

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS  
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO  
NÍVEL MESTRADO**

**GIOVANI BISOLO**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS: estudo  
comparativo entre métodos de avaliação para a Zona Bioclimática 2**

**SÃO LEOPOLDO**

**2018**

Giovani Bisolo

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS: estudo comparativo entre métodos de avaliação para a Zona Bioclimática 2**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Maria Fernanda Oliveira .

São Leopoldo

2018

B622a Bisolo, Giovanni.

Análise do desempenho térmico em edifícios residenciais : estudo comparativo entre métodos de avaliação para a zona bioclimática 2 / Giovanni Bisolo. – 2018.

88 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, 2018.

"Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Maria Fernanda Oliveira."

1. Desempenho térmico. 2. Energy plus. 3. Norma de desempenho. I. Título.

CDU 72

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por ter proporcionado o dom da vida, por me dar forças em seguir em frente, lutar, crescer pessoalmente e profissionalmente.

Ao meu pai Altair, minha mãe Maria Rosa, por todo apoio nessa etapa de minha vida.

A minha irmã, Giovanna, pelo acolhimento na cidade de Chapecó, nas idas e vindas viagens do mestrado.

A minha namorada, Juliana Thomé, por toda a paciência e incentivo nos momentos que desanimei.

Ao meu amigo Ertal, pela indicação do mestrado.

A minha amiga, Nayara de Barros, pelas viagens para São Leopoldo, troca de conhecimento, experiência e apoio durante o mestrado.

A tia Leticia, pelo acolhimento em sua casa nos dias de cursos na cidade de Florianópolis.

Aos demais familiares e amigos, que direta ou indiretamente deram força de alguma maneira.

Aos colegas Yuri Piffer, Mateus Bavaresco e Josiane Reschke Pires, pela ajuda e troca de experiências com as simulações no software EnergyPlus.

A todos os professores e amigos que conheci no mestrado, pelas experiências e conhecimentos adquiridos.

Aos professores e colegas da Unipar, pela paciência, ajuda e apoio para encarar esse momento.

A minha orientadora Dra. Maria Fernanda de Oliveira, por todo apoio, paciência, carinho e incentivo. Obrigado por ter acreditado e dado forças para que pudesse seguir em frente.

Aos professores, Dr. Daniel Reis Medeiros, Dr. Marco Aurélio Stumpf González, Dr, Fernando S. Westphal e Dr Bernardo Tutikian, por participarem das bancas, contribuindo com conhecimento e sugestões.

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1: Critério de Avaliação de desempenho térmico para condições de verão.....   | 41 |
| Tabela 2: Critério de Avaliação de desempenho térmico para condições de inverno..... | 41 |
| Tabela 3: Propriedades termofísicas dos materiais.....                               | 51 |
| Tabela 4: Condições Climáticas para a cidade de Santa Maria-RS .....                 | 52 |
| Tabela 5: Características construtivas .....   | 52 |
| Tabela 6: Identificação dos parâmetros simulados .....                               | 53 |
| Tabela 7: Classificação do desempenho térmico: BCON1.....                            | 55 |
| Tabela 8: Classificação do desempenho térmico: BCON2.....                            | 56 |
| Tabela 9: Classificação do desempenho térmico: BCON3.....                            | 59 |
| Tabela 10: Classificação do desempenho térmico: BCON4 .....                          | 59 |
| Tabela 11: Classificação do desempenho térmico: BCON5.....                           | 62 |
| Tabela 12: Classificação do desempenho térmico: BCON6.....                           | 62 |
| Tabela 13: Classificação do desempenho térmico: BCON7.....                           | 65 |
| Tabela 14: Classificação do desempenho térmico: BCON8.....                           | 65 |
| Tabela 15: Classificação do desempenho térmico: BCER1.....                           | 68 |
| Tabela 16: Classificação do desempenho térmico: BCER2.....                           | 68 |
| Tabela 17: Classificação do desempenho térmico: BCER3.....                           | 71 |
| Tabela 18: Classificação do desempenho térmico: BCER4.....                           | 71 |
| Tabela 19: Classificação do desempenho térmico: BCER5.....                           | 74 |
| Tabela 20: Classificação do desempenho térmico: BCER6.....                           | 74 |
| Tabela 21: Classificação do desempenho térmico: BCER7.....                           | 77 |
| Tabela 22: Classificação do desempenho térmico: BCER8.....                           | 78 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Zoneamento bioclimático brasileiro.....  | 27 |
| Figura 2: Cartas de Givoni adaptada ao Brasil.....   | 29 |
| Figura 3: Zona bioclimática 2 e carta bioclimática apresentando as normas climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Ponta Grossa, PR..... | 30 |
| Figura 4: Exemplos de paredes adequados às diferentes zonas bioclimáticas brasileira.....  | 31 |
| Figura 5: Exemplos de coberturas adequados às diferentes zonas bioclimáticas brasileiras.....  | 31 |
| Figura 6: Planta do Edifício .....   | 50 |
| Figura 7: Níveis de graus-hora: BCON1.....   | 57 |
| Figura 8: Níveis de graus-hora: BCON2.....   | 58 |
| Figura 9: Níveis de graus-hora: BCON3.....   | 60 |
| Figura 10: Níveis de graus-hora: BCON4.....  | 61 |
| Figura 11: Níveis de graus-hora: BCON5.....  | 63 |
| Figura 12: Níveis de graus-hora: BCON6.....  | 64 |
| Figura 13: Níveis de graus-hora: BCON7.....  | 66 |
| Figura 14: Níveis de graus-hora: BCON8.....  | 67 |
| Figura 15: Níveis de graus-hora: BCER1.....  | 69 |
| Figura 16: Níveis de graus-hora: BCER2.....  | 70 |
| Figura 17: Níveis de graus-hora: BCER3.....  | 72 |
| Figura 18: Níveis de graus-hora: BCER4.....  | 73 |
| Figura 19: Níveis de graus-hora: BCER5.....  | 76 |
| Figura 20: Níveis de graus-hora: BCER6.....  | 76 |
| Figura 21: Níveis de graus-hora: BCER7.....  | 79 |
| Figura 22: Níveis de graus-hora: BCER8.....  | 79 |

## **LISTA DE SIGLAS**

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR: Norma Brasileira

Isso: Organização Internacional de Normatização

PROCEL: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

GHR: Graus-hora de resfriamento

GHA: Graus-hora de aquecimento

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>9</b>  |
| 1.1 TEMA E DELIMITAÇÃO DO TEMA .....                                       | 12        |
| 1.2 OBJETIVOS .....  | 13        |
| <b>1.2.1 Objetivo Geral</b> .....  | <b>13</b> |
| <b>1.2.2 Objetivos Específicos</b> .....                                   | <b>13</b> |
| 1.3 JUSTIFICATIVA .....  | 13        |
| <b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....                                       | <b>15</b> |
| 2.1 O CLIMA E SUA INFLUÊNCIA NAS EDIFICAÇÕES .....                         | 15        |
| 2.2 CONFORTO TÉRMICO .....   | 20        |
| 2.3 ARQUITETURA VERNACULAR E ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA .....                | 23        |
| 2.4 ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS .....  | 26        |
| 2.5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....  | 33        |
| 2.6 DESEMPENHO TÉRMICO .....   | 35        |
| <b>2.6.1 NORMATIZAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO NO BRASIL</b> .....            | <b>38</b> |
| <b>2.6.2 Métodos de determinação do Desempenho Térmico</b> .....           | <b>40</b> |
| <b>2.6.3 Análise através dos graus-hora</b> .....                          | <b>43</b> |
| <b>2.6.4 Considerações sobre a NBR 15575 para desempenho térmico</b> ..... | <b>44</b> |
| <b>3 MÉTODO</b> .....  | <b>49</b> |
| 3.1 OBJETO DE ESTUDO .....   | 49        |
| <b>3.2 PARÂMETROS PARA SIMULAÇÃO</b> .....                                 | <b>50</b> |
| <b>4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....                     | <b>55</b> |
| 4.1 SISTEMA CONSTRUTIVO BCON1 E BCON2 .....                                | 55        |
| <b>4.1.1 Desempenho térmico pelo método da NBR 15575</b> .....             | <b>55</b> |
| <b>4.1.2 Desempenho térmico pelo método graus-hora</b> .....               | <b>57</b> |
| 4.2 SISTEMA CONSTRUTIVO BCON3 E BCONC4 .....                               | 58        |
| <b>4.2.1 Desempenho térmico pelo método da NBR 15575</b> .....             | <b>58</b> |
| <b>4.2.2 Desempenho térmico pelo método graus-hora</b> .....               | <b>60</b> |
| 4.3 SISTEMA CONSTRUTIVO BCON5 E BCON6 .....                                | 61        |
| <b>4.3.1 Desempenho térmico pelo método da NBR 15575</b> .....             | <b>61</b> |
| <b>4.3.2 Desempenho térmico pelo método graus-hora</b> .....               | <b>63</b> |
| 4.4 SISTEMA CONSTRUTIVO BCON7 E BCON8 .....                                | 64        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>4.4.1 Desempenho térmico pelo método da NBR 15575</b> ..... | <b>64</b> |
| <b>4.4.2 Desempenho térmico pelo método graus-hora</b> .....   | <b>66</b> |
| <b>4.5 SISTEMA CONSTRUTIVO BCER1 E BCER2</b> .....             | <b>67</b> |
| <b>4.5.1 Desempenho térmico pelo método da NBR 15575</b> ..... | <b>67</b> |
| <b>4.5.2 Desempenho térmico pelo método graus-hora</b> .....   | <b>69</b> |
| <b>4.6 SISTEMA CONSTRUTIVO BCER3 E BCER4</b> .....             | <b>70</b> |
| <b>4.6.1 Desempenho térmico pelo método da NBR 15575</b> ..... | <b>70</b> |
| <b>4.6.2 Desempenho térmico pelo método graus-hora</b> .....   | <b>72</b> |
| <b>4.7 SISTEMA CONSTRUTIVO BCER5 E BCER6</b> .....             | <b>73</b> |
| <b>4.7.1 Desempenho térmico pelo método da NBR 15575</b> ..... | <b>73</b> |
| <b>4.7.2 Desempenho térmico pelo método graus-hora</b> .....   | <b>75</b> |
| <b>4.8 SISTEMA CONSTRUTIVO BCER7 E BCER8</b> .....             | <b>76</b> |
| <b>4.8.1 Desempenho térmico pelo método da NBR 15575</b> ..... | <b>77</b> |
| <b>4.8.2 Desempenho térmico pelo método graus-hora</b> .....   | <b>78</b> |
| <b>5 CONCLUSÃO</b> .....                                       | <b>80</b> |
| <b>REFERÊNCIAS</b> .....                                       | <b>82</b> |

