,5	310	5	2,95	200	1891	4821	6712	1471	6148	7618

Para esta análise, os resultados se mostraram melhores a partir de $CT_{par} \geq 130\text{kJ/m}^2\text{K}$. Para as configurações com $CT_{par} \geq 220\text{kJ/m}^2\text{K}$, 96% das amostras atendem ao desempenho térmico mínimo, independente dos valores da U_{cob} e CT_{cob} . Outro ponto, é o grande número de configurações que não atingiram o desempenho térmico mínimo com $CT_{par} \leq 130\text{kJ/m}^2\text{K}$, ou seja, apontando para uma alteração dos limites estabelecidos de CT_{par} na NBR 15.575 (ABNT, 2013) para $CT_{par} \geq 175\text{kJ/m}^2\text{K}$.

Nas análises com U_{par} de $3,25\text{W/m}^2\text{K}$, os resultados estão apresentados na Tabela 38.

Tabela 38 - Dados das simulações referente aos graus-hora para o dormitório 1 e 2 com Upar 3,25Wm²/K

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	Dormitório 1 (N-O)			Dormitório 2 (S-L)		
					Ghr	Gha	Somatório	Ghr	Gha	Somatório
3,25	40	7	1,65	110	6559	6980	13538	4411	7496	11907
3,25	40	3	2,95	155	3615	8947	12562	2311	9485	11795
3,25	40	3	2,3	110	3152	9205	12358	1953	9739	11692
3,25	40	7	1,65	65	7320	7455	14775	5017	7913	12929
3,25	40	5	2,3	65	5812	8577	14389	4010	9027	13037
3,25	40	5	2,95	200	5235	7583	12817	3464	8146	11610
3,25	40	3	2,95	110	4058	9331	13389	2700	9809	12508
3,25	40	3	1	65	1646	9210	10856	775	9869	10644
3,25	40	5	2,3	200	4291	7431	11722	2703	8054	10758
3,25	40	7	2,3	65	8541	7728	16270	6049	8140	14190
3,25	40	7	1,65	20	8139	8041	16180	5794	8466	14260
3,25	85	5	2,3	245	3215	6539	9754	2040	7444	9485
3,25	85	3	2,95	65	3340	8791	12131	2321	9451	11772
3,25	85	7	1,65	155	4842	5778	10621	3336	6621	9957
3,25	85	3	2,95	110	3053	8464	11518	2023	9161	11184
3,25	85	3	2,95	20	3529	9095	12624	2566	9750	12316
3,25	85	7	1,65	20	6219	6738	12958	4575	7489	12064
3,25	85	5	3,6	155	5360	7137	12497	3793	7870	11663
3,25	130	7	2,3	200	4525	5127	9652	3302	6181	9482
3,25	130	7	2,3	155	4779	5283	10062	3480	6314	9794
3,25	130	7	2,95	110	5911	5617	11528	4458	6587	11045
3,25	130	7	1	65	3416	5335	8751	2399	6396	8795
3,25	130	7	1	155	2998	5057	8055	2153	6167	8320
3,25	130	3	1	110	587	7917	8504	312	8998	9310
3,25	130	3	1,65	110	1135	7896	9031	651	8892	9543
3,25	130	7	2,95	110	5911	5617	11528	4458	6587	11045
3,25	130	5	2,95	110	3889	6604	10493	2784	7574	10358
3,25	130	7	2,3	245	4334	5006	9339	3178	6077	9256
3,25	130	7	2,95	200	5352	5241	10593	3940	6249	10189
3,25	130	3	2,95	200	1927	7502	9429	1204	8439	9643
3,25	130	3	1,65	20	1479	8363	9842	957	9304	10261
3,25	130	3	1,65	110	1135	7896	9031	651	8892	9543
3,25	130	5	3,6	155	4312	6472	10784	3116	7424	10541
3,25	130	3	2,3	65	1912	8114	10026	1249	9011	10260
3,25	175	5	2,3	20	2803	6421	9224	2184	7615	9799
3,25	175	7	2,3	155	3994	4820	8814	3042	6025	9068
3,25	175	7	1,65	110	3412	4864	8276	2583	6100	8683
3,25	175	5	1,65	155	1721	5860	7581	1177	7142	8319
3,25	175	7	2,95	155	4732	4917	9649	3645	6085	9730
3,25	175	5	3,6	110	3719	6157	9876	2830	7261	10090
3,25	175	7	2,3	245	3669	4593	8262	2810	5827	8637
3,25	175	3	2,3	110	1303	7489	8792	835	8545	9380
3,25	175	5	1	110	3796	6470	10266	791	7278	8069
3,25	175	5	2,3	155	2350	5907	8257	1641	7116	8757
3,25	175	7	2,3	20	4549	5328	9877	3715	6551	10266
3,25	175	5	1,65	110	1876	6019	7895	1284	7268	8552
3,25	175	3	2,95	65	1907	7631	9538	1349	8621	9969
3,25	220	3	3,6	110	1859	7096	8955	1326	8145	9472
3,25	220	7	3,6	65	4914	4885	9799	4117	6173	10290
3,25	220	5	4,25	110	3619	5809	9428	2874	7003	9877
3,25	265	7	1,65	155	2387	4156	6543	1979	5609	7589
3,25	265	3	2,3	20	977	7211	8188	721	8386	9107
3,25	265	7	1,65	110	2500	4262	6762	2076	5705	7781
3,25	265	5	2,3	110	1772	5464	7236	1370	6856	8226
3,25	265	5	1	65	831	5535	6366	626	7036	7662
3,25	310	5	2,3	155	1467	5139	6606	1160	6591	7751
3,25	310	7	2,3	110	2802	4125	6926	2409	5596	8005
3,25	310	3	2,3	245	597	6503	7099	397	7716	8113
3,25	310	5	2,3	200	1399	5051	6451	1104	6512	7616
3,25	355	3	1,65	110	381	6700	7081	265	7936	8201

Os resultados para a $U_{par} = 3,25W/m^2K$ apresentam um início de combinações desfavoráveis, ou seja, apenas 40% delas atingem o desempenho térmico mínimo. Isso mostra que a $U_{par} 3,25W/m^2K$ não seria a mais indicada e confirmando o limite estabelecido na NBR 15.575 (ABNT,2013) de $U_{par} \leq 2,50W/m^2K$.

Diferente da análise anterior, as amostras com melhores resultados foram aquelas que apresentaram $CT_{par} \geq 265kJ/m^2K$, em que 100% delas atingiram o desempenho térmico.

Não se alcançou desempenho térmico mínimo em nenhuma das configurações com $CT_{par} < 130 kJ/m^2K$.

A Tabela 39 apresenta os resultados para U_{par} de $4,00W/m^2K$.

Tabela 39 - Dados das simulações referente aos graus-hora para o dormitório 1 e 2 com $U_{par} 4,00W/m^2K$

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	Dormitório 1 (N-O)			Dormitório 2 (S-L)		
					Ghr	Gha	Somatório	Ghr	Gha	Somatório
4	40	3	3,6	65	4999	10260	15259	3554	10642	14196
4	40	5	1	110	3429	7997	11426	1988	8604	10592
4	85	7	1	155	4717	5988	10705	3249	6777	10026
4	85	7	1,65	65	6454	6594	13048	4514	7303	11817
4	85	3	1,65	155	1430	8549	9979	756	9445	10201
4	85	5	2,3	245	3446	6856	10302	2190	7742	9933
4	85	3	2,3	155	2028	8559	10587	1161	9372	10534
4	85	7	3,6	110	8562	6776	15338	6252	7418	13670
4	130	3	1	245	568	8077	8645	314	9197	9511
4	130	3	3,6	65	2875	8487	11362	2038	9314	11352
4	130	7	2,95	110	6388	5824	12212	4730	6751	11481
4	130	3	2,95	155	2018	8054	10072	1252	8984	10236
4	130	3	1,65	110	1165	8278	9442	655	9294	9949
4	130	7	2,3	110	1189	5944	7133	4090	6658	10748
4	130	7	2,3	110	5614	5694	11308	4090	6658	10748
4	130	5	2,3	200	2889	6436	9325	1898	7515	9413
4	130	5	2,3	65	3635	7048	10682	2520	8021	10541
4	130	3	1	110	668	8309	8977	352	9406	9758
4	130	3	2,95	110	2210	8257	10467	1420	9152	10573
4	175	7	1,65	155	3706	4893	8599	2817	6132	8949
4	175	3	2,3	65	1412	8056	9469	912	9110	10023
4	175	5	2,3	110	2677	6319	8996	1862	7514	9376
4	175	7	2,3	20	5082	5523	10606	4037	6706	10743
4	175	7	3,6	20	6231	5658	11889	5064	6806	11870
4	220	3	2,3	200	831	7328	8159	529	8536	9065
4	220	5	2,3	65	2344	6128	8472	1746	7442	9188
4	220	7	2,95	155	4417	4711	9128	3488	6007	9494
4	220	5	2,95	245	2334	5657	7990	1688	6989	8677
4	265	5	2,95	200	2103	5494	7597	1578	6900	8478
4	265	7	4,25	245	4652	4801	9453	3783	5752	9535

Analisando-se os resultados, é possível observar que para atingir o desempenho térmico mínimo, quando o valor da U_{par} aumenta, a CT_{par} tem que acompanhar o aumento, sendo portanto diretamente proporcionais. Nesta parte da análise, com relação ao dormitório

2, apenas 17% das amostras atingiram o desempenho térmico mínimo. Já para o dormitório 1, esse percentual aumentou para 44% das que atingiram o desempenho térmico mínimo. Isso se explica devido ao fato do dormitório 1 está localizado na orientação solar favorável para a incidência solar no período de inverno, que é o período mais crítico para essa zona bioclimática 2 analisada.

Nota-se nesta análise que as configurações com $CT_{par} \geq 220\text{kJ/m}^2\text{K}$ tiveram grande relevância nos resultados, pois mesmo com valores elevados de U_{par} , 67% delas atingiram o desempenho desejado.

A última análise para os dormitórios 1 e 2 com relação aos graus-hora com U_{par} de $4,75\text{W/m}^2\text{K}$ é ilustrado na Tabela 40.

Tabela 40 - Dados das simulações referente aos graus-hora para o dormitório 1 e 2 com U_{par} $4,75\text{W/m}^2\text{K}$

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	Dormitório 1 (N-O)			Dormitório 2 (S-L)		
					Ghr	Gha	Somatório	Ghr	Gha	Somatório
4,75	40	3	3,6	155	3966	9785	13752	2570	10265	12836
4,75	40	5	2,95	65	7008	9281	16289	4848	9630	14477
4,75	85	5	1,65	245	3124	7122	10246	1974	8033	10007
4,75	130	3	2,3	110	1668	8579	10247	976	9542	10518
4,75	130	3	4,25	65	3179	8823	12002	2265	9625	11890
4,75	130	7	1,65	20	6080	6262	12342	4490	7187	11678
4,75	130	7	2,95	245	6006	5530	11536	4399	6494	10893
4,75	130	7	1,65	200	4874	5458	10331	3580	6490	10070
4,75	130	7	1,65	65	5705	5987	11692	4124	6923	11047
4,75	175	7	2,3	65	5361	5520	10882	4063	6647	10711
4,75	175	7	1	200	3479	5006	8485	2670	6235	8905
4,75	175	5	2,3	155	2623	6378	9002	1781	7607	9388
4,75	175	3	4,25	155	2262	7995	10257	1519	8986	10505
4,75	175	7	1,65	65	4683	5405	10089	3516	6565	10082
4,75	220	3	2,3	155	885	7760	8644	556	8984	9540

Nas combinações para $U_{par} = 4,75\text{W/m}^2\text{K}$ são observadas que, para o dormitório 2, apenas 7% das configurações que conseguiram atingir o desempenho térmico mínimo. Para o dormitório 1, esse percentual passa para 20% das configurações.

Percebe-se que nesta série, com $U_{par} = 4,75\text{W/m}^2\text{K}$, existe uma elevada quantidade de graus-hora nas amostras reprovadas, como é o caso da configuração n° 2 em que a quantidade de graus-hora de desconforto é superior aos graus-hora externo. Já aquelas amostras que atingiram o desempenho térmico mínimo tiveram o $CT_{par} \geq 175\text{kJ/m}^2\text{K}$. Isto reafirma a importância de alteração do valor de Capacidade Térmica das paredes (U_{par}) como novo limite da NBR 15.575 (ABNT, 2013).

4.2.1 Conclusão parcial das simulações para os Graus-hora

As análises pelos graus-hora mostraram-se ser bem diferentes em relação as análises do dia típico de verão e inverno, em alguns casos houve uma equiparação, porém foi muito pontual. O método através dos graus-hora se mostrou o mais indicado a ser utilizado para a determinação do desempenho térmico, pois teve maior correlação entre as configurações e os resultados do que o método através dos dias típicos, levando em consideração os valores limites estabelecidos pela NBR 15.575 (ABNT, 2013). Valores acima de $2,50\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ para a Transmitância Térmica de paredes (U_{par}), e menores que $175\text{kJ}/\text{m}^2\text{K}$ para Capacidade Térmica de paredes (CT_{par}) não seriam recomendados para a utilização dos novos valores de referência.

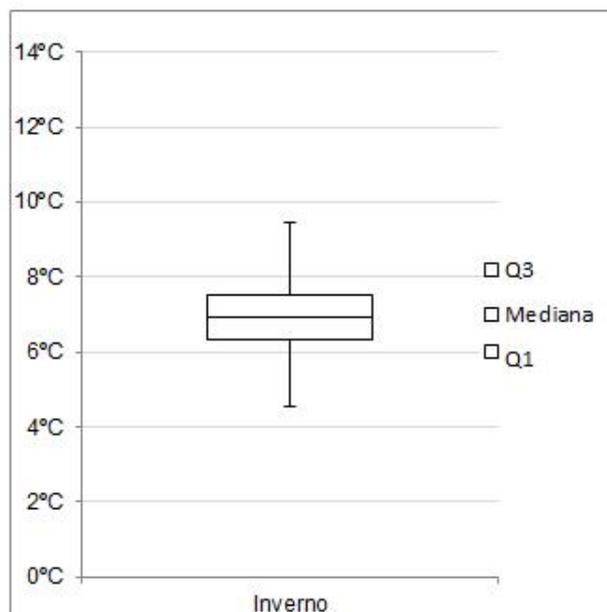
O valor de Graus Hora adotado estabelece, uma relação entre os métodos Simplificado e por Simulação, ou seja para ser aprovado por simulação, uma técnica construtiva deverá apresentar o mesmo desempenho, em Graus Hora, que as prescrições mínimas (Caso Base) do Método Simplificado.

Porém, o valor de 9329GH é bastante elevado, correspondendo a quase 60% dos graus-hora em relação ao exterior da edificação e gerando temperaturas internas próximas ao limite, compatíveis com o Caso Base, e já apresentadas nas Tabelas 19 e 20. Cabe neste momento, questionar os valores limites especificados pelo Método Simplificado, adotados como Caso Base. A revisão destes limites parte da obtenção de novos valores de referência de Graus Hora.

4.3 Obtenção dos dados dos novos Valores de Referência

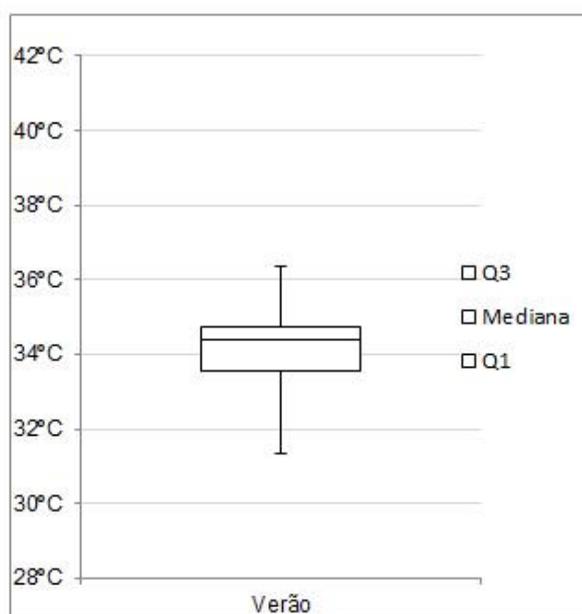
Para estabelecer novos valores de referência foi utilizado um método estatístico através do *boxplot*, que tem como base, nesse trabalho, a seleção de 25% das melhores amostras. Como no trabalho foram geradas 300 amostras aleatórias, foi selecionado os 25% melhores delas que equivalem a 75 melhores amostras. As Figuras 25 e 26 mostram as organizações das temperaturas.

Figura 25- Seleção através do método boxplot para o Dia Típico de inverno



Max NO	9,22°C
Q3	7,54°C
Mediana	6,95°C
Q1	6,34°C
Min NO	4,17°C

Figura 26 - Seleção através do método boxplot para o Dia Típico de verão



Max NO	36,41°C
Q3	34,73°C
Mediana	34,40°C
Q1	33,57°C
Min NO	31,85°C

As figuras mostram os 25% – 75 amostras – de um total de 300 amostras. As 75 melhores amostras para o dia típico de inverno foram selecionadas as configurações com $T_{int_{min}} \geq 7,54^{\circ}\text{C}$, como está marcado no Q3 em amarelo. Para as 75 melhores amostras para o dia típico de verão, foram selecionadas as configurações com $T_{int_{max}} \leq 33,57^{\circ}\text{C}$, como está grifado em amarelo no Q1.

Com isso, foram organizadas as melhores 75 amostras do dia típico de inverno, que estão listadas na Tabela 41, e do dia típico de verão, que estão listadas nas Tabelas 42.