## RESUMO

Este estudo tem como finalidade avaliar por simulação computacional a influência das características construtivas e da orientação no seu desempenho térmico de uma unidade habitacional na Zona Bioclimática 2, pela Norma NBR 15575 e pelo método de graus hora, com o intuito de compreender como essas diretrizes tratam o desempenho da edificação. Para isso, foi pesquisado dados sobre a caracterização climática e as estratégias construtivas para a Zona Bioclimática 2. O objeto tema deste estudo foi um projeto de edifício residencial com quatro pavimentos, com disposição que permitiu avaliar tanto o desempenho térmico dos dormitórios voltados para todas as fachadas, quanto a avaliação dos cômodos com abertura para oeste e sul, conforme exigência da NBR 15575. Para a comparação do método da NBR foram escolhidos 4 dias de verão, e 4 dias de inverno. Já para comparação de desempenho térmico pelo método de graus-hora foram utilizadas todas as horas do ano. Para esse estudo, a temperatura base para o cálculo de graus-hora de resfriamento foi de 26<sup>a</sup>C e a temperatura base para o cálculo de graus-hora de aquecimento foi de 18<sup>a</sup>C. Percebe-se que a temperatura no interior das unidades habitacionais foi melhor às do ambiente externo, conforme critérios da NBR 15575-1, para todos os ambientes de permanência prolongada. Sendo que, para a condição de verão foi considerado o valor máximo diário da temperatura do ar interior e para a condição de inverno, foi considerado o valor mínimo diário da temperatura do ar interior, ambos para ambientes de permanência prolongada (salas e dormitórios). Os resultados das simulações avaliados pelos critérios da NBR 15575, indicam que, as vedações verticais com blocos de concreto ou blocos cerâmicos, podem ter níveis mínimos, intermediários e superiores, ou até mesmo, não atender a norma, dependendo da escolha do dia típico para a análise. Os resultados simulados com carga térmica pelo método graus-hora, demonstram que o desempenho térmico piora no verão e melhora no inverno, isso demonstra que as edificações habitadas e com o uso de equipamentos, o desempenho térmico pode ser influenciado. Ao final o estudo pode concluir que a simplificação do método da norma pode alterar a classificação de desempenho térmico do edifício quando indica somente uma renovação de ar por hora ou quando não permite a inclusão de carga térmica, assim como a simplificação do tempo de simulação para apenas um dia de inverno e um dia de verão, pois não há um parâmetro de escolha para as cidades que não estão listadas na norma. Assim sendo, entende-se que a análise do desempenho térmico de um edifício precisa ser elaborado para o ano todo.

**Palavras chave:** Desempenho Térmico, Energy Plus, Norma de Desempenho.

## ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate by computational simulation the influence of the constructive characteristics and the orientation in its thermal performance of a housing unit in the Bioclimatic Zone 2, by the norm NBR 15575 and the hour degrees method, in order to understand how these guidelines deal the performance of the building. For this, data on the climatic characterization and the constructive strategies for the Bioclimatic Zone 2 were investigated. The object of this study was a residential building project with four floors, with disposition that allowed to evaluate both the thermal performance of the dormitories facing all the as regards the evaluation of the rooms with opening to the west and south, as required by NBR 15575. For the comparison of the NBR method, 4 days of summer and 4 days of winter were chosen. For comparison of thermal performance by the degree-hour method, all the hours of the year were used. For this study, the base temperature for calculating degree-hours of cooling was 26 ° C and the base temperature for calculating degree-hours of heating was 18 ° C. It can be noticed that the temperature inside the dwelling units was better than those of the external environment, according to the criteria of NBR 15575-1, for all the environments of prolonged residence. For the summer condition, the daily maximum value of the indoor air temperature and for the winter condition were considered, the minimum daily value of the indoor air temperature was considered, both for long stay environments (rooms and dormitories). The results of the simulations evaluated by the criteria of NBR 15575 indicate that vertical fences with concrete blocks or ceramic blocks may have minimum, intermediate and higher levels, or even do not meet the standard, depending on the choice of the typical day for the analysis. The simulated results with thermal load by the degree-hour method, show that thermal performance worsens in summer and winter improves, this shows that inhabited buildings and with the use of equipment, thermal performance can be influenced. At the end of the study, it can be concluded that the simplification of the method of the standard can alter the classification of thermal performance of the building when it indicates only a renewal of air per hour or when it does not allow the inclusion of thermal load, as well as the simplification of the simulation time for only a winter day and a summer day, as there is no parameter of choice for cities that are not listed in the standard. Therefore, it is understood that the analysis of the thermal performance of a building must be elaborated for the whole year.

**Keywords:** Thermal Performance, Energy Plus, Performance Standard.

## 1 INTRODUÇÃO

O desempenho térmico de edificações é função das características dos materiais que compõem seus elementos e reflete no conforto térmico dos usuários. O apropriado desempenho térmico garante “condições adequadas para o sono e atividades normais em uma habitação, contribuindo ainda para a economia de energia” (LIMA, 2014, p. 16).

O desempenho térmico de edificações é um fator importante em habitações, principalmente naquelas destinadas a pessoas de baixa renda. Uma edificação projetada para o clima no qual está inserida torna-se confortável, além de economizar energia. A avaliação do desempenho térmico de uma edificação engloba a resposta global do projeto arquitetônico proposto em relação às trocas térmicas entre o ambiente construído e o ambiente externo, onde a caracterização das condições climáticas locais é uma das etapas mais importantes. As condições de exposição da edificação ao clima são caracterizadas pelos valores locais horários da radiação solar, da temperatura e umidade relativa do ar e também pela velocidade predominante do vento. Nos métodos de avaliação do desempenho térmico, os dados climáticos são caracterizados pelos dias típicos de projeto, para os períodos de inverno e verão. Esses dias são determinados em função de sua frequência de ocorrência e representam níveis de exigência na avaliação (SIQUEIRA, 2005).

Os níveis de desempenho térmico de edificações são diretamente influenciados pelos materiais constituintes do envelopamento do edifício (paredes externas e coberturas). “Uma boa forma de melhorar o desempenho de uma edificação é através do invólucro e seu isolamento térmico correto conforme o clima estudado (LIMA, 2014).

Desde os primórdios da humanidade o clima local exerce influência direta nas atividades cotidianas. Nóbrega e Lemos (2011) destacam a influência do clima sobre a humanidade, assim como a humanidade também tem uma influência bem relevante na dinâmica climática através de suas diversas atividades. Pois, se a sociedade influi no clima em escala global isso ainda é alvo de muita discussão entre os diversos cientistas, porém, parece ser unânime que o homem pode ser capaz de alterar o clima em escala local (NÓBREGA; LEMOS, 2011).

O clima predominante no Brasil é o tropical. A influência da continentalidade, maritimidade, latitude, relevo e massas de ar faz com que, no Brasil, existam vários

subtipos de clima tropical (continental, altitude e semi-árido), o subtropical e o equatorial. Mesmo dentro de uma mesma região geográfica do país, há uma diversidade climática (SIQUEIRA, 2005).

Para uma padronização mais apropriada do clima brasileiro, sobre à análise térmica dos ambientes, existe um zoneamento bioclimático para o território nacional. Zoneamento esse que se divide em oito zonas em relação aos tipos de clima existentes (NÓBREGA; LEMOS, 2011).

Para se avaliar o desempenho térmico é preciso identificar a variação da temperatura, do ar, a umidade relativa do ar, a direção e a velocidade do vento e também a radiação solar, no decorrer das estações e em relação aos seus valores horários. Valores esses que são necessários para a avaliação do desempenho térmico de edificações, agrupados nos chamados dias típicos de projeto, para os períodos de verão e inverno (SIQUEIRA, 2005).

Siqueira (2014) acrescenta que para a obtenção do desempenho térmico adequado às necessidades dos usuários de um edifício, deve-se levar em consideração, durante a etapa de projeto, diversos aspectos que vão desde variáveis técnico-construtivas a fatores de ordem climática onde se insere o edifício de análise. A combinação e a aplicação correta destas variáveis resultarão na condição de conforto térmico adequada no interior da edificação.

Assim sendo, destaca-se que um fator imprescindível para avaliar o desempenho térmico de edificações é a influência das condições climáticas.

Nesse contexto o tema dessa dissertação se delimita na análise do desempenho térmico em edifícios através de um estudo comparativo entre métodos de avaliação para a Zona Bioclimática 2.

## 1.1 TEMA E DELIMITAÇÃO DO TEMA

O presente trabalho se insere na temática do desempenho térmico com enfoque nas estratégias construtivas e recomendações bioclimáticas avaliadas a partir da simulação computacional e da Norma de Desempenho NBR 15575.

Desta forma, o tema proposto é o desempenho térmico de edificações habitacionais analisando-se a variação nos sistemas de vedações verticais externas compostos por alvenarias comumente encontradas na construção civil brasileira por

meio de simulação computacional recomendada pela NBR 15575 e pelo método de graus-horas.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar por simulação computacional a influência das características construtivas e da orientação no seu desempenho térmico de uma unidade habitacional na Zona Bioclimática 2, pela Norma NBR 15575 e pelo método de graus hora, com o intuito de compreender como essas diretrizes tratam o desempenho da edificação.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Pesquisar como se dá a caracterização climática e as estratégias construtivas para a Zona Bioclimática 2;
- b) Modelar a unidade habitacional de estudo deste trabalho com a utilização do software OpenStudio e do software Energyplus para simular diferentes características construtivas e orientações adotadas;
- c) Expor como a Norma de Desempenho NBR 15575 trata o desempenho térmico dos edifícios;

## 1.3 JUSTIFICATIVA

A caracterização do clima e seus dados bioclimáticos são importantes para o planejamento de uma edificação, com isso é essencial analisar o estudo do clima e as estratégias construtivas recomendadas, para verificar se a mesma atende ao conforto ambiental dos usuários e o desempenho energético da mesma. O arquiteto tem um papel fundamental, é o profissional diretamente responsável pelo projeto e materialização da edificação.

Acredita-se que na atualidade a arquitetura também precisa ser entendida do ponto de vista da eficiência energética, sendo este, um atributo essencial a edificação. Além disso o conforto térmico, visual e acústico para os usuários, com consumo de energia menor, torna o edifício mais eficiente quando proporciona as mesmas condições ambientais com um menor consumo de energia.

A necessidade de melhorar a qualidade de vida das pessoas, economizar energia, otimizar o desempenho térmico das construções e possibilitar o conforto térmico está causando uma maior ocorrência de estudos usando programas de simulações computacionais para cargas térmicas e energéticas. Junto a isso, alguns programas são desenvolvidos ou estão em desenvolvimento, como exemplo do programa EnergyPlus, criado a partir dos programas BLAST e DOE-2 e distribuído pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos.

Tendo como relevâncias os fatores sociais, econômicos e técnico-profissional, o trabalho procurará entender as diferenças entre sistemas construtivos, as técnicas construtivas e o projeto estão adequadas a região, atendendo ao homem e suas necessidades de conforto térmico em ambientes residenciais e se o desempenho térmico do edifício está de acordo com o posicionamento da norma de desempenho atualmente vigente e o método graus-hora.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os principais conceitos e informações pertinentes sobre: Influência bioclimática nas edificações; conforto térmico; desempenho térmico, simulação térmica de edifícios e normatização de desempenho térmico no Brasil.

### 2.1 O CLIMA E SUA INFLUÊNCIA NAS EDIFICAÇÕES

O estudo do clima desde o início dos tempos é importante para a humanidade, pois tem forte interferência nas atividades antrópicas como destacam Bento e Pereira (2016) e estão relacionadas tanto à economia quanto às relações sociais, contribuindo nas atividades agrícolas, propiciando o desenvolvimento das civilizações antigas. Ribeiro (2008) descreve que o clima de uma região influencia diretamente sobre as atividades humanas ali estabelecidas.

Nóbrega e Lemos (2011) reiteram que o clima exerce influência sobre o homem, assim como o homem também tem uma influência bem relevante na dinâmica climática através de suas diversas atividades. Pois, afirmar que a sociedade exerce influência no clima em escala global ainda é tema de muita discussão entre os cientistas, contudo, parece ser universal que o homem pode ser capaz de alterar o clima em escala local.

O clima é, desde a Antiguidade, um dos elementos de maior importância para o projeto e construção da habitação. Pode ser definido como a “configuração característica e constante do tempo de um lugar, em meio às variações. Os fatores climáticos globais, os fatores climáticos locais e os elementos climáticos são aqueles que condicionam e definem o clima” (BAGNATI, 2013, p.21).

O clima é visto como uma sucessão habitual dos tipos de tempo numa determinada região da terra. As massas de ar são os elementos mais relevantes para explicar a mudança no comportamento do estado atmosférico (RIBEIRO, 2008).

O ar atmosférico está em movimento constante, tanto na forma de massa de ar ou de vento. Conforme as estações, as massas podem avançar ou recuar para o território brasileiro. Assim sendo, se uma massa de ar tiver características

particulares de temperatura e umidade, esta torna-se responsável pelo tempo de uma área (RIBEIRO, 2008).

Quando o objeto de estudo é o desempenho térmico, precisa-se levar em consideração de que ele é resultado de uma conexão de diversos fatores, dentre eles as variáveis climáticas (SOUSA, 2014). Trata-se, ainda segundo este autor, do estudo do clima e do local do projeto a fim de satisfazer às necessidades de conforto. Os fatores climáticos influenciarão no espaço arquitetônico construído, visto que a ação simultânea das variáveis climáticas atua de forma intrínseca na natureza (SOUSA, 2014).

O clima predominante no Brasil é o tropical. A influência da continentalidade, maritimidade, latitude, relevo e massas de ar faz com que, no Brasil, tenham diferentes subtipos de clima tropical (continental, altitude e semi-árido), o subtropical e o equatorial. Até dentro de uma mesma região geográfica do país, há uma diversidade climática. (SIQUEIRA, 2005).

Entretanto, a região Sul do Brasil, tem um clima diferenciado, que pertence à zona térmica temperada, caracterizada por elevada variação sazonal de temperaturas e grande amplitude térmica anual. Nesta porção do território é preciso ter uma preocupação maior em relação ao conforto térmico no interior das edificações, tanto no período do verão, quanto no inverno (LINCZUK, 2015).

O clima pode ser considerado em três escalas distintas, o macroclima, o mesoclima e o microclima. Esta divisão busca melhorar o entendimento da atuação do mesmo no ambiente construído.

As variáveis do macroclima delineiam as propriedades gerais de uma região em termos de sol, nuvens, temperatura, ventos, umidade e precipitações. O mesoclima e o microclima são escalas mais próximas da edificação. É no mesoclima que são analisadas variáveis como vegetação, topografia, tipo de solo e a presença de obstáculos naturais ou artificiais que irão influenciar nas condições locais de clima. Já o microclima junta as variáveis específicas de determinado empreendimento, podendo ser modificado pelo projetista (SOUSA, 2014).

Para as diversas zonas climáticas do planeta, encontram-se respostas arquitetônicas distintas. Algumas vezes as respostas vão de encontro a uma arquitetura vernacular, em que os materiais e técnicas construtivas próprias da região são usadas para propiciar melhor conforto térmico nas construções (RIBEIRO, 2008).

Para estudar o conforto térmico humano é necessário que antecipadamente se faça um estudo climático. Particularidades do clima local devem ser avaliadas, junto com a avaliação da sua dinâmica e os elementos climáticos, para após isso, examinar os fatores que provocam influências negativas e positivas no conforto térmico humano. (RIBEIRO, 2008).

Bento e Pereira (2016, p.102) ressaltam que os estados atmosféricos relacionam-se com os fatores climáticos, pois, os fatores intervêm nos elementos climáticos (radiação solar, umidade, temperatura, pressão do ar, direção e velocidade dos ventos).

Ribeiro (2008) descreve o clima de uma região levando em consideração as médias aritméticas de temperatura, pluviosidade, entre outros, que são registradas em um certo local. Contudo, empregar modelos matemáticos nem sempre é suficiente para se avaliar um fenômeno variável como o clima.

Para Ribeiro (2008, p.16) o ar atmosférico está em constante movimento, na forma de massa de ar ou de vento. Dependendo das estações do ano, as massas podem avançar ou recuar para o território brasileiro.

Os autores Barbosa e Lima (2014) veem o clima como resultado de diversos elementos atmosféricos (sol, latitude, ventos, massas de terra e água, topografia, vegetação, solo e outros) que ocorrem na atmosfera da terra, é qualificado de acordo com alguns elementos: temperatura do ar; umidade do ar; movimentos das massas de ar e precipitação.

O projeto arquitetônico precisa iniciar-se pela apreciação do clima local onde a edificação será construída (FERNANDES). Ou seja, segundo este autor, a arquitetura climaticamente apropriada é aquela que aproveita de forma mais apropriada os elementos favoráveis para o conforto humano e permitindo o uso racional dos recursos naturais e energéticos (FERNANDES, 2009).

Givoni (1992) considera o clima pelo padrão das variações e combinações entre variados fatores. Segundo este autor, é preciso analisar a relação entre o ambiente interno da construção e os fatores climáticos.

O ar atmosférico está em constante movimento, na forma de massa de ar ou de vento. Dependendo da estação do ano as massas avançam para o território brasileiro ou dele recuam. Se uma massa de ar possui características particulares de temperatura e umidade, torna-se responsável pelo tempo de uma área. Seus avanços ou recuos é que vão determinar o clima, pois a dinâmica das massas de ar

influencia diretamente nos elementos do clima, como temperatura, umidade, pluviosidade, regime de ventos e pressão (RIBEIRO).