Tabela 41 - Temperatura interna das 75 melhores configurações para o Dia Típico de inverno

Posição	Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	DT Inverno (°C)
1	1,75	355	7	2,3	290	9,22
2	1	175	7	1	110	9,09
3	1	175	7	1	65	8,91
4	1	265	5	2,3	245	8,85
5	1,75	265	5	1	200	8,81
6	1,75	265	7	2,3	200	8,76
7	1	175	3	1	65	8,62
8	1,75	220	5	1,65	245	8,53
9	1	175	3	1	110	8,49
10	1	130	7	2,3	200	8,43
11	2,5	220	7	2,3	290	8,43
12	2,5	265	5	1,65	335	8,4
13	1,75	220	5	1	65	8,39
14	1	130	5	2,3	245	8,36
15	1	130	5	1,65	155	8,33
16	1	130	5	1,65	155	8,33
17	2,5	175	7	1	155	8,32
18	1,75	265	5	2,3	155	8,3
19	1,75	220	5	2,3	200	8,27
20	1	130	7	2,3	155	8,25
21	1	130	7	2,3	155	8,25
22	3,25	265	7	1,65	155	8,25
23	1	175	7	2,95	155	8,21
24	2,5	220	7	1,65	110	8,21
25	2,5	220	7	1,65	110	8,21
26	3,25	310	7	2,3	110	8,19
27	2,5	265	5	2,95	290	8,15
28	2,5	175	7	1,65	200	8,14
29	2,5	310	5	2,95	200	8,14
30	3,25	265	7	1,65	110	8,14
31	1,75	220	5	2,3	155	8,13
32	1,75	175	5	1,65	155	8,12
33	1	265	5	2,3	65	8,11
34	1,75	265	7	3,6	110	8,11
35	2,5	130	7	1	290	8,04
36	2,5	265	5	1,65	110	8,02
37	2,5	220	7	2,3	110	8
38	2,5	220	5	2,3	245	7,99
39	1,75	220	3	1,65	155	7,97
40	1	85	7	1,65	110	7,96

(Cont.) Tabela 41 - Temperatura interna das 75 melhores configurações para o Dia Típico de inverno

Posição	Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	DT Inverno (°C)
41	1,75	175	5	1,65	110	7,96
42	3,25	310	5	2,3	200	7,96
43	1,75	355	5	3,6	65	7,93
44	2,5	175	5	1	155	7,93
45	1,75	130	7	1,65	110	7,91
46	1,75	130	7	1,65	110	7,91
47	1	85	7	2,3	155	7,86
48	2,5	175	5	1,65	245	7,86
49	3,25	310	5	2,3	155	7,86
50	1,75	175	3	2,3	245	7,85
51	2,5	265	5	2,3	110	7,85
52	3,25	265	5	1	65	7,85
53	1,75	175	7	3,6	155	7,8
54	2,5	220	3	1	200	7,79
55	1	85	7	2,95	200	7,78
56	2,5	265	3	2,3	245	7,78
57	1	130	7	2,95	110	7,74
58	1	220	3	2,3	65	7,69
59	2,5	175	7	2,3	110	7,67
60	3,25	175	7	2,3	245	7,67
61	1,75	130	7	2,3	110	7,63
62	2,5	220	5	2,3	110	7,63
63	4	265	7	4,25	245	7,63
64	1,75	175	7	3,6	110	7,62
65	2,5	130	7	1,65	155	7,61
66	1	130	3	2,3	110	7,59
67	1,75	130	5	2,3	155	7,59
68	1	220	7	3,6	20	7,57
69	1,75	175	3	1	20	7,57
70	3,25	310	3	2,3	245	7,57
71	1	175	3	2,95	110	7,56
72	1	175	3	2,3	65	7,54
73	1,75	310	3	2,3	20	7,54
74	1	175	5	2,3	20	7,51
75	3,25	175	7	1,65	110	7,5

Tabela 42 - Temperatura interna das 75 melhores configurações para o Dia Típico de verão

Posição	Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	DT verao (°C)
1	2,5	220	3	1	200	30,48
2	1,75	265	5	1	200	31,05
3	3,25	355	3	1,65	110	31,06
4	1	175	3	1	110	31,21
5	2,5	130	3	1	200	31,31
6	3,25	310	3	2,3	245	31,37
7	1,75	220	5	1	65	31,59
8	1,75	175	3	1	20	31,64
9	1,75	220	3	1,65	155	31,66
10	2,5	265	3	2,3	245	31,69
11	3,25	265	5	1	65	31,75
12	2,5	265	5	1,65	335	31,75
13	3,25	130	3	1	110	31,79
14	2,5	130	3	1	65	31,80
15	2,5	175	3	1,65	155	31,85
16	2,5	175	5	1	155	31,88
17	4	130	3	1	245	31,91
18	2,5	130	3	1,65	335	31,93
19	1	175	3	1	65	31,95
20	1,75	220	5	1,65	245	31,99
21	1	175	7	1	110	32,01
22	4	220	3	2,3	200	32,05
23	4	130	3	1	110	32,09
24	2,5	265	5	1,65	110	32,28
25	2,5	175	3	2,3	245	32,30
26	4,75	220	3	2,3	155	32,30
27	2,5	220	3	2,3	155	32,31
28	2,5	130	3	1	20	32,33
29	1	175	7	1	65	32,37
30	1,75	175	3	2,3	245	32,40
31	3,25	175	5	1	110	32,46
32	3,25	310	5	2,3	200	32,48
33	2,5	175	5	1,65	245	32,53
34	3,25	265	3	2,3	20	32,55
35	1,75	175	5	1,65	155	32,62
36	3,25	310	5	2,3	155	32,64
37	2,5	220	3	2,3	110	32,69
38	1,75	85	3	1,65	245	32,71
39	1,75	175	3	1,65	65	32,73
40	1,75	40	3	1	335	32,76
41	1,75	355	7	2,3	290	32,82
42	2,5	220	5	2,3	245	32,83
43	2,5	175	7	1	155	32,91
44	1,75	175	5	1,65	110	32,92
45	1,75	220	5	2,3	200	32,93
46	3,25	130	3	1,65	110	32,94
47	3,25	130	3	1,65	110	32,94
48	2,5	220	3	2,3	65	32,96
49	2,5	265	5	2,95	290	32,98
50	1,75	265	5	2,3	155	33,03

(Cont.) Tabela 34b - Temperatura interna das 75 melhores configurações para o Dia Típico de verão

Posição	Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	DT verao (°C)
51	3,25	175	3	2,3	110	33,06
52	2,5	310	5	2,95	200	33,07
53	4	130	3	1,65	110	33,08
54	1	130	5	1,65	155	33,08
55	1	130	5	1,65	155	33,08
56	2,5	85	3	1,65	200	33,08
57	2,5	265	3	2,95	110	33,09
58	2,5	130	3	2,3	200	33,12
59	3,25	265	5	2,3	110	33,15
60	2,5	265	5	2,3	110	33,17
61	3,25	175	5	1,65	155	33,21
62	1,75	220	5	2,3	155	33,21
63	1,75	310	3	2,3	20	33,26
64	2,5	130	3	1,65	65	33,26
65	1	265	5	2,3	245	33,26
66	1,75	265	7	2,3	200	33,30
67	3,25	265	7	1,65	155	33,36
68	2,5	85	3	1,65	155	33,37
69	2,5	85	3	1,65	155	33,37
70	1,75	85	3	2,3	290	33,42
71	3,25	175	5	1,65	110	33,43
72	4	175	3	2,3	65	33,46
73	4	265	5	2,95	200	33,48
74	2,5	220	5	2,3	110	33,48
75	3,25	265	7	1,65	110	33,55

Com a seleção das 75 melhores configurações para os dois dias típicos, foram feitas análises de quantas dessas configurações são em comum para ambos os dias típicos. Isso foi feito para descartar configurações que sejam boas para um período e ruim para outro e para que haja uma relevância nos dados da configuração para se chegar a novos valores de referência às duas análises. Como a finalidade do trabalho é a adoção do método de análise através dos graus-hora, foram calculados os graus-hora dessas 40 combinações tanto para o dormitório 1 (N-O) quanto para o dormitório 2 (S-L).

As 40 combinações em comum estão listadas na Tabela 43.

Tabela 43 – Melhores combinações comuns aos dias típicos de inverno e verão

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	DT inverno (°C)	DT verao (°C)	Dormitório 1			Dormitório 2		
							Ghr	Gha	Gh total	Ghr	Gha	Gh total
2,5	220	3	1	200	7,79	30,48	236	6778	7014	146	7931	8077
1,75	265	5	1	200	8,81	31,05	470	4765	5235	320	6076	6396
1	175	3	1	110	8,49	31,21	408	5868	6276	179	6739	6918
3,25	310	3	2,3	245	7,57	31,37	597	6503	7099	397	7716	8113
1,75	220	5	1	65	8,39	31,59	712	5234	5946	479	6507	6986
1,75	175	3	1	20	7,57	31,64	545	6947	7492	2263	7725	9988
1,75	220	3	1,65	155	7,97	31,66	682	6170	6852	396	7184	7580
2,5	265	3	2,3	245	7,78	31,69	770	6233	7003	489	7349	7837
3,25	265	5	1	65	7,85	31,75	831	5535	6366	626	7036	7662
2,5	265	5	1,65	335	8,4	31,75	946	4783	5729	710	6194	6904
2,5	175	5	1	155	7,93	31,88	882	5548	6430	592	6875	7467
1	175	3	1	65	8,62	31,95	789	5121	5910	424	6158	6582
1,75	220	5	1,65	245	8,53	31,99	1096	4820	5916	750	6069	6819
1	175	7	1	110	9,09	32,01	1038	4242	5280	632	5395	6027
2,5	265	5	1,65	110	8,02	32,28	1179	5199	6378	900	6579	7478
1	175	7	1	65	8,91	32,37	1170	4380	5550	760	5523	6283
1,75	175	3	2,3	245	7,85	32,40	1216	6093	7309	747	7060	7807
3,25	310	5	2,3	200	7,96	32,48	1399	5051	6451	1104	6512	7616
2,5	175	5	1,65	245	7,86	32,53	1363	5348	6711	950	6638	7588
1,75	175	5	1,65	155	8,12	32,62	1426	5266	6692	974	6443	7417
3,25	310	5	2,3	155	7,86	32,64	1467	5139	6606	1160	6591	7751
1,75	355	7	2,3	290	9,22	32,82	381	6700	7081	265	7936	8201
2,5	220	5	2,3	245	7,99	32,83	1690	5127	6817	1239	6424	7663
2,5	175	7	1	155	8,32	32,91	1846	4442	6288	1397	5749	7146
1,75	175	5	1,65	110	7,96	32,92	1553	5421	6974	1086	6582	7667
1,75	220	5	2,3	200	8,27	32,93	1793	4922	6715	1294	6111	7405
2,5	265	5	2,95	290	8,15	32,98	1940	4864	6804	1469	6167	7635
1,75	265	5	2,3	155	8,3	33,03	1696	4820	6517	1252	6039	7290
2,5	310	5	2,95	200	8,14	33,07	1891	4821	6712	1471	6148	7618
1	130	5	1,65	155	8,33	33,08	1694	5152	6846	1055	6119	7174
1	130	5	1,65	155	8,33	33,08	1694	5152	6846	1055	6119	7174
2,5	265	5	2,3	110	7,85	33,17	1725	5221	6946	1346	6545	7891
1,75	220	5	2,3	155	8,13	33,21	1890	5037	6928	1384	6217	7601
1,75	310	3	2,3	20	7,54	33,26	1214	6107	7321	855	7125	7980
1	265	5	2,3	245	8,85	33,26	1868	4300	6168	1214	5294	6508
1,75	265	7	2,3	200	8,76	33,30	2425	3895	6320	1925	5191	7116
3,25	265	7	1,65	155	8,25	33,36	2387	4156	6543	1979	5609	7589
1,75	85	3	2,3	290	7,31	33,42	1696	6564	8259	991	7402	8393
2,5	220	5	2,3	110	7,63	33,48	1995	5470	7465	1514	6733	8248
3,25	265	7	1,65	110	8,14	33,55	2500	4262	6762	2076	5705	7781

O cálculo para determinar o valor de graus-hora limite foi feito utilizando os dados das 40 melhores combinações comuns a ambos os dormitórios. Isso foi feito para que os resultados obtidos tivessem pertinência tanto para o dormitório 1 quanto para o dormitório 2.

Para determinar os graus-hora limite utilizou-se o método estatístico através da distribuição normal. Para isso, foi necessário, primeiramente, organizar os graus-hora das configurações em ordem crescente (menor – maior) para o dormitório 1 e 2. Com a

organização dos graus-hora, calculou-se as médias e os desvios padrões e a distribuição normal dos graus-hora da amostra.

Para estabelecer os graus-hora limite foi adotado uma significância de 68% da amostra [média + 1σ (desvio padrão)], ou seja, os graus-hora que estiverem com o percentual da significância maior que 68%, foram descartados. Esses foram os valores adotados como sendo os limites mínimos do desempenho térmico para os novos valores de referência.

Esses valores de graus-hora total, é onde se estabeleceu os novos limites máximos para se atingir o desempenho térmico mínimo. Os limites terão dois valores, um baseado para o dormitório na pior situação para o período de verão e o outro baseado na pior situação para o período de inverno, como já é estabelecido a situação dos ambientes na própria NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Como só haveria valores de referência para determinar o desempenho térmico mínimo, e existe configurações com valores de graus-hora muito inferior ao valor limite do desempenho mínimo, seria necessário obter valores de referência para determinação do desempenho térmico intermediário e superior, de modo a fazer uma classificação mais coerente em relação aos resultados dos graus-hora. Para isso, foi adotado como referência que, a média será o valor de referência mínima para o desempenho térmico intermediário e a referência mínima para o desempenho térmico superior será a média - 1σ (desvio padrão) da amostra. A Figura 27 ilustra a repartição do desvio padrão através do gráfico de uma distribuição normal.

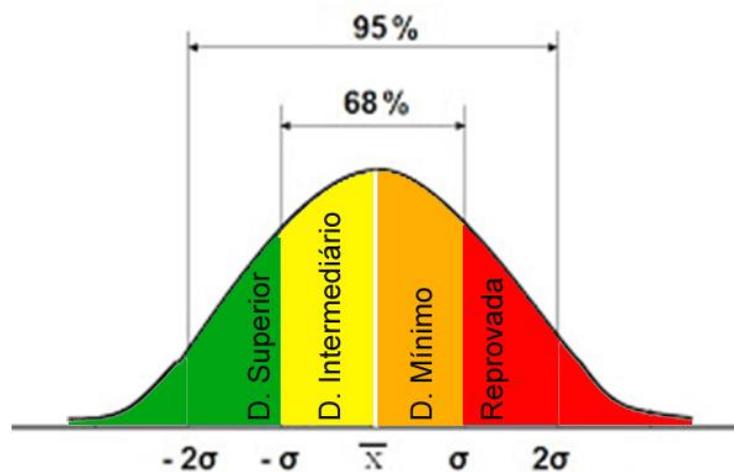


Figura 27 - Gráfico da distribuição normal dos desempenhos

A Tabela 44 ilustra os resultados dos graus-hora total, juntamente com a média e o desvio padrão e a distribuição normal para os dormitórios 1 e 2.

Tabela 44 - Cálculo da média, desvio padrão e distribuição da normal para os dormitórios 1 e 2 nas 40 combinações comum a ambos

Dormitório 1 (Gh total)	Média	Desvio Padrão	Dist. Normal (significância)	Dormitório 2 (Gh total)	Média	Desvio Padrão	Dist. Normal (significância)
5235	6614	606	1,14%	6027	7484	685	1,67%
5280			1,38%	6283			3,97%
5550			3,95%	6396			5,60%
5729			7,20%	6508			7,70%
5910			12,26%	6582	Limite D. Superior		9,38%
5916			12,48%	6819			16,56%
5946	Limite D. Superior		13,51%	6904			19,85%
6168			23,08%	6918			20,41%
6276			28,85%	6986			23,34%
6288			29,53%	7116			29,54%
6320			31,38%	7146			31,06%
6366			34,12%	7174			32,52%
6378			34,85%	7174			32,52%
6430			38,07%	7290			38,84%
6451			39,37%	7405			45,41%
6517			43,63%	7417			46,07%
6543			45,32%	7467			48,98%
6606	Limite D. Intermediario		49,49%	7478	Limite Desemp. Interm.		49,64%
6692			55,13%	7580			55,54%
6711			56,36%	7588			56,01%
6712			56,40%	7589			56,04%
6715			56,65%	7601			56,76%
6762			59,64%	7616			57,60%
6804			62,30%	7618			57,75%
6817			63,15%	7635			58,72%
6846			64,90%	7662			60,23%
6846			64,90%	7663			60,27%
6852			65,30%	7667			60,53%
6928			69,78%	7751			65,15%
6946			70,80%	7781			66,77%
6974			72,38%	7807			68,12%
7003			73,99%	7837			69,68%
7014			74,55%	7891			72,36%
7081			77,99%	7980			76,53%
7099	Limite D. Mínimo		78,85%	8077			80,65%
7309			87,44%	8113	Limite D. Mínimo		82,06%
7321			87,85%	8201			85,22%
7465			92,00%	8248			86,74%
7492			92,64%	8393			90,77%
8259			99,67%	9988			99,99%

Com o cálculo do desvio padrão para cada dormitório, foi estabelecido para o dormitório 1 o valor de 606 GH e para o dormitório 2, esse valor do desvio padrão foi de 685GH. Com esses dados, foi elaborado uma tabela com os novos critérios de avaliação do desempenho térmico das edificações através da utilização dos graus-hora de referência.

As Tabelas 45 e 46 mostram os parâmetros de referência para determinação dos níveis de desempenho térmico para o método da simulação computacional baseado nos novos valores de referência para a NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Tabela 45 - Critérios para determinação dos níveis de desempenho para dormitório 1 (N-O)

Critérios de Desempenho dorm.1 (N-O)		
Mínimo	Intermediário	Superior
$7220 \geq GH > 6614$	$6614 \geq GH > 6008$	$6008 \geq GH$

Tabela 46 - Critérios para determinação dos níveis de desempenho para dormitório 2 (S-L)

Critérios de Desempenho dorm.2 (S-L)		
Mínimo	Intermediário	Superior
$8169 \geq GH > 7484$	$7484 \geq GH > 6799$	$6799 \geq GH$

4.4 Análise das Variáveis dos novos Valores de Referência para determinação dos limites para o Método Simplificado

Para verificar a pertinência das variáveis dos novos valores de referência, foram verificadas, e colocadas em gráficos, quantas vezes cada valor dessas variáveis apareceram nas 75 melhores configurações, tanto para o dormitório 1 quanto para o dormitório 2.

As figuras com os gráficos a seguir foram divididas em decorrência de cada dormitório (1 e 2). A Figura 28 ilustra as ocorrências para a Transmitância Térmica de paredes.

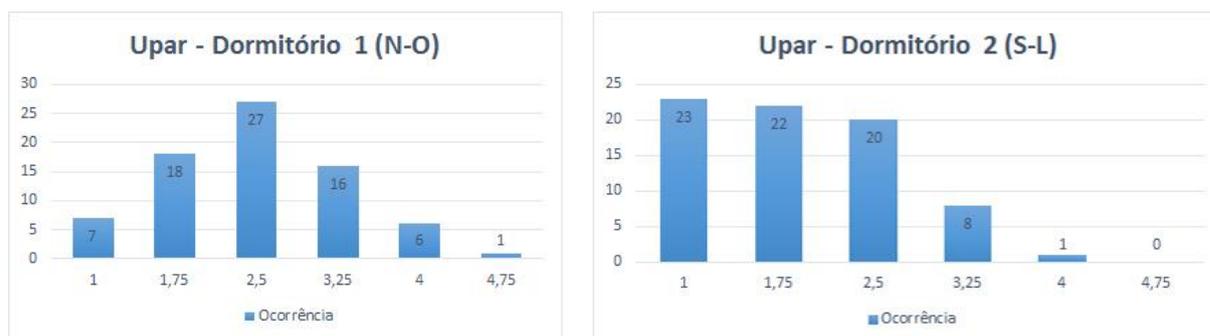


Figura 28 - Ocorrência dos valores de Transmitância Térmica das paredes nos dormitórios 1 e 2

É possível perceber, pela análise gráfica, que o valor da transmitância térmica das paredes de $2,50\text{W/m}^2\text{K}$ representa um divisor, visto que até esse valor existe o número maior de ocorrências. Pode-se constatar igualmente que as menores transmitâncias são mais importantes para o desempenho do dormitório 2 (inverno) do que para o dormitório 1 (verão). Para a condição de inverno, 87% das 75 amostras possuem transmitância da parede igual ou

inferior a $2,50\text{W/m}^2\text{K}$, enquanto que para a condição de verão, 69% das 75 amostras possuem transmitância da parede igual ou inferior a $2,50\text{W/m}^2\text{K}$. A transmitância da parede de $2,50\text{W/m}^2\text{K}$ apresenta-se muito pertinente de adoção como limite. Além do mais, esse valor já é o estabelecido como limite para a zona bioclimática 2, que é a zona de estudo.

Para a Capacidade Térmica das paredes, a Figura 29 ilustra as ocorrências para os dois dormitórios.

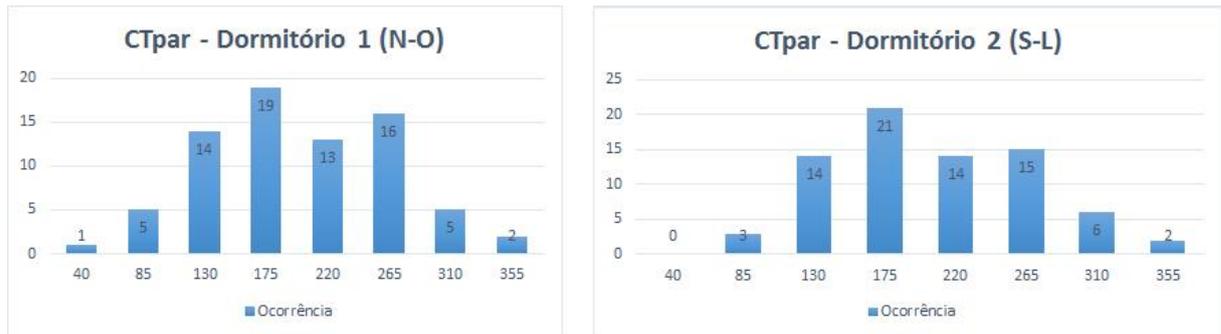


Figura 29 - Ocorrência dos valores de Capacidade Térmica das paredes nos dormitórios 1 e 2

Com relação a CT_{par} , o valor de $175\text{ kJ/m}^2\text{K}$ se destaca como possível limite inferior já que para ambos os dormitórios a maioria das 75 amostras (73% do verão e 77% do inverno) há ocorrências de valores maiores ou igual a $175\text{ kJ/m}^2\text{K}$. Esse valor já havia sido apontado nas análises anteriores. A NBR 15.575 (ABNT, 2013) adota o valor limite da $CT_{par} \geq 130\text{kJ/m}^2\text{K}$.

Referente a Absortância Solar das paredes, a Figura 30 mostra as ocorrências para os dormitórios.

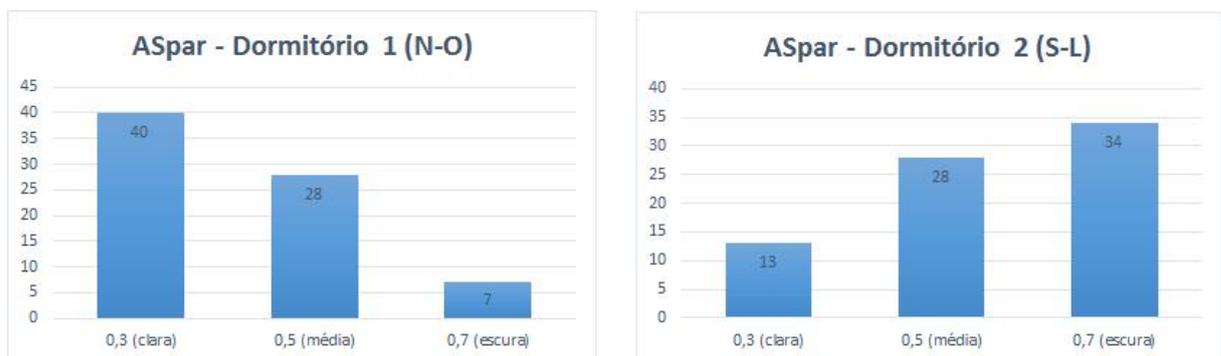


Figura 30 - Ocorrência dos valores de Absortância Solar das paredes nos dormitórios 1 e 2

Nessa análise, é possível perceber a influência da absortância solar em relação a orientação solar, visto que cor mais clara é boa para o dormitório 1 e ruim para o dormitório 2. Já a cor mais escura é exatamente ao contrário da cor clara, é boa para o dormitório 2 e

ruim para o dormitório 1. Somando-se os resultados de ambos os dormitórios, a cor média foi a que apresentou maior frequência. Nesse sentido, não parece haver necessidade de determinar uma absorvância limite, a exemplo da NBR 15.575 (ABNT, 2013) que no método simplificado não limita a absorvância para a ZB2, mas que determina a utilização das três absorvâncias para simulação, caso a edificação não tenha cor definida.

Em relação a Transmitância Térmica da cobertura, os resultados estão na Figura 31.

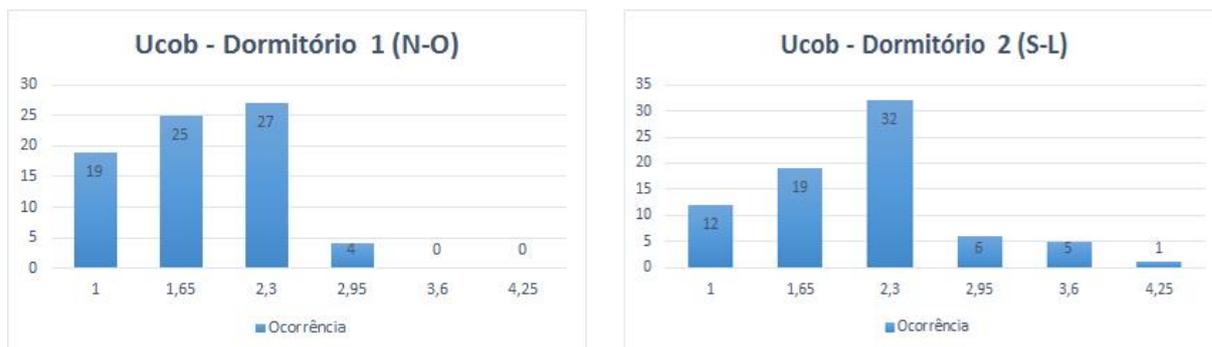


Figura 31 - Ocorrência dos valores de Transmitância Térmica da cobertura nos dormitórios 1 e 2

Com os dados das ocorrências da Transmitância Térmica da cobertura, é possível perceber a diferença nas duas análises entre a $U_{cob} = 2,30\text{W/m}^2\text{K}$ e a $U_{cob} = 2,95\text{W/m}^2\text{K}$, ficando bem marcado o limite de $U_{cob} \leq 2,30\text{W/m}^2\text{K}$, já estabelecido na NBR 15575.

Na última verificação, a Figura 32 ilustra as ocorrências referentes a Capacidade Térmica da cobertura.

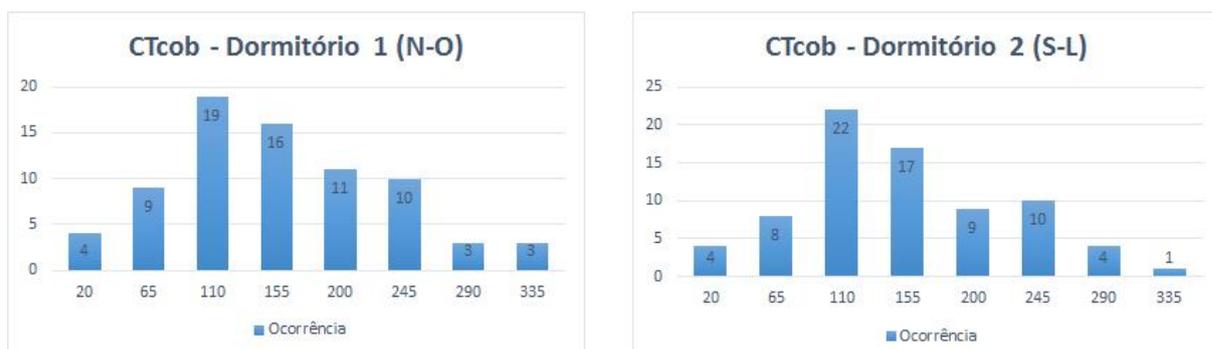


Figura 32 - Ocorrência dos valores de Capacidade Térmica da cobertura nos dormitórios 1 e 2

Em relação a CT_{cob} , fica bem destacado o valor de $110\text{ kJ/m}^2\text{K}$. No entanto, a maior parte dos dados (57% do dormitório 1 e 55% do dormitório 2) apresentam $CT_{cob} \geq 155\text{kJ/m}^2\text{K}$. Referente a Capacidade Térmica da cobertura, a NBR 15.575 (ABNT, 2013) não menciona nenhum valor limite a ser adotado, mas como visto nos resultados anteriores, valores muito baixos não apresentam bons resultados no desempenho térmico da edificação.

Esses gráficos mostraram o percentual de ocorrência das 75 melhores amostras selecionadas para os dois dormitórios. Porém, cabe destacar que os valores que tiveram maiores números de aparições, não necessariamente vão ser os melhores valores a se utilizar para buscar melhor desempenho térmico na edificação. Eles foram ilustrados para justificar a adoção dos novos valores limites a serem utilizados nas análises seguintes. Os valores limites ficaram estabelecidos conforme Tabela 47.

Tabela 47– Novos limites adotados para o Método Simplificado

U _{par}	C _{tpar}	A _{spar}	U _{cob}	C _{tcob}
2,50	175	0,5	2,30	110

Para verificar qual ou quais valores são mais relevantes para obter desempenho térmicos melhores, foi necessário verificar quantas configurações totais foram geradas para cada valor. Por exemplo: A $U_{par} = 2,50W/m^2K$, aparece em muito mais configurações que a $U_{par} = 1,00W/m^2K$, porque quando foi gerado as amostras pelo método do hipercubo latino, necessitou-se estabelecer um valor de ocorrência para cada valor (ver Tabela 18).

Então para estabelecer a ocorrência real de cada valor das variáveis é necessário verificar quantas combinações foram geradas, no universo das 300 combinações, e dividir pelo número de aparições entre as 75 melhores configurações dos dormitórios 1 e 2. Para isso, foram feitas tabelas para cada variável que estão representados a seguir.

Cabe destacar que existem casos em que a configuração está presente em ambos os dormitórios, para que essa configuração não seja computada duas vezes, foi necessário se somar as ocorrências de cada um dos dormitórios e, com esse total, se subtrair as ocorrências que acontece em ambos.

A Tabela 48 e a Figura 33 apresentam a ocorrência real da U_{par} .

Tabela 48 - Ocorrência real da Transmitância Térmica das paredes

U _{par}	Ocorrência (n° vezes)				Ocorrência em relação as 300 combinações (n° vezes)	% Ocorrência real
	Dorm.1	Dorm.2	Ambos	Total		
1	7	23	7	23	30	76,67%
1,75	18	22	15	25	60	41,67%
2,5	27	20	12	35	105	33,33%
3,25	16	9	6	19	60	31,67%
4	6	1	0	7	30	23,33%
4,75	1	0	0	1	15	6,67%

Na Tabela 33 pode-se verificar, por exemplo, que das 30 combinações, dentre as 300, que possuíam $U_{par} = 1,0W/m^2K$, 23 combinações ficaram entre as 75 melhores, representando 76,67% das combinações com $U_{par} = 1,00W/m^2K$.

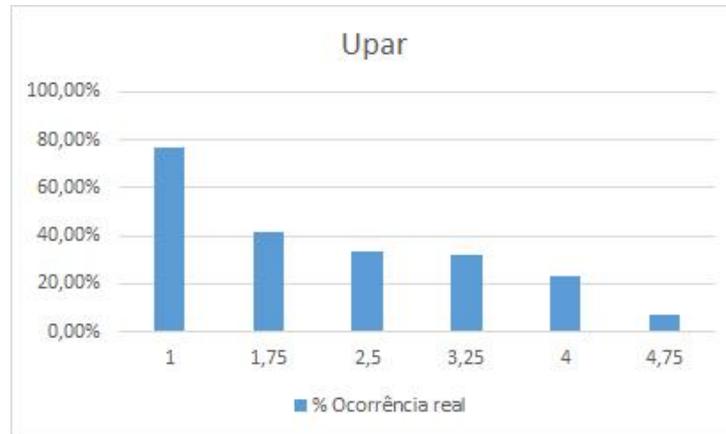


Figura 33 - Gráfico das Ocorrência real da Transmitância Térmica das paredes

Nessa análise é possível perceber um percentual bem elevado da $U_{par} = 1,00W/m^2K$ em relação as demais, mostrando que quase 80% das configurações com $U_{par} = 1,00W/m^2K$ estão entre as 75 melhores dos dormitórios. Analisando os demais valores, é possível perceber uma queda mais suave, que só é incrementada quando se tem a $U_{par} = 4,75W/m^2K$, onde possui pouco mais de 6% entre as 75 melhores.

O gráfico da Figura 33 demonstra que quanto menor a transmitância das paredes maior a chance da edificação ter um melhor desempenho.

Para os valores de Capacidade Térmica das paredes a Tabela 49 e a Figura 34 mostram a ocorrência real.

Tabela 49 - Ocorrência real da Capacidade Térmica das paredes

CT _{par}	Ocorrência (n° vezes)				Ocorrência em relação as 300 combinações (n° vezes)	% Ocorrência real
	Dorm.1	Dorm.2	Ambos	Total		
40	1	0	0	1	30	3,33%
85	5	3	1	7	60	11,67%
130	14	14	2	26	90	28,89%
175	19	21	11	29	60	48,33%
220	13	14	8	19	30	63,33%
265	16	15	12	19	21	90,48%
310	5	6	5	6	6	100,00%
355	2	2	1	3	3	100,00%

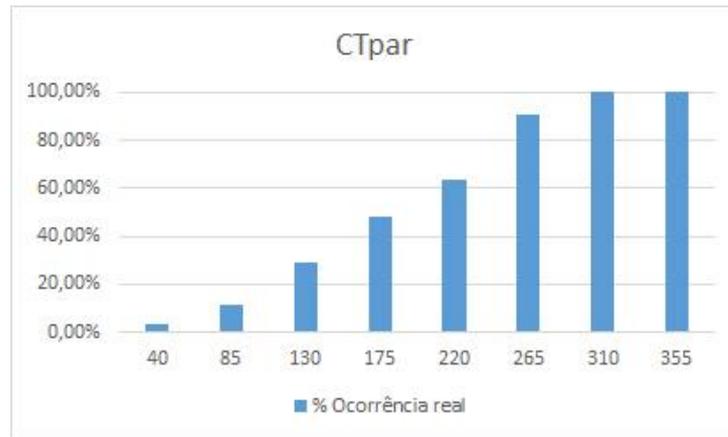


Figura 34 - Gráfico das Ocorrência real da Capacidade Térmica das paredes

Analisando os dados, é possível identificar a baixa ocorrência de configurações com $CT_{par} \leq 130 \text{ kJ/m}^2\text{K}$, ou seja, em nenhuma delas foi possível atingir 30% de ocorrência real. Isso justificaria a alteração da Capacidade Térmica mínima da parede de $130 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ para $175 \text{ kJ/m}^2\text{K}$. Outro dado interessante é a excelente desempenho das $CT_{par} \geq 310 \text{ kJ/m}^2\text{K}$, se mostraram tendo todas as configurações dentre as 75 melhores para os dormitórios 1 e 2, independente dos valores das outras variáveis.

Em relação a Absortância Solar das paredes, a Tabela 50 e a Figura 35 mostram os resultados da ocorrência real.

Tabela 50 - Ocorrência real da Absortância Solar das paredes

ASpar	Ocorrência (n° vezes)				Ocorrência em relação as 300 combinações (n° vezes)	% Ocorrência real
	Dorm.1	Dorm.2	Ambos	Total		
0,3 (clara)	40	13	10	43	99	43,43%
0,5 (média)	28	28	23	33	102	32,35%
0,7 (escura)	7	34	7	34	99	34,34%

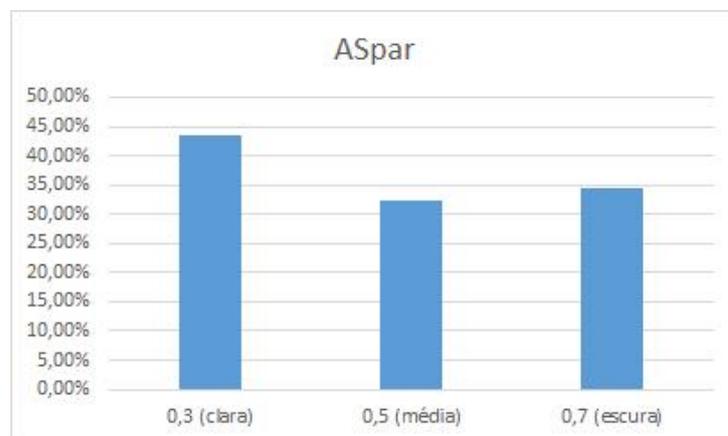


Figura 35 - Gráfico das Ocorrência real da Transmitância Térmica da cobertura

Nessa análise é possível perceber que a absorvância de maior ocorrência real foi a com cor clara (0,3). A cor média (0,5) foi a que teve ocorrência menor, mas se verificar essa absorvância levando em consideração a ocorrência em ambos os dormitórios, foi a que esteve mais presente e a que mais se justificaria utilizar em caso da não definição da cor na edificação.

A Tabela 51 e a Figura 36 apresentam os dados referente a ocorrência da Transmitância Térmica da cobertura.

Tabela 51 - Ocorrência real da Transmitância Térmica da cobertura

Ucob	Ocorrência (n° vezes)				Ocorrência em relação as 300 combinações (n° vezes)	% Ocorrência real
	Dorm.1	Dorm.2	Ambos	Total		
1	19	12	11	20	30	66,67%
1,65	25	19	11	33	60	55,00%
2,3	27	32	16	43	105	40,95%
2,95	4	6	2	8	60	13,33%
3,6	0	5	0	5	30	16,67%
4,25	0	1	0	1	15	6,67%

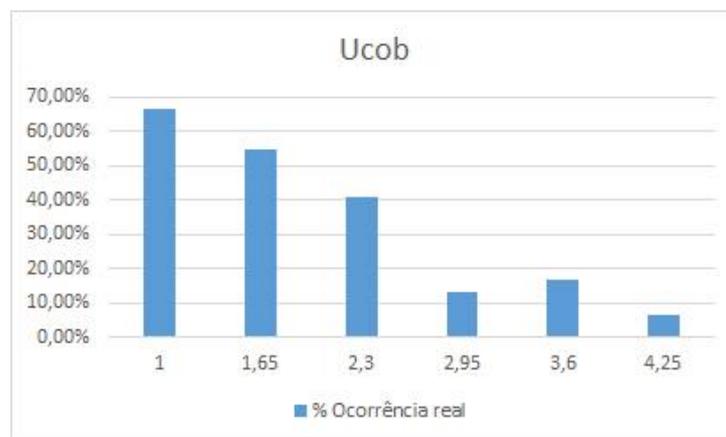


Figura 36 - Gráfico das Ocorrência real da Transmitância Térmica da cobertura

Pelo gráfico é possível perceber os três valores de maior ocorrência real em relação a Transmitância Térmica da cobertura, destacando bem o limite de $U_{cob} \leq 2,30 \text{ W/m}^2\text{K}$. Cabe comentar o grande percentual da $U_{cob} = 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$, que mais de 60% das amostras com esse valor estão entre as 75 melhores configurações entre os dois dormitórios. Assim, como pôde-se perceber com as paredes, quanto menor a transmitância da cobertura, maior a chance de um melhor desempenho da edificação.

É importante salientar que houve uma pequena elevação entre as Transmitâncias Térmicas de $2,95 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $3,6 \text{ W/m}^2\text{K}$. Para verificar se essa hipótese é coerente, foram configuradas essas combinações e simuladas manualmente e se confirmou o apontado na

figura. Com isso, o que pode ter acontecido é que das 5 amostras entre as 75 melhores, apenas no dormitório 2, 3 delas possuem CT_{par} elevado, fazendo com que a configuração tenha um desempenho favorável.

Na análise em relação a Capacidade Térmica da cobertura, os dados estão ilustrados na Tabela 52 e Figura 37.