Assim sendo, Ribeiro (2008) também destaca que na mesma região, em que determinadas massas de ar atuam, pode haver duas localidades próximas, nas quais os elementos do clima têm metodologias diversas. Isso se dá porque as propriedades fisiográficas de cada local, como latitude, altitude, relevo e proximidades a grandes massas de água. Estas propriedades atuam como fatores de transformação das condições iniciais do clima, e interferem nos dados de temperatura, umidade, pressão, precipitação e regime de ventos (RIBEIRO, 2008).

Barbosa e Lima (2014) destacam que o clima regional recebe influência dos efeitos modificantes do relevo local e pelas alterações introduzidas por edifícios ou grupo de edifícios. “A escala macroclimática (regional) – quando modificada pelos fatores orográficos a uma escala meso (que inclui o urbano) – pode definir o clima do entorno mais próximo” (BARBOSA; LIMA, 2014, p.2).

Os fatores climáticos se dividem em: radiação solar, latitude, longitude, altitude, ventos, massas de terra e água, topografia, vegetação, superfície do solo, entre outros. Já os elementos climáticos são: temperatura do ar, umidade do ar, movimentos das massas de ar e precipitações.

Para Lamberts et al., (2014) é importante saber a distinção entre tempo e clima. O tempo pode ser analisado na alteração dia a dia das condições atmosféricas, já o clima é a condição média do tempo em uma determinada região, com avaliações em longos períodos de tempo.

O clima afeta distintos aspectos das atividades humanas e pode ser avaliado tanto como um fator de risco como uma solução. A variabilidade do clima e as variações a longo prazo influenciam a disponibilidade de recursos naturais e nas sociedades humanas. Assim sendo, o clima pode ser visto como um dos mais respeitáveis recursos naturais, que, se bem entendido e adequadamente conduzido, poderá colaborar para o desenvolvimento sustentável (SOUZA; NERY, 2012).

Fernandes (2009), também em pesquisa sobre o clima, observa que o estudo do clima urbano se dá a partir da verificação da influência dessas alterações que a urbanização provoca no ambiente natural e, por sua vez, nas características originais do clima, a partir de análises comparativas entre o ambiente urbano e rural.

Em estudo sobre a interferência do clima na forma como a cidade é planejada, Santos e Pimentel (2012) realizaram uma revisão de literatura e os

resultados puderam concluir que a arborização, estrutura e arranjo espacial das residências e bairro, assim como certos costumes e hábitos das pessoas, consoante às características locais e de clima, influencia de forma significativa na qualidade ambiental e de conforto térmico na cidade.

Como princípio básico, é preciso ser feito um estudo do clima da região e do local onde será construído qualquer objeto arquitetônico, pois as alterações climáticas intervêm no ambiente edificado (MASCARELLO, 2005).

Desde as primeiras civilizações as construções apresentavam a função essencial de proteção dos seus habitantes, como se fosse praticamente uma segunda pele dos sujeitos. O clima sempre foi fundamental na preparação das construções e devido à falta de estruturas de condicionamento artificial. Técnicas e materiais naturais eram largamente empregados como atenuadores do clima nos edifícios.

Antigamente, os romanos foram obrigados a adotar um estilo de vida e de arquitetura autossuficiente. Assim, em suas construções, reutilizavam a água, a distribuição dos ambientes acima dos banhos quentes, para aproveitar o calor solar e o calor que vinha dos próprios banho (LAMBERTS, 2014). Também faziam uso de cores claras para receber menos calor e escuras para sua absorção.

O clima urbano, assim como acontece no interior das construções influencia no conforto térmico do ser humano. Em espaços abertos, o conforto humano pode ser afetado por diversos parâmetros, entre eles os climáticos, as atividades humanas e o nível de roupas usadas (NÓBREGA; LEMOS, 2011).

Desta forma, para as diferentes zonas climáticas do planeta, encontram-se respostas arquitetônicas também diversas. Algumas vezes estas respostas vão de encontro a uma arquitetura vernacular, em que os materiais e técnicas construtivas peculiares do local são empregados de forma a provocar melhor conforto térmico nas construções (RIBEIRO, 2008).

Um fator que cooperou bastante para o abandono das questões climáticas na arquitetura foi a vasta disponibilização de ar condicionado. A probabilidade de aproveitar tais equipamentos deu aos projetistas a falsa ideia de que preocupações como clima não eram importantes, uma vez que poderiam climatizar o edifício artificialmente (SIQUEIRA et al., 2005).

A revolução industrial contribuiu para a mecanização de metodologias e materiais construtivos no desenvolvimento das cidades. Como em outros países, as

identidades construtivas típicas de cada região do Brasil deram lugar aos conceitos da arquitetura moderna e importação do estilo estrangeiro (RIBEIRO, 2008).

Os progressos tecnológicos entre o final do século XIX e início do século XX, levaram a acreditar que a solução dos problemas ambientais se daria especialmente com o uso de máquinas e equipamentos movidos a algum tipo de energia disponível e, desta forma, o condicionamento ambiental deixava de ser assunto dos arquitetos e sua solução dar-se-ia posteriormente, sob a responsabilidade de outros profissionais (MARAGNO, 2002).

O desempenho térmico de construções é um fator importante em edifícios. Uma edificação projetada para o clima no qual está inserida torna-se confortável, além de reduzir o consumo de energia. Opostamente, uma construção que não se adapta ao clima, seja porque é apenas uma cópia da construção de outro local ou porque houve falhas nas suas decisões projetuais, nem tem condições de assegurar conforto ou eficiência térmica. A avaliação do desempenho térmico de uma construção junta a resposta global do projeto arquitetônico proposto em relação às trocas térmicas entre o ambiente erguido e o ambiente externo, onde a caracterização das condições climáticas locais é uma das fases mais importantes (SIQUEIRA et al., 2005).

Segundo Pires et al., (2015) o estudo do desempenho e conforto térmico na fase de projeto é um importante indicador de sustentabilidade, prevenindo possíveis problemas em relação à saúde, qualidade de vida e consumo energético.

## 2.2 CONFORTO TÉRMICO

Estudos sobre o bioclimatismo e conforto térmico estão presentes na literatura brasileira desde os anos 1960, entretanto, durante muito tempo apresentou uma carência de legislação e normas específicas sobre os aspectos térmicos que garantisse um desempenho mínimo das construções. Esse vazio de informações influenciava na falta de eficácia da avaliação da qualidade das edificações construídas e não admitia um direcionamento adequado para novos projetos, o que poderia ser atenuado com a força legislativa de uma norma específica, já acontecendo em outros países, desde a década de 1970 (FERNANDES, 2009).

Também Calazans (2016), partindo da necessidade de definição dos parâmetros e índices de conforto térmico, destaca que diversas pesquisas climáticas

foram feitas buscando equacionar a satisfação humana diante das variáveis climáticas.

Foram muitos anos de pesquisas e discussões até em quem em 1998 a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT publicasse uma série de textos sobre o desempenho térmico e iluminação natural, que posteriormente foram essenciais para o processo de regulamentação de eficiência energética no Brasil. (FERNANDES, 2009).

A NBR 15220 (ABNT, /2005) conceitua o conforto térmico como “a satisfação psicofisiológica de um sujeito com as condições térmicas do ambiente”. Pode-se, então, asseverar que ele incide em um estado de determinado ambiente, em relação às características físicas, expressas no nível de satisfação do ser humano com o ambiente térmico circundante.

A entrada em vigor da NBR 15220 (ABNT, 2005) foi fundamental para a disseminação das pesquisas brasileiras relacionadas ao bioclimatismo, conforto térmico e eficiência energética, uma vez que forneceu dados e diretrizes específicas para os climas nacionais, permitindo exames mais confiáveis e adequados, assim como novos procedimentos de avaliação (FERNANDES, 2009).

Para Roriz (2001) a sensação humana de conforto térmico é bastante subjetiva e depende do efeito conjugado de inúmeros fatores. Dentre eles os principais estão em fatores ambientais, como temperatura de bulbo seco (TBS) e velocidade do ar, e fatores do sujeito, como a taxa metabólica ou atividade, o grau de isolamento da vestimenta e a aclimatação.

A preocupação com a sustentabilidade implica na busca pela otimização dos recursos naturais. Um dos aspectos necessários é adaptar as construções para o clima em que está localizado, diminuindo o gasto energético da construção e aumentando o conforto ambiental (PIRES, 2013).

Segundo a *ISO 7730:1994* o conforto térmico, acondicionado pelo sistema termorregulador, que ampara o equilíbrio térmico do corpo humano, pode sofrer intervenções de fatores como: taxa de metabolismo, isolamento térmico da vestimenta, umidade relativa, temperatura e velocidade relativa do ar e temperatura radiante média. A combinação desses fatores é o principal determinante da sensação de conforto ou desconforto térmico, sendo os dois primeiros parâmetros chamados de variáveis pessoais e os quatro últimos de variáveis ambientais (OLIVEIRA et al, 2010).

Para Souza e Nery (2012, p.70) “o conforto térmico incide no conjunto de condições em que os mecanismos de auto-regulação são mínimos ou ainda na zona delimitada por características térmicas em que o maior número de pessoas se manifeste sentir bem”. Assim para esses autores, se o ambiente não proporciona condições térmicas apreciáveis a um indivíduo ou para a população tem-se então o desconforto térmico. E assim sendo, as variáveis individuais e ambientais podem influenciar no conforto térmico. Destacando-se o gênero, idade, raça, atividade exercida e hábitos alimentares, o que pode modificar substancialmente as preferências térmicas de indivíduo para indivíduo.

Entre as variáveis que intervêm no conforto térmico está a direção e intensidade do vento, uma vez que esta variável meteorológica influencia e é influenciado por outros subsídios, ocasionando condições particulares no espaço urbano. Sobretudo no que se refere aos processos de transporte de calor (convecção) e de umidade (evaporação), bem como na dispersão da poluição (VAREJÃO, 2006).

Fernandes (2009) reitera a necessidade em se adequar a arquitetura ao clima de um certo local, e isso quer dizer que é preciso construir espaços que deem aos sujeitos condições de conforto. Para isso, é essencial que o projetista tenha conhecimento sobre o clima para adaptação da sua arquitetura. Assim sendo, adaptar o urbanismo e a arquitetura ao clima de um determinado local significa construir espaços que possibilitem ao homem condições de conforto (BARBOSA; LIMA, 2014).

Campanhoni e Romero (2010) realizaram um estudo sobre a adequação da orientação dos edifícios nos lotes de um determinado município. Os autores fizeram uma análise sobre a influência do clima na arquitetura, descrição do clima da região em estudo e determinação dos dados utilizados. Como resultado, pode-se perceber a relação entre as escolhas projetuais quanto à orientação e o desempenho resultado pela edificação. Sendo uma área ainda em construção e, apresentando vários lotes ainda não edificados, faz-se importante o estudo das orientações mais adequadas, visando a adoção de escolhas que otimizem o projeto desde a sua concepção.

## 2.3 ARQUITETURA VERNACULAR E ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

No início das primeiras civilizações as construções tinham como principal finalidade a proteção de seus moradores. Ao serem construídas levava-se em consideração o clima do local e as técnicas e materiais naturais eram bastante usados nas habitações (RIBEIRO, 2008). A arquitetura vernacular era usada em grande escala neste período. Para Ferreira e Arruda (2012) a arquitetura vernacular está diretamente ligada à percepção de especificidade e de diversidade e diz respeito as formas de construções em determinadas regiões, a partir de materiais típicos da própria localidade, e algumas vezes usando técnicas vindas de pais para filhos.

Teixeira (2008) afirma que o conceito de arquitetura vernácula ou popular é muito recente. Seu estudo começou a ter interesse na Inglaterra do final do século XIX, através de arquitetos como Lutyens, Voysey e Webb, que viam nela qualidades de simplicidade, além da conformidade que essa tradição constituía com o entorno. Entretanto, no início do século XX, o assunto não originava interesse generalizado entre os arquitetos, o que adiou por um tempo a conscientização do movimento moderno sobre sua importância (TEIXEIRA, 2008).

Sobre o estudo da arquitetura vernacular, Takamatsu (2013) cita em sua obra o estudo de Carter e Cromley (2005), na qual os autores afirmam que o estudo da arquitetura vernacular é a parte de um vasto campo de conhecimentos que envolve os estudos da cultura material. Este campo, define-se como segmento do ambiente físico (humano) que é propositadamente projetado de acordo com a cultura de um povo. Pois diferente dos demais mamíferos, os seres humanos têm condições de criar maneiras de alterar o entorno, a partir de vestimentas, utensílios e outros objetos para seu uso diários.

A arquitetura vernácula (sem arquitetos) apresenta no decorrer de sua história exemplos de adaptação inteligente às características climáticas de variadas regiões do mundo. Distingue-se como uma obra com características constantes, que tem autenticidade na sua expressão, e, ao mesmo tempo complexa e conservadora, uma construção adaptada ao entorno, autossuficiente, baixo conteúdo energético, autêntica, estrutura pequena, pode ser um sistema disseminado, resultado de produção coletiva e integração de trabalho. As formas mais simples de que se tem

conhecimento em arquitetura tinham, antes de tudo, a função de abrigo/proteção contra os efeitos indesejáveis do clima (LIMA, 2010).

No Brasil, o interesse pela arquitetura vernácula teve maior evidência no início do século XX, com Ricardo Severo e Ernesto Viana, na comemoração do centenário da Independência, em 1922, quando sucedeu uma clara produção de textos sobre o assunto, coincidindo com um momento de valorização da cultura nacional (TEIXEIRA, 2008).

Chama-se vernacular a arquitetura sem arquitetos, anônima, também chamada de espontânea ou popular. Podendo-se ainda ser considerada uma arquitetura nativa, com significativa liberdade e resultante de uma produção coletiva de trabalho. (LIMA, 2010).

Já a arquitetura bioclimática embasa-se na adequação e compatibilização entre o correto aproveitamento de elementos arquitetônicos e tecnologias construtivas ao clima local, de modo que consumam menos energia, e otimizem o conforto de seus moradores.

São muitos os conceitos apresentados por diversos autores sobre a arquitetura bioclimática, porém, a maior parte concorda que seu princípio é a relação entre o meio e a arquitetura. Para Navarro (2007) a arquitetura bioclimática adota os princípios de sustentabilidade, que além do fato de diminuir os impactos das construções para o meio ambiente, ao mesmo tempo cria uma arquitetura mais sensível ao local, ao clima e às necessidades dos sujeitos que ali estão inseridos.

Chama-se de arquitetura bioclimática às edificações que fazem uso da tecnologia baseada na aplicação de elementos arquitetônicos, com a finalidade de aproveitar o clima local, e desta forma, dando ao ambiente edificado um alto grau de conforto e ao mesmo tempo economizando energia. (BARBOSA; LIMA, 2014).

A arquitetura bioclimática estuda a harmonização das construções ao clima e particularidades locais. Manuseia o desenho e elementos arquitetônicos com a finalidade de otimizar as relações entre homem e natureza, tanto na diminuição de impactos ambientais quanto na melhoria das condições de vida humana, conforto e racionalização (BARBOSA; LIMA, 2014).

A arquitetura bioclimática é também definida por Fernandes (2009) como a arquitetura que otimiza as relações energéticas com o ambiente natural circundante a partir do projeto arquitetônico. O termo bioclimático reúne em si mesmo uma relação entre o fator humano e o ambiente externo. A arquitetura funciona como um

intermediador entre o homem e o meio, buscando conforto para os usuários por meio da adaptação do espaço construído aos condicionantes climáticos locais, numa relação de respeito e interatividade (FERNANDES, 2009).

Começou-se a pensar em arquitetura bioclimática a partir dos anos 1960 com os irmãos Olgay, criando a expressão projeto bioclimático. A finalidade era satisfazer às exigências de conforto através de técnicas e materiais disponíveis, de acordo com as características climáticas locais. Este conceito foi ganhando força a partir dos anos 1970, período em que houve as primeiras crises energéticas. A partir daí observa-se maior preocupação com a conservação de energia e com os impactos ambientais provocados pela construção civil (RIBEIRO, 2008).

Givoni (1992) relacionou o homem, o clima e a arquitetura. O autor analisa as trocas de calor existentes entre o sujeito e o meio, por meio das respostas fisiológicas e sensoriais quanto à pressão atmosférica e aos efeitos fisiológicos dos fatores do ambiente. Givoni (1992) em seus estudos propôs uma nova carta bioclimática, em que dispunha de estratégias construtivas para harmonizar a arquitetura ao clima partindo das temperaturas internas da edificação. Para este estudioso o clima interno de edificações não condicionadas reage mais extensivamente em relação à variação do clima externo e à experiência de uso de seus habitantes.

A partir da década de 1970, as técnicas tradicionais de construção passaram a ser vistas com interesse por pesquisadores europeus, ganhando espaço em pesquisas acadêmicas e científicas daquele continente, como solução alternativa para o problema da falta de energia, surgida com a crise dos recursos energéticos em todo o mundo. Essa crise provocou movimentos de preservação ambiental e a preocupação com a renovação dos recursos naturais. Apesar do interesse despertado e das pesquisas feitas, até mesmo no Brasil, na busca de alternativas que tornem a construção de terra crua mais resistente à ação do tempo, podem ser consideradas, em números insignificantes, as construções, projetadas por arquitetos, feitas com técnicas tradicionais (TEIXEIRA, 2009).

A arquitetura bioclimática teve, com o passar dos anos, sua importância resgatada, sobretudo pela inclusão da eficiência energética na agenda mundial. No Brasil, mesmo com a ampla exposição das preocupações com a sustentabilidade das construções, ainda são insuficientes os exemplos de edifícios projetados

visando à economia de energia, sobretudo nas regiões menos desenvolvidas do país (PEDRINI; TRINDADE, 2012).

Atualmente pode-se dizer que há muitos exemplos na arquitetura capazes de melhorar a qualidade ambiental das construções realizadas, tendo em conta os princípios básicos de “construir com o clima” onde se tem demonstrado, sem nenhuma dúvida, a viabilidade econômica desse tipo de obra (BARBOSA; LIMA, 2014).