Tabela 52 - Ocorrência real da Capacidade Térmica da cobertura

CTcob	Ocorrência (n° vezes)				Ocorrência em relação as 300 combinações (n° vezes)	% Ocorrência real
	Dorm.1	Dorm.2	Ambos	Total		
20	4	4	2	6	30	20,00%
65	9	8	4	13	60	21,67%
110	19	22	7	34	90	37,78%
155	16	17	10	23	60	38,33%
200	11	9	6	14	30	46,67%
245	10	10	7	13	21	61,90%
290	3	4	3	4	6	66,67%
335	3	1	1	3	3	100,00%

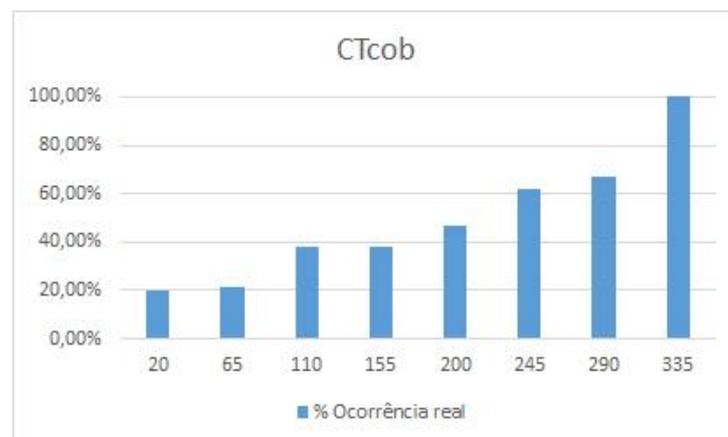


Figura 37 - Gráfico das Ocorrência real da Capacidade Térmica da cobertura

Referente aos dados de ocorrência real da CT_{cob} , é possível perceber que quanto maior a CT_{cob} , melhor é o desempenho térmico. Diferentemente da Capacidade Térmica da parede, que com o $CT_{par} \geq 310 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ já se atingia os 100% de ocorrência, na Capacidade Térmica da cobertura, esse percentual de 100% só é atingido para $CT_{par} \geq 335 \text{ kJ/m}^2\text{K}$. Isso mostra que a influência da CT_{cob} é menor do que a CT_{par} no desempenho térmico da edificação.

4.4.1 Conclusão parcial das análises das variáveis

A análise através da ocorrência real serviu para ilustrar como cada uma das variáveis influencia no desempenho térmico na edificação, e que valores individuais proporcionam

melhores resultados de desempenho térmico independente dos valores de outras variáveis que estão vinculadas a edificação.

4.5 Análise dos Graus-Hora adotando os novos Valores de Referência

Nessa parte do trabalho, serão analisados os graus-hora das 300 configurações levando em consideração os novos valores limites dos graus-hora que foi estabelecido baseado nos novos valores de referência. Os limites dos graus-hora estão divididos em dois parâmetros. Um estabelecido para o dormitório 1, orientado para Norte-Oeste e o outro para o dormitório 2, orientado para Sul-Leste.

As Figuras 45 e 46, na página 107, mostram os valores a serem utilizados para determinação do desempenho térmico. Caso a configuração apareça com a célula grifada em vermelho, significa que essa não conseguiu atingir o nível de desempenho térmico mínimo.

Para essa análise, a $CT_{par} = 130\text{kJ/m}^2\text{K}$ está marcada em vermelho devido ao fato de estar sendo considerada como abaixo do limite mínimo que foi adotado nos novos valores de referência. A mesma coisa aconteceu com os valores de $CT_{cob} < 110\text{kJ/m}^2\text{K}$, que estão marcados em vermelho, considerado abaixo do limite mínimo para essa nova referência.

Referente a ordem de apresentação, organizaram-se as tabelas com relação as transmitâncias das paredes de 1,00, 1,75, 2,50, 3,25, 4,00 e 4,75W/m²K, como nas análises anteriores.

A Tabela 53 apresenta os resultados para a U_{par} de 1,00W/m²K.

Tabela 53 - Análise dos Graus-hora para o dormitório 1e 2 com Upar 1,00W/m²K (novos valores de referência)

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	Dormitório 1 (N-O)			Dormitório 2 (S-L)		
					Ghr	Gha	Somatório	Ghr	Gha	Somatório
1	40	3	2,3	65	4524	7808	12332	3132	8304	11436
1	40	7	2,3	155	5202	5859	11061	3510	6488	9998
1	85	3	2,3	65	3197	6886	10083	2204	7565	9770
1	85	7	1,65	110	3072	5191	8263	2068	6078	8146
1	85	7	2,95	200	5001	5055	10056	3611	5889	9500
1	85	7	2,3	155	4082	5116	9198	2866	5974	8840
1	85	3	2,3	110	2881	6560	9441	1892	7242	9134
1	130	7	2,95	110	4670	4976	9646	3576	5954	9529
1	130	5	2,3	245	2405	4927	7332	1575	5865	7440
1	130	7	2,3	155	3395	4655	8049	2446	5644	8089
1	130	5	1,65	155	1694	5152	6846	1055	6119	7174
1	130	7	2,3	155	3395	4655	8049	2446	5644	8089
1	130	7	2,3	200	3209	4494	7703	2274	5488	7763
1	130	5	4,25	65	5899	5898	11797	4701	6789	11490
1	130	5	1,65	155	1694	5152	6846	1055	6119	7174
1	130	3	2,3	110	2320	6124	8444	1518	6893	8411
1	175	3	1	65	789	5121	5910	424	6158	6582
1	175	5	2,95	20	3766	5603	9368	2929	6604	9534
1	175	7	2,95	155	3984	4437	8421	2987	5468	8455
1	175	3	2,95	20	3226	6305	9530	2392	7121	9513
1	175	7	1	110	1038	4242	5280	632	5395	6027
1	175	3	2,3	65	2203	6073	8275	1491	6871	8362
1	175	3	2,95	110	2895	5849	8743	2007	6626	8634
1	175	5	2,3	20	2841	5553	8394	2143	6565	8708
1	175	3	1	110	408	5868	6276	179	6739	6918
1	175	7	1	65	1170	4380	5550	760	5523	6283
1	220	7	3,6	20	4917	4774	9690	3963	5930	9893
1	220	3	2,3	65	2012	5833	7845	1339	6646	7985
1	265	5	2,3	65	2334	4904	7238	1645	5893	7538
1	265	5	2,3	245	1868	4300	6168	1214	5294	6508

Em relação a essa análise é possível perceber que das configurações aprovadas, 50% que atingiram o nível de desempenho se equivalem entre os dados dos dormitórios 1 e 2. Além do mais, foi possível verificar que das configurações aprovadas, 29% obtiveram nível de desempenho superior. Porém, o mais importante é que pode-se observar que todos os casos, cujos parâmetros estavam de acordo com os novos limites, alcançaram aprovação, neste caso superior, confirmando a pertinência dos limites adotados para estas variáveis.

Na Tabela 54, os resultados são apresentados para a U_{par} de 1,75W/m²K.

Tabela 54 - Análise dos Graus-hora para o dormitório 1e 2 com Upar 1,75W/m²K (novos valores de referência)

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	Dormitório 1 (N-O)			Dormitório 2 (S-L)		
					Ghr	Gha	Somatório	Ghr	Gha	Somatório
1,75	40	5	2,95	200	5142	6769	11911	3456	7359	10814
1,75	40	3	2,95	155	4261	7870	12131	2831	8386	11217
1,75	40	3	2,3	155	3092	7727	10819	1889	8298	10187
1,75	40	3	1	335	805	7178	7983	352	7919	8271
1,75	40	5	1,65	155	3030	6688	9717	1773	7373	9146
1,75	40	5	2,3	110	4910	7297	12207	3298	7847	11145
1,75	40	7	2,95	110	7781	6897	14679	5677	7406	13083
1,75	40	3	1	20	2021	8555	10576	1066	9126	10192
1,75	85	5	1,65	110	2564	6290	8854	1626	7164	8790
1,75	85	3	2,95	20	3964	7997	11961	2970	8688	11658
1,75	85	3	2,95	110	3477	7392	10869	2393	8077	10470
1,75	85	5	2,3	110	3674	6430	10104	2540	7239	9778
1,75	85	3	4,25	110	5158	7532	12690	3849	8159	12009
1,75	85	5	2,95	20	5217	7158	12376	4075	7966	12040
1,75	85	3	3,6	20	4809	8021	12831	3714	8692	12406
1,75	85	3	2,3	20	3068	7966	11034	2194	8682	10876
1,75	85	5	2,95	110	4708	6551	11259	3417	7324	10741
1,75	85	3	2,3	200	2015	6861	8876	1219	7647	8866
1,75	85	3	1,65	245	1095	6712	7808	580	7599	8179
1,75	85	7	3,6	110	7054	6007	13061	5459	6797	12257
1,75	85	3	3,6	110	4349	7457	11805	3138	8109	11248
1,75	85	3	2,3	290	1696	6564	8259	991	7402	8393
1,75	130	3	2,3	110	1900	6835	8735	1254	7697	8950
1,75	130	7	4,25	200	6066	5042	11109	4762	6022	10785
1,75	130	3	2,3	110	1900	6835	8735	1254	7697	8950
1,75	130	7	4,25	65	6653	5555	12208	5461	6580	12041
1,75	130	7	1,65	110	2947	4921	7868	2139	6009	8148
1,75	130	3	3,6	155	3187	6643	9830	2255	7442	9697
1,75	130	5	2,95	110	3699	5926	9626	2760	6880	9640
1,75	130	7	1,65	110	2947	4921	7868	2139	6009	8148
1,75	130	5	2,3	155	2616	5656	8272	1829	6664	8492
1,75	130	7	2,3	110	3977	5060	9037	3026	6108	9133
1,75	130	7	2,95	65	5104	5393	10497	4093	6436	10529
1,75	130	3	4,25	110	4087	6869	10957	3049	7633	10682
1,75	130	5	2,95	110	3699	5926	9626	2760	6880	9640
1,75	130	5	2,3	110	2835	5859	8694	2040	6851	8891
1,75	130	5	3,6	65	4671	6197	10867	3671	7144	10816
1,75	130	3	2,95	65	2845	7065	9910	2062	7882	9944
1,75	175	7	3,6	110	4910	4808	9717	3988	5940	9928
1,75	175	7	3,6	155	4770	4663	9433	3810	5778	9588
1,75	175	3	2,3	245	1216	6093	7309	747	7060	7807
1,75	175	5	1,65	155	1426	5266	6692	974	6443	7417
1,75	175	5	1,65	110	1553	5421	6974	1086	6582	7667
1,75	175	3	2,3	65	1672	6685	8357	1162	7616	8777
1,75	175	3	1,65	65	1044	6736	7781	661	7708	8370
1,75	175	3	1	20	545	6947	7492	301	7943	8244
1,75	175	5	4,25	20	4634	5844	10479	3809	6935	10745
1,75	220	3	1,65	155	682	6170	6852	396	7184	7580
1,75	220	5	2,3	155	1890	5037	6928	1384	6217	7601
1,75	220	3	3,6	20	2656	6440	9096	2035	7381	9416
1,75	220	5	1,65	245	1096	4820	5916	750	6069	6819
1,75	220	5	1	65	712	5234	5946	479	6507	6986
1,75	220	5	2,3	200	1793	4922	6715	1294	6111	7405
1,75	265	5	1	200	470	4765	5235	320	6076	6396
1,75	265	7	3,6	110	3989	4225	8214	3295	5485	8780
1,75	265	7	2,3	200	2425	3895	6320	1925	5191	7116
1,75	265	5	2,3	155	1696	4820	6517	1252	6039	7290
1,75	310	3	2,3	20	1214	6107	7321	855	7125	7980
1,75	355	7	2,3	290	2030	3420	5450	1617	4755	6371
1,75	355	5	3,6	65	2743	4737	7480	2154	5930	8084

Analisando os dados dos graus-hora, é perceptível que 86% das configurações que obtiveram, pelo menos, o desempenho térmico mínimo, encontram-se entre as combinações dentro dos limites novos adotados. O que se observou na análise, é que em apenas um caso cuja as variáveis estavam dentro dos limites estabelecidos, foi reprovada. Isso aconteceu para o dormitório 1 onde o valor de $CT_{cob}=245 \text{ kJ/m}^2\text{K}$, mostrando que durante o dia a cobertura absorve muito calor e passa a irradiar o calor a noite para o interior da edificação. Outro dado, é com relação ao novo limite máximo de graus-hora, ao invés dos 9329 GH utilizado para o caso-base anterior. Se fosse utilizar os graus-hora de referência antigo, teria-se muito mais configurações aprovadas e estando elas fora dos limites estabelecidos. Desta forma, pode-se constatar a correlação entre os limites das variáveis e o limite de Graus Hora adotado.

Nessa análise nota-se também a grande significância da CT_{par} como influência no desempenho térmico, visto que $CT_{par} \geq 220 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ não foi aprovada nenhuma configuração com $CT_{par} \leq 175 \text{ kJ/m}^2\text{K}$.

As análises dos graus-hora para $U_{par} = 2,50\text{W/m}^2\text{K}$, estão expostos na Tabela 55.

Tabela 55 - Análise dos Graus-hora para o dormitório 1e 2 com $U_{par} 2,50\text{W/m}^2\text{K}$ (novos valores de referência)

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	Dormitório 1 (N-O)			Dormitório 2 (S-L)		
					Ghr	Gha	Somatório	Ghr	Gha	Somatório
2,5	40	5	2,95	20	7250	8932	16182	5443	9395	14838
2,5	40	7	2,3	65	7845	7457	15302	5630	7917	13547
2,5	40	5	1	110	2543	7206	9749	1350	7899	9249
2,5	40	3	2,95	290	2901	7747	10647	1744	8389	10133
2,5	40	7	2,95	155	7680	6782	14463	5424	7295	12719
2,5	85	3	1,65	65	1888	8220	10108	1132	8979	10111
2,5	85	7	2,3	65	6102	6305	12408	4534	7080	11614
2,5	85	5	3,6	155	5315	6801	12116	3843	7543	11386
2,5	85	7	1	110	3239	5487	8726	2106	6390	8496
2,5	85	7	4,25	65	8721	6751	15473	6890	7472	14362
2,5	85	5	2,3	110	3869	6832	10702	2620	7635	10256
2,5	85	3	1,65	200	1199	7475	8674	641	8380	9021
2,5	85	3	2,3	200	1896	7470	9366	1112	8292	9404
2,5	85	5	2,3	65	4257	7180	11437	3024	7945	10968
2,5	85	5	1	110	1788	6500	8288	997	7469	8466
2,5	85	3	2,3	65	2724	8268	10991	1812	8968	10780
2,5	85	7	2,3	20	6413	6641	13054	4978	7438	12416
2,5	85	5	1,65	110	2861	6696	9557	1784	7570	9353
2,5	85	7	2,3	200	4893	5472	10365	3416	6334	9750
2,5	85	7	1,65	245	3683	5194	8877	2534	6134	8668
2,5	85	3	1,65	20	2131	8560	10691	1392	9303	10695
2,5	85	7	2,3	110	5647	5956	11603	4054	6757	10811
2,5	85	5	4,25	155	6096	6941	13037	4557	7648	12205
2,5	85	7	1,65	200	3869	5322	9191	2638	6244	8882
2,5	85	3	1,65	155	1359	7659	9018	735	8523	9258
2,5	85	7	2,95	110	6671	6138	12809	4968	6899	11867
2,5	85	7	1,65	155	4130	5503	9633	2804	6396	9200
2,5	85	7	2,95	155	6262	5848	12111	4560	6637	11197
2,5	85	5	2,3	110	3869	6832	10702	2620	7635	10256
2,5	85	3	1,65	155	1359	7659	9018	735	8523	9258
2,5	85	5	3,6	110	5653	7086	12740	4202	7801	12002

(Cont.) Tabela 55 - Análise dos Graus-hora para o dormitório 1e 2 com Upar 2,50W/m²K (novos valores de referência)

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	Dormitório 1 (N-O)			Dormitório 2 (S-L)		
					Ghr	Gha	Somatório	Ghr	Gha	Somatório
2,5	130	5	2,3	65	3225	6458	9683	2366	7460	9827
2,5	130	5	3,6	110	4473	6355	10828	3406	7293	10699
2,5	130	7	2,95	65	5631	5631	11262	4479	6638	11116
2,5	130	3	1	20	798	7865	8663	442	8839	9281
2,5	130	3	1,65	335	722	6810	7532	415	7871	8286
2,5	130	3	1	65	627	7623	8250	332	8640	8972
2,5	130	5	2,95	65	3971	6519	10490	3032	7488	10520
2,5	130	3	2,95	155	2219	7198	9417	1474	8078	9552
2,5	130	3	4,25	110	3657	7428	11085	2682	8215	10897
2,5	130	3	2,3	200	1431	7049	8481	868	8012	8880
2,5	130	3	1,65	65	1310	7668	8977	807	8607	9414
2,5	130	5	2,3	65	3225	6458	9683	2366	7460	9827
2,5	130	5	2,3	155	2748	6013	8761	1871	7055	8926
2,5	130	5	2,95	110	3762	6289	10051	2772	7260	10032
2,5	130	5	1,65	65	2415	6380	8795	1655	7431	9086
2,5	130	7	2,95	110	5399	5402	10801	4167	6404	10571
2,5	130	5	2,3	155	2748	6013	8761	1871	7055	8926
2,5	130	7	3,6	110	6164	5511	11674	4876	6490	11366
2,5	130	3	2,3	110	1765	7409	9174	1135	8317	9452
2,5	130	5	2,3	110	2987	6219	9205	2094	7235	9329
2,5	130	5	1,65	20	2590	6604	9194	1915	7671	9586
2,5	130	3	2,95	110	2415	7401	9816	1661	8257	9918
2,5	130	3	1	200	430	7241	7671	231	8303	8534
2,5	130	7	2,3	155	4249	5074	9323	3116	6127	9244
2,5	130	7	2,95	155	5134	5197	10332	3873	6211	10085
2,5	130	5	2,3	65	3225	6458	9683	2366	7460	9827
2,5	130	7	4,25	200	6390	5274	11665	4990	6245	11234
2,5	130	7	1	290	2138	4600	6738	1579	5745	7324
2,5	130	5	2,3	65	3225	6458	9683	2366	7460	9827
2,5	175	5	4,25	155	4114	5768	9882	3200	6825	10025
2,5	175	7	2,95	65	4654	5071	9725	3823	6259	10082
2,5	175	3	2,3	20	1567	7386	8953	1150	8388	9538
2,5	175	3	3,6	65	2567	7145	9712	1912	8072	9984
2,5	175	7	2,3	65	3934	4988	8922	3164	6196	9360
2,5	175	5	1,65	245	1363	5348	6711	950	6638	7588
2,5	175	5	2,3	110	2389	5790	8179	1749	6953	8702
2,5	175	5	1	155	882	5548	6430	592	6875	7467
2,5	175	7	2,95	65	4654	5071	9725	3823	6259	10082
2,5	175	7	1,65	200	2592	4430	7023	1966	5698	7663
2,5	175	5	2,95	155	2899	5667	8566	2148	6795	8943
2,5	175	5	2,95	65	3194	6007	9201	2513	7130	9643
2,5	175	7	1	155	1846	4442	6288	1397	5749	7146
2,5	175	5	2,95	110	3057	5831	8888	2330	6948	9278
2,5	175	3	2,3	245	1053	6640	7694	651	7699	8350
2,5	175	5	2,95	110	3057	5831	8888	2330	6948	9278
2,5	175	3	1,65	155	746	6947	7693	442	8023	8464
2,5	175	7	2,3	110	3753	4807	8561	2935	6007	8942
2,5	220	7	2,3	290	2766	4089	6854	2196	5410	7605
2,5	220	5	3,6	65	3236	5650	8886	2636	6847	9483
2,5	220	3	2,3	110	1121	6759	7880	752	7828	8580

(Cont.) Tabela 54 - Análise dos Graus-hora para o dormitório 1e 2 com $U_{par} 2,50W/m^2K$ (novos valores de referência)

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	Dormitório 1 (N-O)			Dormitório 2 (S-L)		
					Ghr	Gha	Somatório	Ghr	Gha	Somatório
2,5	220	7	2,3	110	3211	4479	7690	2618	5781	8399
2,5	220	5	2,3	20	2142	5745	7888	1772	7033	8805
2,5	220	5	3,6	155	3039	5389	8428	2370	6569	8939
2,5	220	7	1,65	110	2462	4387	6849	1969	5727	7697
2,5	220	3	2,3	65	1218	6917	8134	855	7978	8833
2,5	220	5	2,3	110	1995	5470	7465	1514	6733	8248
2,5	220	7	1,65	110	2462	4387	6849	1969	5727	7697
2,5	220	3	1	200	236	6778	7014	146	7931	8077
2,5	265	7	3,6	245	3786	4071	7857	3109	5375	8484
2,5	265	5	2,95	290	1940	4864	6804	1469	6167	7635
2,5	265	3	2,95	110	1384	6463	7847	974	7533	8507
2,5	265	5	2,3	110	1725	5221	6946	1346	6545	7891
2,5	265	5	1,65	110	1179	5199	6378	900	6579	7478
2,5	265	5	1,65	335	946	4783	5729	710	6194	6904
2,5	265	5	3,6	110	2785	5249	8033	2244	6493	8737
2,5	265	3	2,3	245	770	6233	7003	489	7349	7837
2,5	310	5	2,95	200	1891	4821	6712	1471	6148	7618

Com os dados apresentados nas tabelas, cabe destacar que 88% das configurações que atingiram o nível de desempenho mínimo encontra-se com o $CT_{par} > 175kJ/m^2K$, salvo apenas uma configuração encontra-se abaixo, com o $CT_{par} = 130kJ/m^2K$, isso mostra que o novo limite de $CT_{par} = 175kJ/m^2K$ e o novo valor de referência dos graus-hora, levando em consideração os dois dormitórios, se mostram coerentes.

Nessa análise é possível perceber a importância de se utilizar as três combinações da absorvância solar para parede em cada configuração. A última configuração da Tabela 44(2) e as configurações 1 e 6 da Tabela 44(3), apresentam todos os dados de transmitâncias e capacidades térmicas de paredes e coberturas iguais, exceto as absorvâncias que cada uma possui elas diferentes. Há uma tendência de que a absorvância intermediária apresente melhores resultados ao longo do ano. Isso acontece porque as absorvâncias clara e escura se mostram favoráveis para um período do ano e desfavorável para outro, fazendo com que a configuração venha a ter um somatório maior de graus-hora no ano, como pôde-se observar comparando as três configurações, que respectivamente apresentavam $AS_{par}= 0,3$, $AS_{par}= 0,7$ e $AS_{par}=0,5$.

Outra questão é que, ao contrário das análises das transmitâncias anteriores, para a $U_{par}= 2,50W/m^2K$, nem todos os casos que apresentavam todas as variáveis dentro dos limites, alcançaram aprovação. Dos 19 casos nesta condição 7 foram reprovados. Isso acontece por que os casos avaliados se aproximam do limite de U_{par} , que já foi identificado como sendo

2,50W/m²K. Pelos valores de U_{par} testados, realmente 2,50W/m²K se apresentou como o valor que não deveria ser ultrapassado. No entanto, talvez o limite devesse ser menor do que 2,50W/m²K. Para confirmar esta suposição e aumentar a precisão do modelo seria necessário realizar testes com valores intermediários entre 1,75 e 2,50W/m²K.

Para a $U_{par} = 3,25W/m^2K$, os dados são apresentados na Tabela 56.

Tabela 56 - Análise dos Graus-hora para o dormitório 1e 2 com $U_{par} 3,25W/m^2K$ (novos valores de referência)

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	Dormitório 1 (N-O)			Dormitório 2 (S-L)		
					Ghr	Gha	Somatório	Ghr	Gha	Somatório
3,25	40	7	1,65	110	6559	6980	13538	4411	7496	11907
3,25	40	3	2,95	155	3615	8947	12562	2311	9485	11795
3,25	40	3	2,3	110	3152	9205	12358	1953	9739	11692
3,25	40	7	1,65	65	7320	7455	14775	5017	7913	12929
3,25	40	5	2,3	65	5812	8577	14389	4010	9027	13037
3,25	40	5	2,95	200	5235	7583	12817	3464	8146	11610
3,25	40	3	2,95	110	4058	9331	13389	2700	9809	12508
3,25	40	3	1	65	1646	9210	10856	775	9869	10644
3,25	40	5	2,3	200	4291	7431	11722	2703	8054	10758
3,25	40	7	2,3	65	8541	7728	16270	6049	8140	14190
3,25	40	7	1,65	20	8139	8041	16180	5794	8466	14260
3,25	85	5	2,3	245	3215	6539	9754	2040	7444	9485
3,25	85	3	2,95	65	3340	8791	12131	2321	9451	11772
3,25	85	7	1,65	155	4842	5778	10621	3336	6621	9957
3,25	85	3	2,95	110	3053	8464	11518	2023	9161	11184
3,25	85	3	2,95	20	3529	9095	12624	2566	9750	12316
3,25	85	7	1,65	20	6219	6738	12958	4575	7489	12064
3,25	85	5	3,6	155	5360	7137	12497	3793	7870	11663
3,25	130	7	2,3	200	4525	5127	9652	3302	6181	9482
3,25	130	7	2,3	155	4779	5283	10062	3480	6314	9794
3,25	130	7	2,95	110	5911	5617	11528	4458	6587	11045
3,25	130	7	1	65	3416	5335	8751	2399	6396	8795
3,25	130	7	1	155	2998	5057	8055	2153	6167	8320
3,25	130	3	1	110	587	7917	8504	312	8998	9310
3,25	130	3	1,65	110	1135	7896	9031	651	8892	9543
3,25	130	7	2,95	110	5911	5617	11528	4458	6587	11045
3,25	130	5	2,95	110	3889	6604	10493	2784	7574	10358
3,25	130	7	2,3	245	4334	5006	9339	3178	6077	9256
3,25	130	7	2,95	200	5352	5241	10593	3940	6249	10189
3,25	130	3	2,95	200	1927	7502	9429	1204	8439	9643
3,25	130	3	1,65	20	1479	8363	9842	957	9304	10261
3,25	130	3	1,65	110	1135	7896	9031	651	8892	9543
3,25	130	5	3,6	155	4312	6472	10784	3116	7424	10541
3,25	130	3	2,3	65	1912	8114	10026	1249	9011	10260
3,25	175	5	2,3	20	2803	6421	9224	2184	7615	9799
3,25	175	7	2,3	155	3994	4820	8814	3042	6025	9068
3,25	175	7	1,65	110	3412	4864	8276	2583	6100	8683
3,25	175	5	1,65	155	1721	5860	7581	1177	7142	8319
3,25	175	7	2,95	155	4732	4917	9649	3645	6085	9730
3,25	175	5	3,6	110	3719	6157	9876	2830	7261	10090
3,25	175	7	2,3	245	3669	4593	8262	2810	5827	8637
3,25	175	3	2,3	110	1303	7489	8792	835	8545	9380
3,25	175	5	1	110	3796	6470	10266	791	7278	8069
3,25	175	5	2,3	155	2350	5907	8257	1641	7116	8757
3,25	175	7	2,3	20	4549	5328	9877	3715	6551	10266
3,25	175	5	1,65	110	1876	6019	7895	1284	7268	8552
3,25	175	3	2,95	65	1907	7631	9538	1349	8621	9969

(Cont.) Tabela 56 - Análise dos Graus-hora para o dormitório 1e 2 com Upar 3,25W/m²K (novos valores de referência)

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	Dormitório 1 (N-O)			Dormitório 2 (S-L)		
					Ghr	Gha	Somatório	Ghr	Gha	Somatório
3,25	220	3	3,6	110	1859	7096	8955	1326	8145	9472
3,25	220	7	3,6	65	4914	4885	9799	4117	6173	10290
3,25	220	5	4,25	110	3619	5809	9428	2874	7003	9877
3,25	265	7	1,65	155	2387	4156	6543	1979	5609	7589
3,25	265	3	2,3	20	977	7211	8188	721	8386	9107
3,25	265	7	1,65	110	2500	4262	6762	2076	5705	7781
3,25	265	5	2,3	110	1772	5464	7236	1370	6856	8226
3,25	265	5	1	65	831	5535	6366	626	7036	7662
3,25	310	5	2,3	155	1467	5139	6606	1160	6591	7751
3,25	310	7	2,3	110	2802	4125	6926	2409	5596	8005
3,25	310	3	2,3	245	597	6503	7099	397	7716	8113
3,25	310	5	2,3	200	1399	5051	6451	1104	6512	7616
3,25	355	3	1,65	110	381	6700	7081	265	7936	8201

Em relação as configurações que atingiram ao desempenho térmico mínimo, os resultados mostraram que para uma $U_{par} = 3,25W/m^2K$ é possível atingir a tal desempenho desde que $CT_{par} \geq 265kJ/m^2K$ e $CT_{cob} \geq 65kJ/m^2K$, quando $U_{cob} \leq 1,0W/m^2K$.

A Tabela 57 mostra os resultados obtidos para a $U_{par} = 4,00W/m^2K$

Tabela 57 - Análise dos Graus-hora para o dormitório 1e 2 com Upar 4,00W/m²K (novos valores de referência)

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	Dormitório 1 (N-O)			Dormitório 2 (S-L)		
					Ghr	Gha	Somatório	Ghr	Gha	Somatório
4	40	3	3,6	65	4999	10260	15259	3554	10642	14196
4	40	5	1	110	3429	7997	11426	1988	8604	10592
4	85	7	1	155	4717	5988	10705	3249	6777	10026
4	85	7	1,65	65	6454	6594	13048	4514	7303	11817
4	85	3	1,65	155	1430	8549	9979	756	9445	10201
4	85	5	2,3	245	3446	6856	10302	2190	7742	9933
4	85	3	2,3	155	2028	8559	10587	1161	9372	10534
4	85	7	3,6	110	8562	6776	15338	6252	7418	13670
4	130	3	1	245	568	8077	8645	314	9197	9511
4	130	3	3,6	65	2875	8487	11362	2038	9314	11352
4	130	7	2,95	110	6388	5824	12212	4730	6751	11481
4	130	3	2,95	155	2018	8054	10072	1252	8984	10236
4	130	3	1,65	110	1165	8278	9442	655	9294	9949
4	130	7	2,3	110	5614	5944	11308	4090	6658	10748
4	130	7	2,3	110	5614	5694	11308	4090	6658	10748
4	130	5	2,3	200	2889	6436	9325	1898	7515	9413
4	130	5	2,3	65	3635	7048	10682	2520	8021	10541
4	130	3	1	110	668	8309	8977	352	9406	9758
4	130	3	2,95	110	2210	8257	10467	1420	9152	10573
4	175	7	1,65	155	3706	4893	8599	2817	6132	8949
4	175	3	2,3	65	1412	8056	9469	912	9110	10023
4	175	5	2,3	110	2677	6319	8996	1862	7514	9376
4	175	7	2,3	20	5082	5523	10606	4037	6706	10743
4	175	7	3,6	20	6231	5658	11889	5064	6806	11870
4	220	3	2,3	200	831	7328	8159	529	8536	9065
4	220	5	2,3	65	2344	6128	8472	1746	7442	9188
4	220	7	2,95	155	4417	4711	9128	3488	6007	9494
4	220	5	2,95	245	2334	5657	7990	1688	6989	8677
4	265	5	2,95	200	2103	5494	7597	1578	6900	8478
4	265	7	4,25	245	4652	4801	9453	3783	5752	9535

Nos graus-hora dessa análise se nota que nenhuma configuração conseguiu atingir o nível mínimo de desempenho térmico, diferentemente da análise dos mesmos graus-hora utilizando a referência do caso-base anterior, que era de 9329GH e mostrou uma quantidade significativa de combinações que atingiram o desempenho térmico mínimo. Mostrando que a alteração nos limites dos graus-hora se mostrou ser positivo.

Os graus-hora para a $U_{par} = 4,75W/m^2K$ estão ilustrados na tabela 58.

Tabela 58 - Análise dos Graus-hora para o dormitório 1e 2 com $U_{par} 4,75W/m^2K$ (novos valores de referência)

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	Dormitório 1 (N-O)			Dormitório 2 (S-L)		
					Ghr	Gha	Somatório	Ghr	Gha	Somatório
4,75	40	3	3,6	155	3966	9785	13752	2570	10265	12836
4,75	40	5	2,95	65	7008	9281	16289	4848	9630	14477
4,75	85	5	1,65	245	3124	7122	10246	1974	8033	10007
4,75	130	3	2,3	110	1668	8579	10247	976	9542	10518
4,75	130	3	4,25	65	3179	8823	12002	2265	9625	11890
4,75	130	7	1,65	20	6080	6262	12342	4490	7187	11678
4,75	130	7	2,95	245	6006	5530	11536	4399	6494	10893
4,75	130	7	1,65	200	4874	5458	10331	3580	6490	10070
4,75	130	7	1,65	65	5705	5987	11692	4124	6923	11047
4,75	175	7	2,3	65	5361	5520	10882	4063	6647	10711
4,75	175	7	1	200	3479	5006	8485	2670	6235	8905
4,75	175	5	2,3	155	2623	6378	9002	1781	7607	9388
4,75	175	3	4,25	155	2262	7995	10257	1519	8986	10505
4,75	175	7	1,65	65	4683	5405	10089	3516	6565	10082
4,75	220	3	2,3	155	885	7760	8644	556	8984	9540

Como aconteceu na análise anterior, os graus-hora da $U_{par} = 4,75W/m^2K$ também não teve nenhuma configuração que atingiu o nível mínimo de desempenho térmico. Com isso, é possível verificar a relevância dos novos limites de graus-hora para os dormitórios para reprovar configurações com U_{par} elevada.

4.5.1 Conclusão parcial das simulações dos Graus-hora com novos valores de referência

Nessas análises dos graus-hora, nota-se que as configurações que atingiram o nível de desempenho desejado estão mais coerentes, pois apresentam boa parte dos resultados dentro dos limites estabelecidos. Se percebe que existe, em alguns casos, uma divergência entre os resultados de cada dormitório se comparado a mesma configuração. Isso aponta que, dependendo dos casos, seria necessário alterar a configuração dos fechamentos opacos de um dos dormitórios ou outro ambiente de permanência prolongada. Ou seja, os ambientes deveriam ter configurações diferentes na mesma edificação para atingir o nível satisfatório na edificação, como por exemplo, uma parede com acréscimo de isolamento, em determinado ambiente, ou mesmo a alteração de determinada característica em toda a edificação, de modo que ambos os dormitórios atendam ao mínimo.

4.6 Análise dos Graus-Hora adotando os Novos Valores de Referência com o Padrão de Ocupação do RTQ-R

Para essa análise, foram utilizadas as 40 melhores combinações comuns aos dois dormitórios, como feito na análise anterior, só que com os valores dos graus-hora com o padrão de ocupação do RTQ-R.

Após, foram obtidos as médias e o desvio padrão das amostras, para poder estabelecer os níveis e os limites de cada desempenho térmico. Para isso, se estabeleceu que o valor da média da amostra seria o limite máximo para o desempenho intermediário. Para o desempenho mínimo, o valor limite máximo adotado foi a média + 1σ (desvio padrão). Já para o desempenho superior, o valor limite máximo adotado foi a média - 1σ (desvio padrão), também baseado no método da análise anterior.

A Tabela 59, apresenta os resultados das médias e dos desvios padrões dos dormitórios.

Tabela 59 - Cálculo da média, desvio padrão e distribuição da normal para os dormitórios 1 e 2 nas 40 combinações comuns a ambos (RTQ-R)

Dormitório 1 (Gh total)	Média	Desvio Padrão	Dist. Normal (significância)	Dormitório 2 (Gh total)	Média	Desvio Padrão	Dist. Normal (significância)
1012	2196	568	1,86%	1229	2797	753	1,87%
1055			2,23%	1256			2,04%
1315			6,06%	1534			4,68%
1337			6,53%	1538			4,74%
1353			6,90%	1759			8,40%
1554			12,93%	1948	Limite D. Superior		12,97%
1562	Limite D. Superior		13,23%	2064			16,51%
1633			16,10%	2064			16,51%
1740			21,12%	2138			19,07%
1740			21,12%	2206			21,60%
1842			26,67%	2404			30,09%
1855			27,43%	2415			30,60%
1897			29,95%	2488			34,06%
2051			39,94%	2493			34,33%
2105			43,65%	2612			40,26%
2146			46,50%	2663			42,90%
2148			46,64%	2671			43,33%
2168			48,05%	2790	Limite Desemp. Interm.		49,60%
2177	Limite D. Intermediario		48,68%	2828			51,60%
2257			54,28%	2873			53,99%
2270			55,19%	2913			56,10%
2283			56,09%	2935			57,25%
2315			58,30%	2971			59,13%
2322			58,78%	2977			59,39%
2332			59,47%	3009			61,06%
2349			60,62%	3066			63,92%
2435			66,31%	3071			64,17%
2496			70,13%	3150			68,00%
2628			77,65%	3420			79,57%
2663			79,45%	3424			79,72%
2684			80,48%	3438			80,22%
2714			81,91%	3450	Limite D. Mínimo		80,70%
2714			81,91%	3583			85,13%
2761			84,00%	3614			86,07%
2764	Limite D. Mínimo		84,13%	3623			86,33%
2778			84,72%	3629			86,52%
2872			88,30%	3681			87,96%
2990			91,89%	3802			90,87%
3188			95,96%	3855			91,97%
3329			97,69%	4315			97,80%

Foi determinado para o dormitório 1 e para o dormitório 2, respectivamente, os desvios padrão de 568 GH de 753 GH. Com esses dados, foi montada uma tabela com os critérios de avaliação do desempenho térmico das edificações através da utilização dos graus-hora de referência levando em consideração o padrão de ocupação do RTQ-R.

As Figuras 46 e 47 a seguir, mostram esses valores.

Tabela 60 - Critérios para determinação dos níveis de desempenho para dormitório 1 (N-O) com padrão de ocupação

Critérios de Desempenho dorm.1 com RTQ-R (N-O)		
Mínimo	Intermediário	Superior
2764 \geq GH > 2196	2196 \geq GH > 1628	1628 \geq GH

Tabela 61 - Critérios para determinação dos níveis de desempenho para dormitório 2 (S-L) com padrão de ocupação

Critérios de Desempenho dorm.2 com RTQ-R (S-L)		
Mínimo	Intermediário	Superior
3550 \geq GH > 2797	2797 \geq GH > 2044	2044 \geq GH

A seguir, serão analisados os graus-hora das 300 configurações levando em consideração os valores limites dos graus-hora que foram estabelecidos conforme figuras acima.

A Tabela 62 apresenta os graus-hora para a $U_{par} = 1,00W/m^2K$.