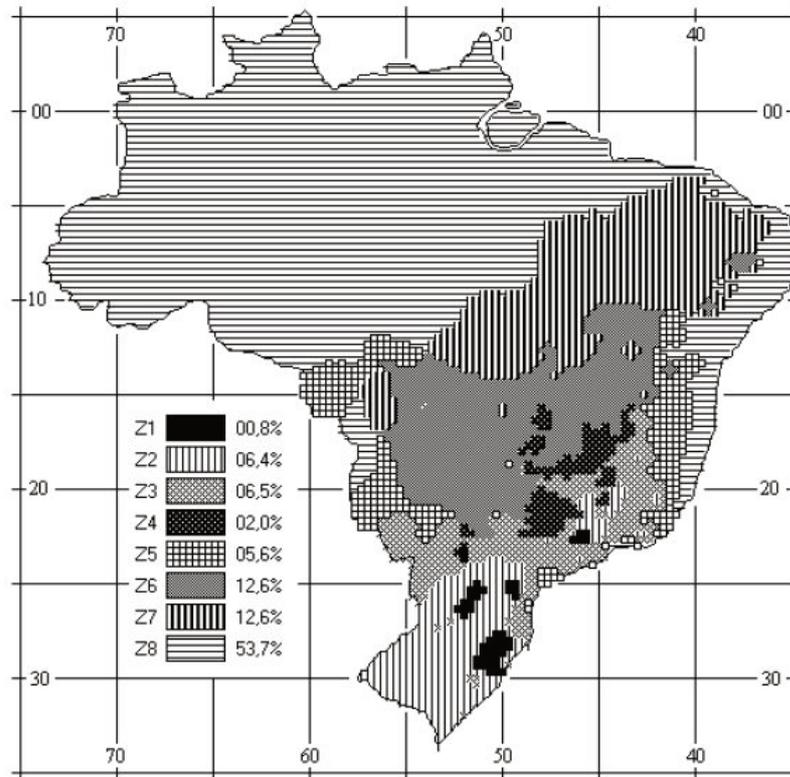
O urbanismo e a arquitetura bioclimática buscam harmonizar todas as possibilidades que as tecnologias passivas oferecem. Essas possibilidades são: a correta escolha dos materiais de construção e definição do volume arquitetônico em função das condições climáticas locais, da influência da localização geográfica e dos edifícios vizinhos, da orientação das fachadas, do uso de protetores solares exteriores, a captação da luz natural sem erguer demasiadamente a carga térmica e do uso da ventilação natural, sempre dando prioridade a redução no consumo de energia e a melhoria da qualidade de vida, criando ambientes sustentáveis. (BARBOSA; LIMA, 2014).

Deste modo, a arquitetura bioclimática é o estudo que objetiva harmonizar as concentrações ao clima e características locais, pensando no sujeito que habitará ou trabalhará nelas, e tirando partido da energia solar.

## 2.4 ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS

Para uma melhor padronização do clima brasileiro, em relação à análise térmica de ambientes, o zoneamento bioclimático divide o território nacional em oito zonas. (Figura 1). A NBR 15220 apresenta uma metodologia aplicável na fase de projeto, para a avaliação do desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social, ao mesmo tempo em que, estabelecendo um Zoneamento Bioclimático Brasileiro, traz recomendações de diretrizes construtivas e o detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo, com base em parâmetros e condições de contorno fixados. (ABNT, 2005).

Figura 1: Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: NBR 15220, 2003.

O zoneamento bioclimático é descrito pela NBR 15220 na Parte 3 como: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social (ABNT, 2005).

Segundo a NBR 15220 (2005, p.2) a avaliação de desempenho térmico de uma edificação pode ser feita tanto na fase de projeto, quanto após a construção. Em relação à edificação construída, a avaliação pode ser feita através de medições *in-loco* de variáveis representativas do desempenho, enquanto que na fase de projeto esta avaliação pode ser feita por meio de simulação computacional ou através da verificação do cumprimento de diretrizes construtivas.

Na parte 3 da NBR 15220 constam indicações quanto ao desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social aplicáveis na fase de projeto. Ao mesmo tempo em que estabelece um Zoneamento Bioclimático Brasileiro, são feitas recomendações de diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo, com base em parâmetros e condições de contorno fixados.

A NBR 15220 (2005) destaca que para a formulação das diretrizes construtivas para cada Zona Bioclimática Brasileira e para o estabelecimento das estratégias de

condicionamento térmico passiva foram considerados os parâmetros e condições de contorno seguintes:

- a) tamanho das aberturas para ventilação;
- b) proteção das aberturas;
- c) vedações externas (tipo de parede externa e tipo de cobertura); e
- d) estratégias de condicionamento térmico passivo.

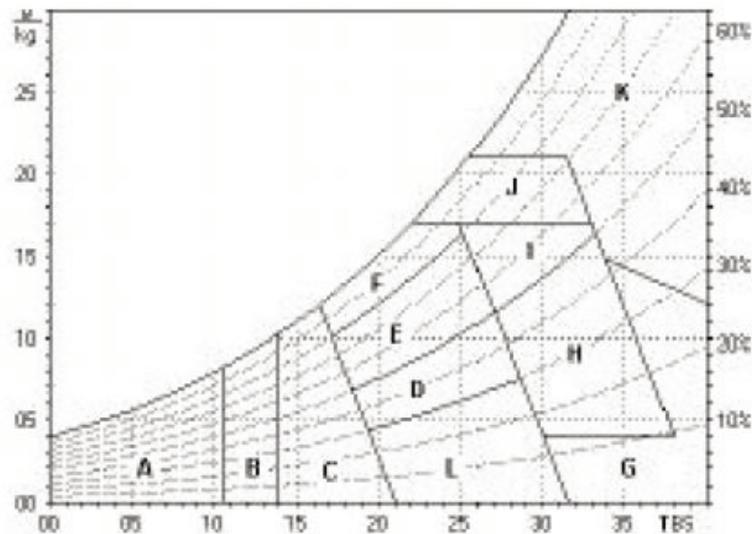
Além disso, a Norma também registra a classificação do clima de 330 cidades.

Na Parte 3, a NBR 15220 divide o país em regiões em que existe uma relativa homogeneidade climática como mostra a Figura 2. Para isso, a NBR fez uso da base de dados climáticos do país, com os dados de médias mensais que incluíram: temperaturas máximas, temperaturas mínimas, e umidades relativas do ar. Das 330 cidades, de diferentes posições geográficas, algumas foram classificadas a partir de dados Normais Climatológicas registradas em décadas de apuração, enquanto outras localidades foram ordenadas por interpolação dessas informações (BAGNATI, 2013).

A finalidade das indicações técnico-construtivas é a otimização do desempenho térmico das construções, através do perfeito ajuste climático (ABNT, 2005). As estratégias de condicionamento ambiental indicadas pela NBR 15220-3 são fundamentadas na carta bioclimática de Givoni (1992) e nas planilhas de Mahoney (LAMBERTS, 2016). A classificação de cada cidade em uma certa zona varia de acordo com as estratégias bioclimáticas que são determinadas antecipadamente, tendo sido usadas as planilhas de Mahoney para a demarcação dos limites das propriedades térmicas dos elementos construtivos (Fator Solar, Atraso Térmico e Transmitância Térmica). (LAMBERTS, 2016).

Para agrupar as zonas bioclimáticas, a NBR 15220 fez uso da Carta Bioclimática de Givoni adaptada ao Brasil (Figura 2). O método usado para classificar foi através da coleta de informações mensais de temperatura e umidade do ar de cada município e estas foram dispostas em gráficos. Por meio da aplicação desses dados sobre o gráfico e de cálculos feitos pode-se identificar o clima de cada região, as estratégias bioclimáticas que deveriam ser aplicadas em cada cidade e o percentual de cada estratégia acumulado durante o ano em estudo (ABNT, 2005).

Figura 2: Cartas de Givoni adaptada ao Brasil



Fonte: Givoni, 1992

De acordo com Bagnani (2013) as estratégias bioclimáticas se dividem em oito e são:

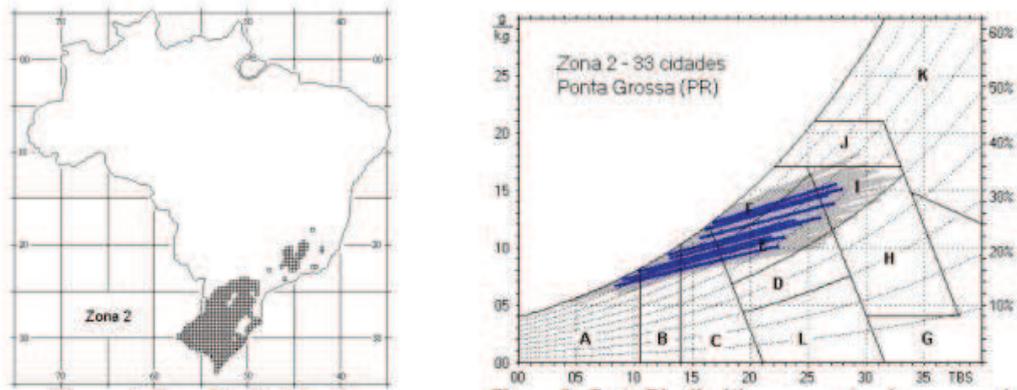
- A. Zona de aquecimento artificial (calefação);
- B. Zona de aquecimento solar da edificação;
- C. Zona de massa térmica para aquecimento;
- D. Zona de conforto térmico (baixa umidade);
- E. Zona conforto térmico pleno;
- F. Zona de desumidificação (renovação do ar);
- G + H. zona de resfriamento evaporativo;
- H + I – zona de massa térmica de refrigeração;
- I + J – zona de ventilação;
- K – zona de refrigeração artificial;
- L – zona de umidificação do ar.

Sobre o zoneamento 2 apresentado a NBR 15220, são indicadas as seguintes características:

as aberturas de ventilação sejam médias com acesso à radiação solar durante o inverno; as paredes externas devem ser leves, com a abertura leve e isolada. As estratégias recomendadas são a ventilação cruzada no verão (J), e no inverno o aquecimento solar da edificação (B) e paredes internas que garantam maior inércia térmica (C). A norma descreve que o condicionamento passivo será insuficiente no inverno (NBR 15220, 2003).

A Figura 3 mostra a localização da zona bioclimática 2 no território nacional e carta bioclimática da respectiva zona.

Figura 3: Zona bioclimática 2 e carta bioclimática apresentando as normas climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Ponta Grossa, PR.



Fonte: NBR 15220, 2003.

Segundo a NBR 15220 (ABNT, 2005) as aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a zona bioclimática 2 devem ser médias para permitir que o sol entre durante o inverno.

Pontes (2014) descreve que a ventilação das construções é fundamentada na entrada e saída de ar imediata, com isso, as velocidades de entrada e saída são proporcionais.

Para Lamberts et al. (2011), o dispositivo de sombreamento das aberturas coopera expressivamente para uma diminuição dos ganhos solares dos dormitórios, diferentemente da orientação solar em que estão. Assim sendo, o dispositivo de sombreamento influencia determinantemente na temperatura do ambiente, bloqueando a radiação solar antes que esta incida na vidraça, impedindo o efeito estufa.

A Figura 4 mostra exemplos de paredes adequadas às diferentes zonas bioclimáticas brasileiras (incluindo a zona 2 objeto deste estudo) segundo a NBR 15220 (ABNT, 2005).

Figura 4: Exemplos de paredes adequados às diferentes zonas bioclimáticas brasileira

| Zonas 1 a 3, 5 e 8  | Paredes leves (Zonas 1 e 2): $U \leq 3,00$ $\phi \leq 4,3$<br>Paredes leves refletoras (Zonas 3, 5 e 8): $U \leq 3,00$ $\phi \leq 4,3$  |
|---|---|
|  <p>Zonas 1 a 3, 5 e 8</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parede de tijolos de 6 ou 8 furos quadrados (espessura = 14 cm)</li> <li>• Parede de tijolos de 8 ou 6 furos circulares (espessura = 15 cm)</li> <li>• Parede de tijolos de 4 furos circulares (espessura = 14,5 cm)</li> <li>• Parede de tijolos de 3 furos circulares (espessura = 18 cm)</li> <li>• Parede de blocos cerâmicos 2 furos circulares (espessura = 19 cm)</li> <li>• Parede de tijolos de 2 furos circulares (espessura = 17,5 cm)</li> <li>• Parede de tijolos de 21 furos circulares (espessura = 17 cm)</li> </ul> |

Fonte: Lamberts, 2016, p.114.

A Figura 5 mostra exemplos de coberturas adequadas a diferentes zonas bioclimáticas brasileiras segundo a NBR 15220.

Figura 5: Exemplos de coberturas adequados às diferentes zonas bioclimáticas brasileiras.

| Zonas 1 a 6: Cobertura leve isolada<br>$U \leq 2,00$ $\phi \leq 3,3$  |
|---|
|  <p>Zonas 1 a 6</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cobertura de telha de barro + forro de madeira ou + lâ de vidro (espessuras 2,5 cm e 5 cm) e forro de madeira;</li> <li>• Cobertura de telha de barro+ lâmina de alumínio polido + forro de madeira</li> <li>• Cobertura de telha de fibro-cimento + forro de madeira ou + lâmina de alumínio polido e forro de madeira</li> </ul> |

Fonte: Lamberts, 2016, p.114.

Observa-se pela Figura 5 que para a zona bioclimática 2 a cobertura de telha de barro, forro de madeira ou lã de vidro as espessuras devem ser de 2,5 cm e 5 cm.

Quanto às estratégias de condicionamento térmico passivo para a zona 2, a NBR 15220 (ABNT, 2005, p.5) esclarece que: durante o verão a ventilação deve ser cruzada (J) e durante o inverno o aquecimento solar da edificação e vedações internas pesadas (inércia térmica).

As vedações externas para a zona climática 2 deve ser para parede (leve) e cobertura (leve isolada) (NBR 15220, 2005).

Ferreira e Souza (2014) destacam que a zona bioclimática 2 a região sul do Brasil caracteriza-se por verões quentes e inverno frios, enquanto que em Minas Gerais representa o clima de altitude, apresentando amplitudes térmicas diárias maiores. Com chuvas maiores no verão. Um exemplo de cidade pertencente a esta zona é a cidade de Santa Maria, no Rio Grande do Sul.

Para Maragno (2002, p.19) “um dos principais objetivos do condicionamento térmico natural é a adequação do edifício às solicitações do meio externo para satisfazer da melhor maneira possível as exigências térmicas das pessoas que o utilizam”.

São quatro as formas de interação entre o edifício e o ambiente que são afetadas diretamente por estas soluções segundo as considerações de Maragno (2002):

- a) efetiva exposição solar dos elementos opacos e transparentes dos envoltórios;
  - b) efetivo ganho de calor solar dos edifícios;
  - c) razão entre o ganho e a perda de calor do ar ambiente;
  - d) potencial de ventilação natural e refrigeração passiva do edifício.
- (MARAGNO, 2002).

Givoni (1992) relacionou o homem, o clima e a arquitetura. O autor avaliou as trocas de calor existentes entre os indivíduos e o meio, através das respostas fisiológicas e sensoriais quanto à pressão atmosférica e aos efeitos biofísicos dos fatores do ambiente. Givoni (1992) também analisou a compatibilidade entre a face externa da edificação, quanto às propriedades termo físicas, e aos efeitos das variáveis climáticas.

Em sua obra, Givoni (1992) aplicou princípios de desenho, seleção de materiais em conformidade com o clima, além de observar através de cálculos, os efeitos térmicos das coberturas, os efeitos internos da orientação solar e a ação da radiação solar sobre a cobertura.

## 2.5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A falta de recursos energéticos trouxe à tona a questão da racionalização de energia. Nesse sentido, algumas pesquisas mostram a eficiência da aplicação das estratégias de condicionamento térmico passivo na redução do consumo energético das edificações. Desta forma, além das vantagens ao conforto humano, o uso destas estratégias no projeto de edificações torna-se importante diante ao cenário atual energético mundial (RIBEIRO, 2008).

Em 1985 o Brasil criou o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL, e desde então o país vem tomando diversas medidas em prol da eficiência energética em geral. No ano de 2001 aconteceu a implementação da Lei de Eficiência Energética n. 10.295/2001, dispendo sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Porém, apenas no ano de 2004, é que foi feito um programa específico para edificações, que foi o PROCEL Edifica, estabelecendo seis vertentes: arquitetura bioclimática, indicadores referenciais para edificações, certificação de materiais e equipamentos, regulamentação e legislação, remoção de barreiras à conservação de energia e educação (PROCEL Edifica, 2004).

O Procel Edifica instituído em 2003 pela ELETROBRAS/PROCEL, opera de forma conjunta com o Ministério de Minas e Energia, com o Ministério das Cidades, com as universidades, com os centros de pesquisa e com entidades das áreas governamental, tecnológica, econômica e de desenvolvimento, além do setor da construção civil. (PROCEL Edifica, 2004).

Em 2010 foi lançado o programa para residências e edifícios multifamiliares. Este programa promove o uso racional de energia elétrica em construções desde a fundação até a obra final. Incentiva o uso eficientes dos recursos naturais (água, luz, ventilação, etc), nas edificações, reduzindo os desperdícios e os impactos sobre o meio ambiente.

A eficiência energética é a forma de se obter um serviço com alta economia de energia. Ou seja, uma edificação pode ser vista como mais eficiente energeticamente do que outra quando esta proporciona as mesmas condições ambientais consumindo menos energia, diminuindo os custos de construção não interferindo na qualidade dos serviços e equipamentos (APOLONIO, 2011).

A eficiência energética das edificações é um dos indicadores de desempenho do edifício e é uma das condições sempre avaliadas quando se fala em construções sustentáveis. Os edifícios são responsáveis por parcela significativa do consumo de energia elétrica nacional, cerca de 45% entre os setores residencial, comercial e público (LAMBERTS, 2014).

O projeto de arquitetura deve atender simultaneamente à eficiência energética e às condições de conforto do usuário. O emprego das táticas passivas de aquecimento e de resfriamento no projeto proporciona a redução do tempo de utilização de sistemas artificiais para atingir o conforto térmico, conseqüentemente reduz o consumo de energia nas edificações. Deste modo, para a correta aplicação das estratégias bioclimáticas em projeto é necessário a adequada análise bioclimática do local, a partir dos dados climáticos disponíveis (LAMBERTS, 2016).

O autor ainda destaca que a eficiência energética das edificações apresenta diversas vantagens:

- reduzir o custo de operação;
- reduzir a probabilidade de falta de energia;
- reduzir a necessidade de investimentos do setor público em geração e transmissão;
- ajudar as indústrias e os produtos nacionais a competirem no mercado mundial;
- reduzir os impactos ambientais e sociais e reduzir o impacto no consumo de recursos naturais cada vez mais escassos. (LAMBERTS, 2014).

Assim sendo, a eficiência energética colabora na preservação do meio ambiente e proporciona às gerações futuras a capacidade de satisfazer as suas próprias necessidades.

Lamberts (2014) indica que o consumo de energia de uma construção, no decorrer de sua vida útil, é tão importante quanto quaisquer outros fatores levando em conta pelo projetista, pois esta energia que será consumida pela edificação é um expressivo impactante do meio ambiental.