Tabela 62 - Análise dos Graus-hora para o dormitório 1e 2 com $U_{par} 1,00W/m^2K$ (ocupação RTQ-R)

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	Dormitório 1 (N-O)			Dormitório 2 (S-L)		
					Ghr	Gha	Somatório	Ghr	Gha	Somatório
1	40	3	2,3	65	800	3074	3874	662	3421	4082
1	40	7	2,3	155	902	2100	3001	343	5310	5653
1	85	3	2,3	65	490	2658	3148	403	3068	3471
1	85	7	1,65	110	532	1461	1993	467	1804	2271
1	85	7	2,95	200	646	2144	2790	466	4323	4789
1	85	7	2,3	155	589	1824	2413	525	2286	2811
1	85	3	2,3	110	406	2515	2922	324	2948	3272
1	130	7	2,95	110	604	2123	2727	558	2719	3277
1	130	5	2,3	245	278	1786	2064	228	2308	2537
1	130	7	2,3	155	438	1637	2074	369	1998	2367
1	130	5	1,65	155	249	1491	1740	200	1864	2064
1	130	7	2,3	155	438	1637	2074	369	1998	2367
1	130	7	2,3	200	400	1584	1983	353	2085	2437
1	130	5	4,25	65	768	3425	4194	707	4227	4934
1	130	5	1,65	155	249	1491	1740	200	1864	2064
1	130	3	2,3	110	301	2290	2591	238	2760	2998
1	175	3	1	65	99	1254	1353	66	1473	1538
1	175	5	2,95	20	532	2424	2956	485	3088	3573
1	175	7	2,95	155	452	1864	2316	410	2485	2895
1	175	3	2,95	20	451	2821	3272	392	3449	3841
1	175	7	1	110	202	810	1012	169	1060	1229
1	175	3	2,3	65	298	2224	2522	242	2713	2954
1	175	3	2,95	110	335	2574	2909	280	3176	3456
1	175	5	2,3	20	435	1958	2394	386	2476	2863
1	175	3	1	110	82	1233	1315	53	1482	1534
1	175	7	1	65	232	823	1055	194	1061	1256
1	220	7	3,6	20	1663	4171	5834	587	3186	3773
1	220	3	2,3	65	255	2086	2341	204	2581	2785
1	265	5	2,3	65	294	1647	1940	250	2157	2407
1	265	5	2,3	245	175	1458	1633	145	1993	2138

Nessa análise, é possível perceber uma correlação entre os níveis de desempenho para os dois dormitórios. Além do mais, percebe-se a grande influência da U_{par} para essa análise, levando em consideração um padrão de ocupação, ou seja, a U_{par} demonstra ser a variável mais influente em relação ao desempenho térmico, mesmo tendo outras variáveis com valores fora do limite. Outro dado, é as configurações que atingiram nível superior de desempenho, que possuem tanto a U_{par} quanto a U_{cob} igual a $1,00W/m^2K$. Na análise é notório a diferença de graus-hora quando se utiliza uma ocupação na edificação, a quantidade de graus-hora de desconforto diminui consideravelmente.

Para os graus-hora com $U_{par} = 1,75W/m^2K$, os resultados estão ilustrados na Tabela 63.

Tabela 63 - Análise dos Graus-hora para o dormitório 1e 2 com $U_{par} 1,75W/m^2K$ (ocupação RTQ-R)

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	Dormitório 1 (N-O)			Dormitório 2 (S-L)		
					Ghr	Gha	Somatório	Ghr	Gha	Somatório
1,75	40	5	2,95	200	986	3262	4248	816	3874	4689
1,75	40	3	2,95	155	784	3993	4777	645	4569	5215
1,75	40	3	2,3	155	636	3515	4151	502	4039	4542
1,75	40	3	1	335	325	2170	2496	270	4528	4797
1,75	40	5	1,65	155	769	2467	3237	618	2903	3521
1,75	40	5	2,3	110	1045	3209	4254	874	3667	4541
1,75	40	7	2,95	110	1531	3331	4863	1313	3822	5135
1,75	40	3	1	20	586	2789	3375	446	3047	3493
1,75	85	5	1,65	110	556	2279	2835	479	2734	3214
1,75	85	3	2,95	20	726	4134	4860	629	4718	5347
1,75	85	3	2,95	110	562	3788	4350	475	4405	4881
1,75	85	5	2,3	110	679	2774	3454	596	3315	3912
1,75	85	3	4,25	110	783	4648	5431	685	5358	6043
1,75	85	5	2,95	20	982	3541	4524	874	4163	5037
1,75	85	3	3,6	20	831	4603	5433	729	5254	5983
1,75	85	3	2,3	20	617	3621	4238	521	4135	4656
1,75	85	5	2,95	110	806	3234	4040	712	3854	4566
1,75	85	3	2,3	200	354	3039	3394	278	3680	3958
1,75	85	3	1,65	245	254	2578	2832	191	3129	3320
1,75	85	7	3,6	110	1214	3218	4433	1083	3894	4977
1,75	85	3	3,6	110	674	4222	4897	583	4882	5465
1,75	85	3	2,3	290	306	2882	3188	236	3566	3802
1,75	130	3	2,3	110	310	3025	3335	254	3628	3882
1,75	130	7	4,25	200	1663	4171	5834	803	3831	4634
1,75	130	3	2,3	110	310	3025	3335	254	3628	3882
1,75	130	7	4,25	65	1042	3373	4415	975	4214	5189
1,75	130	7	1,65	110	586	1656	2241	560	2136	2697
1,75	130	3	3,6	155	425	3723	4149	369	4498	4867
1,75	130	5	2,95	110	572	2902	3474	529	3592	4121

(Cont.) Tabela 63 - Análise dos Graus-hora para o dormitório 1e 2 com U_{par} 1,75W/m²K (ocupação RTQ-R)

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	Dormitório 1 (N-O)			Dormitório 2 (S-L)		
					Ghr	Gha	Somatório	Ghr	Gha	Somatório
1,75	130	7	1,65	110	586	1656	2241	560	2136	2697
1,75	130	5	2,3	155	432	2378	2811	390	2992	3383
1,75	130	7	2,3	110	687	2053	2740	656	2637	3293
1,75	130	7	2,95	65	860	2561	3421	811	3252	4063
1,75	130	3	4,25	110	560	4287	4847	502	5083	5585
1,75	130	5	2,95	110	572	2902	3474	529	3592	4121
1,75	130	5	2,3	110	478	2474	2952	439	3069	3507
1,75	130	5	3,6	65	731	3455	4187	678	4217	4894
1,75	130	3	2,95	65	446	3631	4076	391	4286	4677
1,75	175	7	3,6	110	701	2596	3297	686	3398	4084
1,75	175	7	3,6	155	651	2485	3137	639	3305	3944
1,75	175	3	2,3	245	174	2587	2761	141	3309	3450
1,75	175	5	1,65	155	263	1842	2105	239	2372	2612
1,75	175	5	1,65	110	291	1886	2177	265	2406	2671
1,75	175	3	2,3	65	266	2937	3203	228	3570	3798
1,75	175	3	1,65	65	196	2477	2673	161	2992	3153
1,75	175	3	1	20	139	2007	2146	108	2386	2493
1,75	175	5	4,25	20	688	3681	4369	656	4603	5258
1,75	220	3	1,65	155	116	2198	2315	95	2778	2873
1,75	220	5	2,3	155	269	2063	2332	250	2727	2977
1,75	220	3	3,6	20	378	3735	4113	349	4564	4913
1,75	220	5	1,65	245	181	1661	1842	169	2246	2415
1,75	220	5	1	65	172	1390	1562	161	1787	1948
1,75	220	5	2,3	200	249	2008	2257	230	2683	2913
1,75	265	5	1	200	106	1230	1337	112	1647	1759
1,75	265	7	3,6	110	509	2270	2780	513	3119	3632
1,75	265	7	2,3	200	327	1528	1855	326	2162	2488
1,75	265	5	2,3	155	227	1942	2168	211	2616	2828
1,75	310	3	2,3	20	177	2587	2764	156	3268	3424
1,75	355	7	2,3	290	233	1321	1554	236	1970	2206
1,75	355	5	3,6	65	339	2592	2931	331	3469	3800

Na análise da U_{par} de 1,75W/m²K, é possível perceber que 88% das configurações que atingiram pelo menos ao desempenho mínimo, estão com valor de C_{Tpar} ≥ 175kJ/m²K, coerente com o novo valor mínimo definido no trabalho. Percebe-se que as configurações com valores de U_{cob} > 2,30W/m²K, que estão fora dos limites, teve apenas duas configurações aprovadas, mostrando uma maior coerência em relação aos dados da análise.

Na Tabela 64, são mostrados os valores para a U_{par} = 2,50W/m²K.

Tabela 64 - Análise dos Graus-hora para o dormitório 1e 2 com Upar 2,50W/m²K (ocupação RTQ-R)

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	Dormitório 1 (N-O)			Dormitório 2 (S-L)		
					Ghr	Gha	Somatório	Ghr	Gha	Somatório
2,5	40	5	2,95	20	1559	4850	6409	1372	5369	6741
2,5	40	7	2,3	65	1772	3572	5344	1534	3989	5523
2,5	40	5	1	110	844	2560	3404	685	2962	3647
2,5	40	3	2,95	290	668	4113	4781	150	3661	3811
2,5	40	7	2,95	155	1652	3469	5121	1404	4022	5426
2,5	85	3	1,65	65	481	3682	4163	385	4214	4599
2,5	85	7	2,3	65	829	1993	2822	1188	3452	4640
2,5	85	5	3,6	155	999	3912	4911	874	4647	5520
2,5	85	7	1	110	932	1773	2705	837	2190	3027
2,5	85	7	4,25	65	1663	4171	5834	1481	4898	6379
2,5	85	5	2,3	110	844	3273	4117	735	3872	4607
2,5	85	3	1,65	200	342	3299	3641	263	3949	4213
2,5	85	3	2,3	200	419	3679	4098	332	4418	4750
2,5	85	5	2,3	65	944	3449	4393	823	4024	4847
2,5	85	5	1	110	578	2256	2834	507	2715	3221
2,5	85	3	2,3	65	595	4186	4781	496	4767	5263
2,5	85	7	2,3	20	1444	3036	4480	1274	3597	4871
2,5	85	5	1,65	110	723	2805	3528	625	3342	3967
2,5	85	7	2,3	200	1084	2451	3536	942	3066	4008
2,5	85	7	1,65	245	921	1995	2916	826	2536	3361
2,5	85	3	1,65	20	568	3818	4386	466	4323	4789
2,5	85	7	2,3	110	1245	2746	3991	1087	3303	4390
2,5	85	5	4,25	155	1114	4298	5412	975	5076	6051
2,5	85	7	1,65	200	959	2069	3028	854	2613	3467
2,5	85	3	1,65	155	370	3394	3764	286	4019	4305
2,5	85	7	2,95	110	1371	3162	4533	1203	3801	5004
2,5	85	7	1,65	155	1022	2164	3186	900	2692	3591
2,5	85	7	2,95	155	1277	2987	4265	1114	3628	4742
2,5	85	5	2,3	110	844	3273	4117	735	3872	4607
2,5	85	3	1,65	155	370	3394	3764	286	4019	4305
2,5	85	5	3,6	110	1087	4111	5198	954	4808	5762
2,5	85	5	1,65	200	617	2582	3198	538	3178	3716
2,5	130	5	1,65	155	475	2436	2911	433	3049	3482
2,5	130	7	1,65	110	829	1993	2822	775	2549	3324
2,5	130	7	1,65	155	773	1918	2691	728	2483	3211
2,5	130	5	2,3	65	669	3051	3720	614	3712	4326
2,5	130	5	3,6	110	785	3706	4491	721	4504	5226
2,5	130	7	2,95	65	1105	2882	3986	1018	3610	4628
2,5	130	3	1	20	257	2886	3143	203	3360	3562
2,5	130	3	1,65	335	197	2913	3110	163	3676	3839
2,5	130	3	1	65	218	2824	3042	170	3341	3510
2,5	130	5	2,95	65	762	3470	4232	698	4206	4904
2,5	130	3	2,95	155	386	3904	4289	329	4690	5019
2,5	130	3	4,25	110	583	4830	5413	520	5654	6174
2,5	130	3	2,3	200	291	3415	3706	238	4215	4453
2,5	130	3	1,65	65	316	3347	3664	260	3933	4193
2,5	130	5	2,3	65	669	3051	3720	614	3712	4326
2,5	130	5	2,3	155	558	2806	3363	509	3510	4019

(Cont.) Tabela 64 - Análise dos Graus-hora para o dormitório 1e 2 com Upar 2,50W/m²K (ocupação RTQ-R)

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	Dormitório 1 (N-O)			Dormitório 2 (S-L)		
					Ghr	Gha	Somatório	Ghr	Gha	Somatório
2,5	130	5	2,95	110	695	3321	4016	639	4077	4716
2,5	130	5	1,65	65	571	2606	3177	523	3176	3698
2,5	130	7	2,95	110	1031	2753	3784	950	3478	4428
2,5	130	5	2,3	155	558	2806	3363	509	3510	4019
2,5	130	7	3,6	110	1127	3120	4248	1037	3909	4946
2,5	130	3	2,3	110	352	3653	4005	294	4351	4644
2,5	130	5	2,3	110	605	2916	3522	554	3595	4149
2,5	130	5	1,65	20	641	2685	3326	585	3271	3855
2,5	130	3	2,95	110	427	4070	4497	368	4826	5194
2,5	130	3	1	200	162	2543	2705	136	3231	3367
2,5	130	7	2,3	155	870	2268	3138	809	2929	3737
2,5	130	7	2,95	155	966	2620	3586	891	3360	4251
2,5	130	5	2,3	65	669	3051	3720	614	3712	4326
2,5	130	7	4,25	200	1095	3199	4295	1000	4086	5086
2,5	130	7	1	290	629	1417	2046	632	1859	2491
2,5	130	5	2,3	65	669	3051	3720	614	3712	4326
2,5	175	5	4,25	155	631	3642	4273	601	4587	5188
2,5	175	7	2,95	65	856	2576	3432	831	3363	4194
2,5	175	3	2,3	20	323	3648	3971	285	4384	4669
2,5	175	3	3,6	65	417	4354	4771	698	4206	4904
2,5	175	7	2,3	65	778	2202	2979	760	2904	3664
2,5	175	5	1,65	245	325	2170	2496	310	2840	3150
2,5	175	5	2,3	110	460	2169	2629	437	3093	3530
2,5	175	5	1	155	282	1866	2148	278	2385	2663
2,5	175	7	2,95	65	856	2576	3432	831	3363	4194
2,5	175	7	1,65	200	580	1700	2279	583	2297	2881
2,5	175	5	2,95	155	492	2937	3429	469	3757	4226
2,5	175	5	2,95	65	576	3177	3754	553	3982	4535
2,5	175	7	1	155	513	1384	1897	542	1862	2404
2,5	175	5	2,95	110	532	3052	3584	508	3867	4375
2,5	175	3	2,3	245	201	3155	3356	170	4003	4173
2,5	175	5	2,95	110	532	3052	3584	508	3867	4375
2,5	175	3	1,65	155	179	2945	3124	150	3661	3811
2,5	175	7	2,3	110	725	2130	2855	714	2822	3536
2,5	220	7	2,3	290	497	1785	2282	512	2510	3023
2,5	220	5	3,6	65	526	3340	3865	517	4251	4768
2,5	220	3	2,3	110	200	3232	3432	176	4013	4189
2,5	220	5	2,3	245	306	2322	2628	297	3123	3420
2,5	220	3	2,95	65	276	3753	4029	251	4591	4842
2,5	220	3	2,3	155	182	3122	3304	159	3953	4112

(Cont.) Tabela 64 - Análise dos Graus-hora para o dormitório 1e 2 com Upar 2,50W/m²K (ocupação RTQ-R)

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	Dormitório 1 (N-O)			Dormitório 2 (S-L)		
					Ghr	Gha	Somatório	Ghr	Gha	Somatório
2,5	220	7	2,3	110	593	1969	2561	606	2678	3284
2,5	220	5	2,3	20	432	2660	3092	427	3435	3862
2,5	220	5	3,6	155	457	3089	3546	444	4029	4474
2,5	220	7	1,65	110	523	1645	2168	540	2249	2789
2,5	220	3	2,3	65	221	3348	3570	199	4129	4328
2,5	220	5	2,3	110	368	2504	2872	357	3257	3614
2,5	220	7	1,65	110	523	1645	2168	540	2249	2789
2,5	220	3	1	200	82	1953	2035	72	2994	3066
2,5	265	7	3,6	245	539	2238	2777	555	3167	3722
2,5	265	5	2,95	290	286	2428	2714	282	3347	3629
2,5	265	3	2,95	110	206	3447	3653	188	4322	4510
2,5	265	5	2,3	110	302	2361	2663	301	3136	3438
2,5	265	5	1,65	110	247	2022	2270	247	2688	2935
2,5	265	5	1,65	335	190	1861	2051	200	2589	2790
2,5	265	5	3,6	110	410	3047	3458	412	3988	4400
2,5	265	3	2,3	245	130	2860	2990	114	3740	3855
2,5	310	5	2,95	200	269	2415	2684	269	3313	3583

Percebe-se que as configurações com os melhores níveis de desempenho são as que possuem $U_{cob} \leq 1,65W/m^2K$, mostrando a influência da variável no desempenho térmico. Para essa análise, os maiores percentuais de configurações que atingiram pelo menos ao desempenho mínimo, possuem $CT_{par} \geq 220kJ/m^2K$, diferente da análise anterior, onde esse nível foi atingido com a $CT_{par} \geq 175kJ/m^2K$. Em relação a nova configuração limite para o método simplificado, destacada em azul, por meio da simulação computacional através da análise dos graus-hora, foi possível a obtenção do desempenho térmico mínimo, ilustrando a pertinência de adoção de tal configuração para os limites do simplificado.

Para a análise dos graus-hora referentes a $U_{par} = 3,25W/m^2K$, os resultados serão mostrados na Tabela 65.

Tabela 65 - Análise dos Graus-hora para o dormitório 1e 2 com Upar 3,25W/m²K (ocupação RTQ-R)

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	Dormitório 1 (N-O)			Dormitório 2 (S-L)		
					Ghr	Gha	Somatório	Ghr	Gha	Somatório
3,25	40	7	1,65	110	1066	3230	4296	1440	3595	5036
3,25	40	3	2,95	155	917	5183	6100	755	5862	6617
3,25	40	3	2,3	110	880	5030	5911	721	5614	6335
3,25	40	7	1,65	65	1854	3470	5324	1590	3844	5434
3,25	40	5	2,3	65	1105	2882	3986	1258	5053	6311
3,25	40	5	2,95	200	1283	4164	5447	1064	4844	5908
3,25	40	3	2,95	110	1015	5488	6504	851	6089	6941
3,25	40	3	1	65	647	4100	4747	491	4577	5069
3,25	40	5	2,3	200	1158	3762	4919	944	4402	5346
3,25	40	7	2,3	65	2002	4007	6006	1734	4423	6157
3,25	40	7	1,65	20	1998	3753	5750	1741	4129	5870
3,25	85	5	2,3	245	828	3268	4097	707	4029	4737
3,25	85	3	2,95	65	765	5188	5953	652	5855	6507
3,25	85	7	1,65	155	1287	2507	3794	1115	3078	4193
3,25	85	3	2,95	110	685	4953	5638	574	5673	6248
3,25	85	3	2,95	20	844	5362	6206	722	6014	6736
3,25	85	7	1,65	20	1596	2974	4570	1396	3473	4869
3,25	85	5	3,6	155	1147	4281	5428	991	5044	6035
3,25	130	7	2,3	200	1065	2458	3522	960	3167	4128
3,25	130	7	2,3	155	1116	2554	3670	1005	3250	4255
3,25	130	7	2,95	110	1278	3033	4310	1151	3775	4925
3,25	130	7	1	65	1000	1944	2944	919	2463	3383
3,25	130	7	1	155	906	1816	2722	529	3592	4121
3,25	130	3	1	110	248	3351	3599	200	4021	4221
3,25	130	3	1,65	110	331	3799	4130	270	4528	4797
3,25	130	7	2,95	110	1278	3033	4310	1151	3775	4925
3,25	130	5	2,95	110	827	3685	4512	748	4480	5228
3,25	130	7	2,3	245	1019	2379	3398	926	3103	4030
3,25	130	7	2,95	200	1158	2778	3935	1038	3553	4591
3,25	130	3	2,95	200	403	4266	4669	338	5180	5518
3,25	130	3	1,65	20	424	4041	4465	353	4712	5064
3,25	130	3	1,65	110	331	3799	4130	270	4528	4797
3,25	130	5	3,6	155	857	3885	4742	772	4744	5517
3,25	130	3	2,3	65	450	4364	4814	380	5096	5476
3,25	175	5	2,3	20	661	3231	3892	622	4032	4654
3,25	175	7	2,3	155	894	2304	3198	850	3062	3912
3,25	175	7	1,65	110	858	2057	2915	560	2136	2697
3,25	175	5	1,65	155	469	2615	3085	441	3350	3791
3,25	175	7	2,95	155	970	2606	3577	914	3440	4354
3,25	175	5	3,6	110	707	3734	4441	666	4642	5308
3,25	175	7	2,3	245	824	2176	3000	791	2940	3732
3,25	175	3	2,3	110	296	3933	4229	254	4765	5019
3,25	175	5	1	110	411	2281	2692	395	2894	3289
3,25	175	5	2,3	155	535	2948	3483	502	3759	4261
3,25	175	7	2,3	20	1045	2548	3593	984	3301	4285
3,25	175	5	1,65	110	500	2684	3184	469	3395	3864
3,25	175	3	2,95	65	385	4453	4839	343	5310	5653
3,25	220	3	3,6	110	321	4423	4744	293	5383	5677
3,25	220	7	3,6	65	936	2912	3848	918	3855	4773
3,25	220	5	4,25	110	627	3839	4466	611	4850	5461
3,25	265	7	1,65	155	567	1717	2283	599	2410	3009
3,25	265	3	2,3	20	213	3781	3995	199	4686	4885
3,25	265	7	1,65	110	593	1756	2349	623	2448	3071
3,25	265	5	2,3	110	377	2676	3053	376	3549	3925
3,25	265	5	1	65	278	2044	2322	282	2689	2971
3,25	310	5	2,3	155	299	2479	2778	307	3374	3681
3,25	310	7	2,3	110	560	1925	2485	599	2728	3327
3,25	310	3	2,3	245	124	3206	3329	115	4200	4315
3,25	310	5	2,3	200	285	2430	2714	294	3329	3623
3,25	355	3	1,65	110	93	2948	3041	90	3816	3906

Para as configurações de $U_{par} = 3,25W/m^2K$, nota-se que 64% das combinações que atingiram desempenho térmico mínimo possuem $CT_{par} \geq 265kJ/m^2K$. Para verificar a pertinência de utilização de transmitâncias térmicas mais elevadas de paredes juntamente com capacidades térmicas de paredes também elevadas, seriam necessários estudos mais aprofundados, mas verificando os resultados, é possível perceber a possibilidade de adoção.

Em relação a $U_{par} = 4,00W/m^2K$, os dados são apresentados na Tabela 66.

Tabela 66 - Análise dos Graus-hora para o dormitório 1e 2 com $U_{par} 4,00W/m^2K$ (ocupação RTQ-R)

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	Dormitório 1 (N-O)			Dormitório 2 (S-L)		
					Ghr	Gha	Somatório	Ghr	Gha	Somatório
4	40	3	3,6	65	1248	6707	7955	1086	7292	8378
4	40	5	1	110	1155	3566	4721	941	4058	4999
4	85	7	1	155	1418	2409	3827	1233	2922	4155
4	85	7	1,65	65	1723	3189	4912	1495	3703	5197
4	85	3	1,65	155	510	4480	4990	399	5271	5671
4	85	5	2,3	245	965	3609	4574	814	4406	5220
4	85	3	2,3	155	593	4855	5448	477	5655	6132
4	85	7	3,6	110	1945	4165	6110	1696	4815	6511
4	130	3	1	245	264	3669	3934	224	4473	4697
4	130	3	3,6	65	647	5556	6204	566	6368	6934
4	130	7	2,95	110	1503	3307	4811	1336	4049	5385
4	130	3	2,95	155	486	4845	5330	408	5741	6149
4	130	3	1,65	110	386	4299	4686	312	5102	5414
4	130	7	2,3	110	1411	2948	4360	1254	3653	4907
4	130	7	2,3	110	1411	2948	4360	1254	3653	4907
4	130	5	2,3	200	781	3420	4201	691	4268	4959
4	130	5	2,3	65	938	3810	4748	829	4565	5394
4	130	3	1	110	304	3863	4167	247	4635	4882
4	130	3	2,95	110	526	5015	5541	446	5871	6317
4	175	7	1,65	155	1023	2239	3262	955	2959	3914
4	175	3	2,3	65	368	4530	4898	316	5401	5716
4	175	5	2,3	110	682	3367	4049	631	4208	4839
4	175	7	2,3	20	1258	2814	4071	1155	3601	4756
4	175	7	3,6	20	725	2130	2855	1269	4401	5670
4	220	3	2,3	200	228	3973	4201	199	5005	5204
4	220	5	2,3	65	282	2866	3148	560	4126	4686
4	220	7	2,95	155	987	2610	3596	941	3520	4462
4	220	5	2,95	245	537	3185	3721	511	4207	4717
4	265	5	2,95	200	464	3094	3558	455	4126	4581
4	265	7	4,25	245	895	2827	3722	873	3910	4784

Para essa análise, assim como na análise anterior (novos valores de referência) que não levou em consideração a ocupação da edificação, foi possível perceber a mesma coisa, que todas as configurações foram reprovadas, mostrando que os valores adotados como limites também se mostraram pertinentes para essa análise.

Por último, serão apresentados os resultados para $U_{par} = 4,75W/m^2K$ que estão na Tabela 67.

Tabela 67 - Análise dos Graus-hora para o dormitório 1e 2 com Upar 4,75W/m²K (ocupação RTQ-R)

Upar	Ctpar	Aspar	Ucob	Ctcob	Dormitório 1 (N-O)			Dormitório 2 (S-L)		
					Ghr	Gha	Somatório	Ghr	Gha	Somatório
4,75	40	3	3,6	155	1104	6394	7498	930	7116	8047
4,75	40	5	2,95	65	1777	5799	7576	1541	6305	7846
4,75	85	5	1,65	245	1006	3619	4625	848	4367	5215
4,75	130	3	2,3	110	508	5066	5574	418	5941	6359
4,75	130	3	4,25	65	757	6225	6982	664	7063	7727
4,75	130	7	1,65	20	1683	3103	4787	1487	3750	5238
4,75	130	7	2,95	245	1537	3138	4674	1343	3973	5315
4,75	130	7	1,65	200	1401	2652	4053	1245	3362	4608
4,75	130	7	1,65	65	1606	2996	4603	1414	3651	5065
4,75	175	7	2,3	65	1409	2982	4391	1274	3770	5044
4,75	175	7	1	200	1113	2125	3238	1040	2774	3814
4,75	175	5	2,3	155	753	3557	4310	681	4472	5153
4,75	175	3	4,25	155	504	5518	6022	441	6555	6996
4,75	175	7	1,65	65	1337	2660	3997	1208	3381	4590
4,75	220	3	2,3	155	275	4462	4737	236	5521	5756

Nessa análise, percebe-se também que nenhuma das configurações conseguiram atingir o desempenho térmico mínimo, onde possuem um valor bem acima do estabelecido como limite da NBR 15.575 (ABNT, 2013).

4.6.1 Conclusão parcial dos Graus-hora com padrão de ocupação do RTQ-R

A análise dos graus-hora com o padrão de ocupação mostrou um somatório de graus-hora de desconforto bem menor do que a análise com os graus-hora sem um padrão de ocupação. Além do mais, a não utilização de uma ocupação dentro da edificação, não corresponde com a realidade, pois existe pessoas e equipamentos, fazendo com que exista um ganho de calor interno e esse ganho favorece muito no período de frio mais intenso da zona bioclimática 2. Outro fator importante é a operação das venezianas, que ajudam a ventilação da habitação, ora aumentando ou ora diminuindo a ventilação, de modo a favorecer o conforto interno.

Com os dados expostos no trabalho é possível analisar as configurações a serem simuladas com ou sem a utilização dos ganhos de calor internos, que mesmo assim, será possível obter os valores limites para saber que nível de desempenho é possível atingir.

5 CONCLUSÃO

Nesse trabalho foram avaliadas as prescrições da NBR 15.575 (ABNT, 2013) na Zona Bioclimática 2 em Habitações de Interesse Social, sendo realizadas simulações computacionais para diferentes configurações levando em consideração a análise através dos dias típicos de verão e inverno e através dos graus-hora.

Nas análises referentes ao dia típico de inverno, foi possível perceber um grande número de amostras que conseguiriam a aprovação sem dificuldades, por meio de simulação. Isso mostrou-se possível pois para a obtenção de desempenho térmico mínimo era necessário atingir, pelo menos, 5°C de temperatura interna do ambiente e desempenho térmico superior com 9°C no interior do ambiente. Com isso, se abre um leque muito grande de combinações para obterem o desempenho necessário, sem ao menos apresentarem características de propriedades térmicas compatíveis com a zona analisada. Estes resultados demonstram não haver correlação entre o método de simulação e o método simplificado.

Referente as análises do dia típico de verão, percebeu-se que a utilização das condicionantes estabelecidas na NBR 15.575 (ABNT, 2013) também facilitam a aprovação de configurações com valores de fechamentos opacos muito além dos limites especificados na norma. Sendo que, dependendo de alguns casos, a máxima taxa de renovação de ar pode nem atingir as 5 ren/h mencionadas na NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Ainda assim, entre as análises dos dias típicos, o de verão se mostrou com melhores resultados do que o de inverno. Os critérios adotados para o inverno são muito piores que os adotados para o verão, que pelo menos estabelece que a temperatura interna não deve ultrapassar a externa para ser aprovado. Porém o mesmo não pode ser especificado para o inverno, cujas cidades da ZB2 enfrentam temperaturas externas muito baixas.

Na análise dos resultados, referente ao ano inteiro, foi possível perceber que em relação a absorvância solar das paredes, os dados dos valores são bem variados, mostrando que absorvâncias menores é favorável para o verão e absorvâncias maiores é favorável para inverno. Porém, os resultados apontam ou para a utilização de uma cor clara, que foi a que mais participou das amostras com melhor desempenho, ou para a utilização de uma absorvância intermediária, caso a edificação não tenha já uma cor definida, pois, com isso, se evitaria de prejudicar o conforto da edificação em um dos períodos do ano. Mas seriam necessários estudos mais aprofundados para verificar essa hipótese.

Notou-se que a adoção dos graus-hora do Caso-Base como referência, não seria coerente, pois esse valor seria muito elevado e foi estabelecido a partir de uma configuração cujos dados das temperaturas do dia típico já não estavam apropriados. Assim, buscou-se métodos estatísticos para estabelecer novos graus-hora, e em função destes redefinir os limites das variáveis estabelecidas pelo método simplificado. Esse procedimento apontou que, em relação à Capacidade Térmica das paredes, o valor da NBR 15.575 (ABNT, 2013) precisava ser alterado.

Na verificação dos resultados foi possível perceber que estes se mostram bastante de acordo com os novos limites adotados e as configurações que atingiram o nível de desempenho atendiam aos limites das variáveis. Ficou evidente a relevâncias dos valores das variáveis tanto individualmente quanto em combinação com as demais.

Foi verificado também, a possibilidade de se adotar um padrão de ocupação da edificação, tomando como referência as configurações estabelecidas no RTQ-R. Os resultados se mostraram bastante satisfatórios e grande parte das configurações mantiveram a mesma avaliação com relação as configurações sem ocupação, estabelecido pela NBR 15.575 (ABNT, 2013).

O principal problema encontrado na NBR 15.575 (ABNT, 2013) refere-se aos limites de aprovação pelo método de simulação, especialmente para o caso de inverno, cujos limites de aprovação são incompatíveis com o inverno da Zona Bioclimática 2. A adoção de uma avaliação anual por meio de graus hora, em substituição à utilização de dia típico, com limites mais restritos favorecerão a obtenção de edificações mais eficientes, com menor consumo de energia e mais próximas às condições de conforto, especialmente no inverno.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho oferece limites de graus-hora em função da simulação com e sem ocupação para os dormitórios de verão e inverno a serem avaliados e propõe uma revisão dos valores limites das propriedades térmicas do método simplificado, favorecendo a coerência entre estes métodos de avaliação de desempenho térmico das edificações pela a NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Como considerações, cabe ressaltar que mesmo utilizando uma Habitação de Interesse Social o trabalho é válido para outros tipos de habitações, pois os resultados estabelecidos podem ser estendidos.

Esse trabalho tem como contribuição a definição de novos critérios de avaliação, de modo que a habitação possa ser analisada de com ou sem um padrão de ocupação.

Ao encerrar este trabalho teve-se conhecimento da elaboração de dia típico de projeto estabelecido para a cidade de Santa Maria, RS, no trabalho de Flores(2014) cujos valores obtidos segundo a metodologia de Sattler (1989), diferem das que foram obtidas ao longo deste trabalho, com aplicação da metodologia de Akutsu (1991) nos dados de *TMY* de Santa Maria, RS. Desta forma, não foi possível avaliar qual seria a influência destes nos resultados decorrentes da metodologia apresentada.

Sugestões para trabalhos futuros

- Testar a metodologia para outros tipos de edificação e avaliar a temperatura interna das mesmas, identificando as condições de conforto e os gastos de energia para restabelecê-lo;
- Aplicação do mesmo método utilizado nesse trabalho para as demais zonas bioclimáticas. Em especial as zonas 1 e 3 que possuem grande percentual de desconforto por frio.

- Estudos mais abrangentes no intuito de verificar a possibilidade de alterações dos limites dos fechamentos opacos estabelecidos pela NBR 15.575 (ABNT, 2013), verificando a possibilidade de correlação entre todos os fatores analisados na pesquisa.
- Ampliar as simulações verificando valores intermediários entre os apresentados nessa pesquisa.
- Verificar a paridade entre a metodologia desenvolvida e o RTQ-R, buscando uma correlação entre o desempenho obtido (mínimo, intermediário e superior) com a Etiqueta Nacional de Eficiência Energética (ENCE).

7 BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. – **ABNT. NBR 15.220.** Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. **NBR 15.220.** Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações, Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. **NBR 15.575.** Norma Brasileira de Edifícios habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

AKUTSU, M., VITTORINO, F.; **Proposta de Procedimentos para o Tratamento de Dados Climáticos.** In: I Encontro Nacional sobre Normalização Ligada ao Uso Racional de Energia e ao Conforto Térmico em Edificações. Florianópolis, SC, 1991.

_____. BRITO, Adriana C.; CHIEPPE, Clarice P. **O efeito da Capacidade Térmica e da Resistência térmica de paredes no desempenho térmico de habitação na cidade de São Paulo.** XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído ENTAC. Anais do evento. Juiz de Fora, 2012.

ALMEIDA, José E. Castro de; CABÚS, Ricardo C. **Conforto Térmico em Apartamentos de um Conjunto Habitacional em Maceió / AL.** VIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. ENCAC. Anais do evento. Maceió, AL, 2005.

American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers - **ASHRAE. ANSI/ASHRAE 90.2-2001: Energy-Efficient Design of Low-Rise Residential Buildings.** Atlanta, 2001.

_____. **ANSI/ASHRAE. ASHRAE Standard 55-2010:** Atlanta, 2010.

_____. **ANSI/ASHRAE. ASHRAE Standard 140-2011:** Atlanta, 2011.

_____. **ASHRAE Handbook of Fundamentals.** New York, 1993.

_____. **ASHRAE Handbook of Fundamentals.** Atlanta, 2009.

ANTRETTTER, F. *et al.* **Interior Temperature and Relative Humidity Distributions in Mixed-Humid and Cold Climates as Building Simulation Boundary Conditions.** Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings XII International Conference. 2010

ARAÚJO, Virgínia Maria Dantas de. **Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares no litoral nordestino brasileiro.** Tese (Doutorado – Faculdade de Arquitetura e urbanismo) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 1996.

BERLATO, Moacir A.; ALTHAUS, Daiana. **Tendência observada da temperatura mínima e do número de dias de geada do Estado do Rio Grande do Sul.** Pesquisa Agropecuária Gaúcha, v.16, n.1 e 2, p.7-16. Porto Alegre, 2010.

BRASIL. **Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001.** Dispõe sobre a política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Lex: Diário Oficial da União, Brasília, 2001. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/site/menu/select_main_menu_item.do?channelId=2021>. Acesso em: 12 Jun. 2013.

_____. **Portaria Ministério das Cidades 325 de 7 de julho de 2011.** Dispõe sobre as diretrizes gerais para aquisição e alienação de imóveis por meio da transferência de recursos ao Fundo de Arrendamento Residencial - FAR, no âmbito do Programa Nacional de Habitação Urbana - PNHU, integrante do Programa Minha Casa, Minha Vida - PMCMV Disponível em: < <http://www.sinduscon-rio.com.br/mcmv/325.pdf> > Acessado em 23 de Outubro de 2011.

_____. **MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. Balanço Energético Nacional 2009: Ano base 2008 /** Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2009. 274 p

_____. TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. **Balanço geral do blecaute energético de 2001**. Publicado em 15 de Julho de 2009. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Crise_do_apag%C3%A3o> Acesso em: 20 de Maio de 2013.

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 Habitare, Porto Alegre, v.3 - Normalização e Certificação na Construção Habitacional, capítulo 8, p. 134-173, 2003.

BARBOSA, M. J. **Uma Metodologia para Especificar e Avaliar o Desempenho Térmico de Edificações Residenciais Unifamiliares**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, UFSC, Florianópolis, 1997.

BRITO, Adriana C.; AKUTSU, Maria; VITTORINO, Fulvio; AQUILINO, Marcelo de M. **Contribuições para o aprimoramento da NBR 15575 referente ao método simplificado de avaliação de desempenho térmico de edifícios**. XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído ENTAC. Anais do evento. Juiz de Fora, 2012.

CURCIO, Daniela da R. **Desempenho termo-energético de habitações de interesse social produzidas pelo programa de arrendamento residência-Par, na cidade de Pelotas/RS**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UFPel. Pelotas, 2011.

de DEAR, R.; BRAGER, G.S., **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference**. ASHRAE Trans., V.104(1a), pp. 145-167, 1998.

DESINGBUILDER. Versão 3.0.0.105. Disponível em <<http://www.designbuilder.co.uk/>>. Acesso em 10 de Fevereiro 2013.

DEUS, Flávia L. D. de. **Geração de Cenários de Energia Natural Afluente Através da Adoção da Metodologia do Hipercubo Latino**. UFRJ/COPPE. Rio de Janeiro, 2010.

DOE – U. S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Building Energy Software Tools Directory**. Disponível em: <http://www.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/alpha_list.cfm>. Acesso em: 17 abr. 2012.

_____. **EnergyPlus Energy Simulation Software**. Disponível em: <<http://www.energyplus.gov>>. Acesso em: 17 abr. 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE COMUNICAÇÃO. **Agência Brasil**. Disponível em: <<http://www.seesp.org.br/site/cotidiano/637-deficit-habitacional-caiu-8-diz-governo.html>> acessado em 22 de Outubro de 2011.

FANGER, P. O.; **Thermal Comfort: analysis and applications in environmental engineering**. McGraw-Hill, New York, USA, 1972.

FARIA, Fábio M. de; UMETSU, Cristina M.; FROTA, Anésia Barros. **O Conforto Térmico nas Habitações Populares da Cidade de São Paulo**. VII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. ENCAC. Anais do evento. Curitiba, PR, 2003.

FERREIRA, Camila C.; PEREIRA, Iraci M. **Avaliação do desempenho térmico de habitação de interesse social de acordo com a NBR 15575, para as diversas zonas bioclimáticas**. XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído ENTAC. Anais do evento. Juiz de Fora, 2012.

FLORES, Michele Gomes. **Geração da base climática de Santa Maria-RS para análise de desempenho térmico e eficiência energética de edificações**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2014.

FRANCO, Muriel F.; FERRUGEM, Anderson P.; SILVA, Antônio César S. B. da. **Automação e controle de simulações energéticas utilizando o BCVTB**. XXI Congresso de Iniciação Científica – CIC. 4ª Mostra Científica. UFPel, 2012.

GELLER, H.; **O uso eficiente da eletricidade – uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil**. INEE, ACEEE, Rio de Janeiro - RJ, 1994.

GIVONI, B. **Confort, climate analysis and building design guidelines**. Energy and Building, vol. 18, 1992.

GOULART, S.V.G. **Dados climáticos para avaliação de desempenho térmicos de edificações em Florianópolis**. Florianópolis, UFSC, 1993, 110 p. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina, 1993.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - **IBGE. Dados estatísticos do Rio Grande do Sul. Censo 2010**. Disponível em: <[http://http://www.portalbrasil.net/estados_rs.htm](http://www.portalbrasil.net/estados_rs.htm) >. Acesso em 06 de Maio de 2013.

HEO, Y.; CHOUDHARY, R.; AUGENBROE, G. A. **Calibration of Building Energy Models For Retrofit Analysis Under Uncertainty**. Energy and Buildings, v. 47, n. 4, p. 550-560, 2012.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, RTQ-C**. Eletrobrás, 2009.

_____. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, RTQ-R**. Eletrobrás, 2010.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, **ISO 7730**: Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of Conditions for Thermal Comfort. Geneva, 2005.

KNAAP, A. N. Van der. **Building performance simulation to support building energy regulation. A case study for residential buildings in Brazil**. Tese. Department of the Built Environment, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, 2011.

LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina. Programa Computacional Analysis Bio, Versão: 2.2. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/software/analysis_BIO.html>. Acesso em Janeiro. 2014.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3a edição. São Paulo: ProLivros, 2014.

_____. XAVIER, Antônio Augusto de Paula. **Conforto Térmico e Stress Térmico**. Departamento de Engenharia Civil – UFSC. Florianópolis, 2002.

LAMBERTS, R. *et al* (Ed.) **Casa Eficiente: Simulação Computacional do Desempenho Termo-Energético**. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010. 53p.

LASSAROTTO, Nébora; SANTOS, Joaquim César Pizzutti. **Avaliação do Conforto Térmico de Estudantes do Ensino Fundamental na região do nordeste do RS. Ouro Preto/MG**: In IX Encontro Nacional e V Encontro Latino Americano no Ambiente Construído, 2007. pp. 1038-1046. 9p.

MACDONALD, I.; STRACHAN, P. **Practical Application of Uncertainty Analysis**. Energy and Buildings, v. 33, n. 3, p. 219-227, 2001.

MCKAY, M.D., BECKMAN, R.J., CONOVER, W.J., 1979, "A Comparison of Three Methods for Selecting Values of Input Variables in the Analysis of Output from a Computer Code"& Technometrics, Vol. 21, n.2, p. 239-245, Maio 1979.

MARTINS, Davi; RAU, Sabrina; RECKZIEGEL, Simone; FERRUGEM, Anderson; SILVA, Antônio. C. S. B. **Ensaio sobre a utilização da automação de aberturas na simulação do desempenho térmico de edificações**. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Anais em CD-ROM. Natal, 2009.

MATOS, Michele. **Simulação Computacional do Desempenho Térmico de Residências em Florianópolis Utilizando a Ventilação Natural**. Dissertação de Mestrado, UFSC. Florianópolis - SC, 2007.

MELO, Ana Paula. **Análise da influência da transmitância térmica no consumo de energia de edificações comerciais**. Dissertação de mestrado em engenharia civil. Faculdade de Engenharia Civil. UFSC. Florianópolis, 2007.

_____. **Desenvolvimento de um método para estimar o consumo de energia de edificações comerciais através de aplicação de redes neurais**. Tese. Florianópolis, 2012.

MENDES, N.; WESTPHAL, F.S.; LAMBERTS, R.; CUNHA NETO, J. A. B. **Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil**. Ambiente Construído, Porto Alegre, 2005.

MENEZES, M. S. **Avaliação do desempenho térmico de habitações sociais de Passo Fundo-RS**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia e Arquitetura. Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, 2006.

MORELLO, Alessandro. **Avaliação do comportamento térmico do protótipo habitacional Alvorada**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS. Porto Alegre-RS, 2005.

OLGYAY, V. **Clima y Arquitectura en Colombia**. Universidad del Valle, Facultad de Arquitectura, Cali, Colombia, 1968.

OLIVEIRA, L. da S. **Avaliação dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos da NBR 15220-3, para habitações de interesse social, da zona bioclimática 2**. Dissertação de Mestrado – PROGRAU, UFPel. Pelotas, 2012.

ORDENES, M.; PEDRINI, A.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Metodologia Utilizada na Elaboração da Biblioteca de Materiais e Componentes Construtivos Brasileiros para Simulações no Visualdoe-3.1**. Relatório Interno – Departamento de Engenharia Civil, UFSC. Florianópolis, 2003.

PEREIRA, Cláudia Donald. **A Influência do Envelope no Desempenho Térmico de Edificações Residenciais Unifamiliares Ocupadas e Ventiladas Naturalmente**. Dissertação de Mestrado, UFSC. Florianópolis, 2009.

PEREIRA, C. D.; GHISI, E. **Calibração de um modelo computacional de uma residência unifamiliar localizada em Florianópolis**. In: ENTAC - XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Fortaleza, 2008.

PINIWEB. Portal de notícias. Disponível em: <http://piniweb.pini.com.br/construcao/habitacao/esta-em-vigor-a-nbr-15575-norma-de-desempenho-292738-1.aspx>. Acessado em: Setembro de 2014.

POUEY, Juliana Al-Alam. **Projeto de edificação residencial unifamiliar para a zona bioclimática 2 com avaliação termo energética por simulação computacional**. Dissertação de Mestrado, PROGRAU-UFPel. Pelotas-RS, 2011.

PROCEL. **20 anos**. Centro da Memória da Eletricidade no Brasil. Rio de Janeiro, 2006.

ROMAN, Humberto; BONIN, Luis Carlos. **Normalização e Certificação na Construção Habitacional**. Coleção Habitare, ANTAC. Porto Alegre, 2003

SATTLER, M. A. **Dias climáticos típicos para o projeto térmico de edificações em Porto Alegre**. CIENTEC. Porto Alegre, 1989.

Sindicato da Indústria da Construção Civil – **SINDUSCON**. Disponível em: < http://www.sinduscon-mg.org.br/site/pbqp_habitat-quali.php > Acesso em: 05 de Março de 2013.

SILVA, A. C. S. B. **Zoneamento Bioclimático Brasileiro para Fins de Edificação**. Dissertação de Mestrado, NORIE - UFRGS, Porto Alegre, 1994.

SILVA, A. C. S. B; GONÇALVES, M. R. F. **Avaliação de desempenho térmico de protótipo de unidade habitacional pré-moldada de placas lisas cimentícias em zona bioclimática 2 (verão)**. XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. ENTAC. Anais do evento. Fortaleza, 2008.

SILVA, A. S.; GHISI, E. **Análise de sensibilidade global dos parâmetros termofísicos de uma edificação residencial de acordo com o método de simulação do RTQ-R**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 135-148, jul./set. 2013.

_____. **Análise comparativa dos resultados do desempenho térmico da envoltória de uma edificação residencial pelos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR 15575-1**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 213-230, jan./mar. 2014.

SORGATO, M. J. *et al.* **Nota técnica referente à avaliação para a norma de desempenho NBR 15575 em consulta pública**. LABEEE, UFSC. Florianópolis-SC, 2012.

SORGATO, Márcio J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **Análise do Método de Simulação de Desempenho Térmico da norma NBR 15575**. XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. ENCAC. Anais do evento. Brasília, DF, 2013.

SZOKOLAY, S. V. **Thermal Design of Buildings**. Raia Education Division, Austrália, 1987.

VENÂNCIO, Raoni; PEDRINI, Aldomar. **Investigando o Projeto de Envoltória: Questionário sobre Prática Arquitetônica e Desempenho Térmico**. XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. ENCAC. Anais do evento. Búzios, 2011.

VOLTANI, Eder Ricardo. **Avaliação do conforto térmico em indústrias de calçados. Campinas/SP.** Dissertação (Mestrado - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2009.

WYSS, Gregory D., JORGENSEN, Kelly H., 1998, **A User's Guide to LHS: Sandia's Latin Hypercube Sampling Software.** Unlimited Release Distribution Category UC-505

APÊNDICE

Apêndice A

Configurações que foram geradas pelo programa *SimLab* através do método do Hipercubo Latino estão listados nas figuras a seguir.

Upar	CTpar	ASpar	Ucob	Ctcob
2,5	130	5	1,65	155
1,75	220	3	1,65	155
1,75	85	5	1,65	110
3,25	310	5	2,3	155
2,5	220	7	2,3	290
1	40	3	2,3	65
1,75	40	5	2,95	200
1,75	265	5	1	200
3,25	40	7	1,65	110
3,25	265	7	1,65	155
4,75	175	7	2,3	65
1	175	3	1	65
2,5	85	3	1,65	65
1	130	7	2,95	110
3,25	85	5	2,3	245
1,75	85	3	2,95	20
2,5	130	7	1,65	110
2,5	85	7	2,3	65
4	40	3	3,6	65
3,25	265	3	2,3	20
2,5	175	5	4,25	155
3,25	265	7	1,65	110
3,25	40	3	2,95	155
2,5	85	5	3,6	155
3,25	130	7	2,3	200
4,75	40	3	3,6	155
1,75	310	3	2,3	20
1	175	5	2,95	20
2,5	220	5	3,6	65
2,5	130	7	1,65	155
1,75	130	3	2,3	110
2,5	130	5	2,3	65
2,5	130	5	3,6	110
3,25	130	7	2,3	155
1	130	5	2,3	245
2,5	85	7	1	110
4,75	175	7	1	200
2,5	175	7	2,95	65
3,25	175	5	2,3	20
3,25	40	3	2,3	110
1,75	175	7	3,6	110
4	130	3	1	245
2,5	85	7	4,25	65
1	220	7	3,6	20
1,75	130	7	4,25	200
3,25	40	7	1,65	65
3,25	265	5	2,3	110
2,5	130	7	2,95	65
3,25	40	5	2,3	65

Figura 38a – Configurações geradas pelo *SimLab*

Upar	CTpar	ASpar	Ucob	Ctcob
1	220	3	2,3	65
1	85	3	2,3	65
2,5	130	3	1	20
3,25	175	7	2,3	155
3,25	130	7	2,95	110
1,75	220	5	2,3	155
2,5	175	3	2,3	20
2,5	220	3	2,3	110
4	130	3	3,6	65
2,5	130	3	1,65	335
4	220	3	2,3	200
1,75	130	3	2,3	110
4	175	7	1,65	155
2,5	130	3	1	65
1,75	40	3	2,95	155
3,25	40	5	2,95	200
4,75	175	5	2,3	155
2,5	85	5	2,3	110
2,5	265	7	3,6	245
2,5	130	5	2,95	65
2,5	175	3	3,6	65
4	175	3	2,3	65
1,75	85	3	2,95	110
2,5	220	5	2,3	245
1,75	130	7	4,25	65
1,75	175	7	3,6	155
1	130	7	2,3	155
1,75	130	7	1,65	110
3,25	175	7	1,65	110
1,75	85	5	2,3	110
2,5	130	3	2,95	155
1,75	85	3	4,25	110
3,25	130	7	1	65
2,5	130	3	4,25	110
3,25	40	3	2,95	110
3,25	265	5	1	65
1	130	5	1,65	155
1,75	40	3	2,3	155
2,5	130	3	2,3	200
2,5	265	5	2,95	290
2,5	175	7	2,3	65
2,5	85	3	1,65	200
4	130	7	2,95	110
1,75	130	3	3,6	155
1	130	7	2,3	155
1,75	130	5	2,95	110
3,25	130	7	1	155
1	175	7	2,95	155
1,75	355	7	2,3	290
3,25	310	7	2,3	110

Figura 49b – Configurações geradas pelo *SimLab*

Upar	CTpar	ASpar	Ucob	Ctcob
4	40	5	1	110
2,5	265	3	2,95	110
2,5	130	3	1,65	65
2,5	85	3	2,3	200
3,25	220	3	3,6	110
3,25	130	3	1	110
1,75	130	7	1,65	110
2,5	220	3	2,95	65
2,5	220	3	2,3	155
2,5	40	5	2,95	20
2,5	265	5	2,3	110
3,25	220	7	3,6	65
1	130	7	2,3	200
4,75	40	5	2,95	65
3,25	175	5	1,65	155
2,5	85	5	2,3	65
3,25	85	3	2,95	65
1	175	3	2,95	20
2,5	130	5	2,3	65
3,25	85	7	1,65	155
3,25	130	3	1,65	110
1,75	40	3	1	335
2,5	175	5	1,65	245
1,75	40	5	1,65	155
1	175	7	1	110
2,5	175	5	2,3	110
2,5	85	5	1	110
4	130	3	2,95	155
4	175	5	2,3	110
1,75	85	5	2,95	20
2,5	85	3	2,3	65
4	85	7	1	155
1,75	85	3	3,6	20
3,25	175	7	2,95	155
2,5	85	7	2,3	20
2,5	175	5	1	155
4	220	5	2,3	65
2,5	175	7	2,95	65
1	85	7	1,65	110
2,5	85	5	1,65	110
2,5	130	5	2,3	155
2,5	85	7	2,3	200
3,25	40	3	1	65
4	220	7	2,95	155
4,75	130	3	2,3	110
2,5	310	5	2,95	200
2,5	85	7	1,65	245
1,75	40	5	2,3	110
1,75	130	5	2,3	155
4,75	130	3	4,25	65

Figura 49c – Configurações geradas pelo *SimLab*

Upar	CTpar	ASpar	Ucob	Ctcob
1,75	265	7	3,6	110
3,25	175	5	3,6	110
3,25	85	3	2,95	110
1,75	130	7	2,3	110
2,5	130	5	2,95	110
2,5	85	3	1,65	20
1	85	7	2,95	200
1,75	130	7	2,95	65
1,75	175	3	2,3	245
3,25	130	7	2,95	110
2,5	85	7	2,3	110
1,75	40	7	2,95	110
1,75	85	3	2,3	20
1,75	265	7	2,3	200
2,5	85	5	4,25	155
3,25	175	7	2,3	245
2,5	220	7	2,3	110
3,25	130	5	2,95	110
2,5	130	5	1,65	65
4	130	3	1,65	110
2,5	130	7	2,95	110
2,5	220	5	2,3	20
2,5	130	5	2,3	155
2,5	130	7	3,6	110
2,5	175	7	1,65	200
2,5	220	5	3,6	155
3,25	220	5	4,25	110
3,25	130	7	2,3	245
1,75	130	3	4,25	110
2,5	40	7	2,3	65
2,5	220	7	1,65	110
3,25	130	7	2,95	200
1,75	85	5	2,95	110
4	85	7	1,65	65
2,5	220	3	2,3	65
3,25	85	3	2,95	20
3,25	40	5	2,3	200
3,25	130	3	2,95	200
2,5	85	7	1,65	200
2,5	130	3	2,3	110
4	175	7	2,3	20
2,5	85	3	1,65	155
2,5	265	5	1,65	110
2,5	130	5	2,3	110
4,75	130	7	1,65	20
4	85	3	1,65	155
4,75	220	3	2,3	155
2,5	265	5	1,65	335
1,75	130	5	2,95	110
2,5	175	5	2,95	155

Figura 49d – Configurações geradas pelo *SimLab*

Upar	CTpar	ASpar	Ucob	Ctcob
3,25	175	3	2,3	110
3,25	175	5	1	110
1,75	175	5	1,65	155
2,5	85	7	2,95	110
1,75	85	3	2,3	200
4	130	7	2,3	110
2,5	40	5	1	110
1,75	175	5	1,65	110
4	130	7	2,3	110
3,25	40	7	2,3	65
1,75	130	5	2,3	110
4	130	5	2,3	200
2,5	175	5	2,95	65
2,5	175	7	1	155
1,75	85	3	1,65	245
3,25	85	7	1,65	20
1,75	175	3	2,3	65
2,5	130	5	1,65	20
4	220	5	2,95	245
1,75	220	3	3,6	20
3,25	175	5	2,3	155
1,75	220	5	1,65	245
2,5	220	5	2,3	110
4	130	5	2,3	65
4,75	130	7	2,95	245
1	175	3	2,3	65
1,75	265	5	2,3	155
4	85	5	2,3	245
1	265	5	2,3	65
1	265	5	2,3	245
2,5	175	5	2,95	110
2,5	130	3	2,95	110
1	175	3	2,95	110
1,75	130	5	3,6	65
2,5	85	7	1,65	155
1,75	175	3	1,65	65
1,75	85	7	3,6	110
2,5	85	7	2,95	155
2,5	175	3	2,3	245
4	265	5	2,95	200
1,75	355	5	3,6	65
1	175	5	2,3	20
1,75	175	3	1	20
1	85	7	2,3	155
3,25	130	3	1,65	20
2,5	175	5	2,95	110
2,5	130	3	1	200
1,75	175	5	4,25	20
3,25	175	7	2,3	20
2,5	265	5	3,6	110

Figura 49e – Configurações geradas pelo *SimLab*

Upar	CTpar	ASpar	Ucob	Ctcob
4	265	7	4,25	245
1	85	3	2,3	110
2,5	220	7	1,65	110
3,25	130	3	1,65	110
1	130	5	4,25	65
1,75	220	5	1	65
2,5	130	7	2,3	155
4,75	175	3	4,25	155
1	175	3	1	110
1	130	5	1,65	155
4,75	85	5	1,65	245
1,75	40	3	1	20
3,25	310	3	2,3	245
4	130	3	1	110
4	130	3	2,95	110
2,5	85	5	2,3	110
3,25	175	5	1,65	110
3,25	310	5	2,3	200
2,5	85	3	1,65	155
4,75	175	7	1,65	65
3,25	130	5	3,6	155
1,75	85	3	3,6	110
3,25	40	7	1,65	20
2,5	130	7	2,95	155
4,75	130	7	1,65	200
4	85	3	2,3	155
3,25	175	3	2,95	65
1	40	7	2,3	155
3,25	85	5	3,6	155
2,5	85	5	3,6	110
4	85	7	3,6	110
2,5	220	3	1	200
2,5	130	5	2,3	65
1,75	85	3	2,3	290
2,5	175	3	1,65	155
2,5	40	3	2,95	290
1	175	7	1	65
2,5	130	7	4,25	200
1,75	130	3	2,95	65
2,5	265	3	2,3	245
2,5	85	5	1,65	200
1,75	220	5	2,3	200
3,25	355	3	1,65	110
3,25	130	3	2,3	65
2,5	130	7	1	290
2,5	40	7	2,95	155
1	130	3	2,3	110
2,5	130	5	2,3	65
2,5	175	7	2,3	110
4	175	7	3,6	20
4,75	130	7	1,65	65

Figura 49f – Configurações geradas pelo *SimLab*