A eficiência energética intenciona a obtenção de melhor desempenho na utilização de um certo equipamento ou sistema, gastando menos energia possível. São muitas as maneiras de contribuir com a eficiência energética, como modernizar os processos e equipamentos, programas governamentais que conscientizam a população ou apoiam as organizações para um uso mais eficiente dos equipamentos, ou a utilização de novas tecnologias como as de aquecimento solar térmico ou o uso da arquitetura bioclimática (VIEIRA; SANTOS, 2012).

Na maior parte os edifícios oferecem grandes possibilidades de se reduzir o consumo de energia elétrica. Esta diminuição seria resultante de uma melhor gestão das instalações dos prédios, uma vez que apresentam probabilidades de se trabalhar fatores conforme aponta Peruchi (2013):

- a) Adoção de equipamentos mais eficientes;
- b) Alterações arquitetônicas;
- c) Uso de técnicas de projeto e construção mais modernas;
- d) Alteração no uso e hábitos dos usuários;
- e) Alteração de rotinas de trabalho na construção (PERUCHI, 2013).

Para identificar as oportunidades de redução de consumo de energia elétrica de uma construção é preciso que o arquiteto faça uma análise e estudos específicos do local em que a obra está inserida.

## 2.6 DESEMPENHO TÉRMICO

O arquiteto é o centralizador do processo de projeto, pois é ele que toma maior parte de decisões que influenciam no desempenho final do edifício. Também é ele quem equaciona as variáveis formas de fazer da arquitetura um conjunto de respostas adequadas a todas as necessidades do usuário frente as condicionantes locais, ao programa arquitetônico e as necessidades futuras de sustentabilidade e de eficiência energética (LAMBERTS, 2014).

A necessidade crescente de conhecimentos a respeito da adaptabilidade e o comportamento de novos produtos, e técnicas construtivas fez com que surgisse a necessidade da avaliação do desempenho destas soluções (SORGATO; MELO; LAMBERTS, 2014).

O desempenho térmico depende de diversas características do local da obra (topografia, temperatura e umidade do ar, direção e velocidade do vento) e da edificação (materiais constituintes, número de pavimentos, dimensões dos cômodos, pé direito, orientação das fachadas, dimensões e tipo de janelas entre outros (LAMBERTS, 2016).

Além disso, também são importantes alguns requisitos para o desempenho térmico que são: as condições de exposição da edificação, divididas em condições climáticas (temperatura e umidade do ar exterior, velocidade e direção dos ventos e radiação solar direta e difusa); condições de implantação (latitude e longitude, orientação solar); condições de uso da edificação (número de ocupantes e atividades padrão, quantidade de calor e vapor d'água produzidos no interior da construção, número de renovações de ar proporcionadas pelo controle da ventilação do ambiente (COSTA, 2011).

O conceito de desempenho térmico e edificações tomou impulso na década de 1990 com as questões de sustentabilidade, e estão mais relacionadas aos aspectos práticos da aplicação do conceito na concepção e execução das construções (PIVETTA, 2010).

Entretanto, foi no ano de 2003 que foi consolidada a primeira norma brasileira de desempenho térmico para avaliação de componentes construtivos, através da NBR 15220), a qual apresenta um método simplificado de avaliação do desempenho.

O Método apresentado pela norma 15220 se baseia em recomendações de limites para as propriedades térmicas de transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar, além da suposição de estratégias bioclimáticas, todos variáveis de acordo com a zona bioclimática em estudo. É um método simplificado, pois depende apenas do cálculo das propriedades térmicas de um componente construtivo isoladamente (GIGLIO; BARBOSA, 2006).

Para Siqueira (2008) nos métodos de avaliação do desempenho térmico, os dados climáticos são diferenciados pelos dias típicos de projeto, para os períodos de inverno e verão.

No Brasil, além dos aspectos ambientais e do atendimento aos usuários, o emprego ao conceito de desempenho também pode ser uma oportunidade para a melhoria da qualidade dos domicílios e da otimização dos recursos governamentais, pois para um melhor aproveitamento do conceito estabelece uma visão de longo prazo. (PIVETTA, 2010).

Para Lima (2014) a performance térmica de edificações é função das especialidades dos materiais que compõem seus elementos e reflete no conforto térmico dos usuários. O apropriado desempenho térmico garante condições apropriadas para o sono e atividades normais em uma residência, cooperando ainda para a economia de energia.

Os níveis de desempenho térmico de edificações são diretamente influenciados pelos materiais constituintes do envelopamento do edifício. Para Westphal e Andreis (2016) o desempenho dos edifícios é definido pelos seus sistemas elétricos e trocas térmicas através do envelope, especialmente por sistemas de envidraçamento. Neste estudo os autores avaliaram por meio de simulação computacional a influência de fachadas envidraçadas no consumo de energia do sistema de ar condicionado de um edifício em cinco municípios diversos. Os resultados demonstram que o desempenho energético do edifício recebe alta influência das configurações da fachada, especialmente dos elementos envidraçados.

Segundo Graf (2011) uma das maneiras de melhorar o comportamento de uma edificação é por meio do invólucro e seu isolamento térmico correto conforme o clima estudado. Quanto mais isolado o invólucro, uma quantidade maior de materiais será utilizada e, desta forma, mais energia será incorporada à edificação, porém menor será a transmitância térmica. De acordo com a norma ABNT NBR 15575/2013, menores valores de Transmitância Térmica do invólucro, garantem melhores níveis de desempenho térmico de edificações.

Ferreira e Pereira (2012) utilizaram o software Energy Plus, com simulações nas quais objetivaram mostrar se o valor da temperatura do ar nos ambientes de permanência prolongada, sem a presença de fontes internas de calor, atinge aos requisitos estabelecidos pela Norma, nos períodos de verão e inverno. Os resultados demonstram que, de modo geral, as envoltórias frequentemente utilizadas na construção de habitações de interesse social são capazes de garantir desempenho térmico mínimo exigido pela Norma, na maioria das zonas bioclimáticas.

A ideia de desempenho térmico passivo em edificação térrea leva em conta alguns fatores como o desenvolvimento da consciência ambiental devido ao crescente fato do aquecimento global, como a redução de custos nas despesas mensais e vem sendo considerado uma tendência irreversível no mundo todo. O desempenho térmico em edificações apresenta uma forte relação com a qualidade

de vida e bem-estar do indivíduo. Para garantir esta qualidade, os indivíduos estão redirecionando cada vez mais a retomada de novos valores com propostas de artifícios menos impactantes no meio ambiente, para atender suas necessidades dentro da própria moradia (PIVETTA, 2010).

Consegue-se o adequado desempenho térmico de uma edificação quando se atinge o equilíbrio entre a própria edificação, suas fontes internas de calor e o ambiente externo na qual está inserida (COSTA, 2011).

O desempenho térmico de uma edificação está intensamente relacionado com sua adequação ao clima local. A análise dos dados climáticos de uma determinada localidade é essencial para a articulação do projeto arquitetônico aos princípios de conforto. Logo, a dificuldade deste tipo de abordagem está no fato de que a maior variação de condições regionais, especialmente em um país de dimensões continentais como o Brasil, procede na necessidade de enfatizar fatores ambientais diferentes para preencher com os requisitos de conforto térmico, de modo que as recomendações finais para o projeto não podem ser rígidas ou padronizadas (FERREIRA; SOUZA, 2014).

### **2.6.1 Normatização de Desempenho Térmico no Brasil**

Buscando ajudar os arquitetos e projetistas a desenvolver os projetos de habitações com desempenho térmico satisfatório, a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, padronizou procedimentos, métodos de ensaios, terminologias, simbologias e classificações buscando garantir qualidade aos serviços prestados por esses profissionais. (COSTA, 2011).

As legislações pertinentes à melhoria da eficiência energética nas construções foram aprovadas no Brasil no ano de 1985, com o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), intencionando a racionalização da produção e consumo de energia elétrica. A norma NBR 15220-2 (2005) dispõe sobre as principais propriedades térmicas dos materiais que compõe os elementos construtivos e apresenta os métodos de cálculo, para elementos homogêneos e heterogêneos, de transmitância térmica, fator solar e atraso térmico (LAMBERTS, 2016).

De início na parte I: definições, símbolos e unidades, a NBR 15220 apresenta algumas características térmicas de materiais, elementos e componentes construtivos. Entre estes estão o fluxo de calor ou taxa de fluxo de calor em que o quociente da quantidade de calor que atravessa uma superfície durante um intervalo de tempo pela duração desse intervalo. A densidade de fluxo de calor ou densidade de taxa de fluxo de calor também é apresentada na NBR 15220.

A primeira parte da norma supracitada situa as definições e os correspondentes símbolos e unidades de termos relacionados com o desempenho térmico de edificações. Nesta parte constam tabelas organizando os parâmetros e suas respectivas unidades, facilitando a busca dos conceitos desejados.

Na segunda parte a NBR 15220 destaca os métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.

Já o objetivo da segunda parte é apresentar os procedimentos para o cálculo das propriedades térmicas de elementos e componentes de edificações. São apresentadas todas as fórmulas, parâmetros e valores típicos necessários para calcular propriedades como resistência, transmitância e capacidade térmica. Para facilitar o entendimento dos cálculos, a norma conta também com exemplos ilustrativos (SOUSA, 2014).

A terceira parte da norma destaca as diretrizes do zoneamento bioclimático brasileiro, compreendendo um conjunto de indicações e estratégias construtivas dedicadas às habitações unifamiliares de interesse social.

A outra norma analisada neste estudo é a Norma NBR 15575/ 2013 que institui os requisitos e critérios de desempenho aplicáveis às edificações habitacionais, definindo as condições de habitabilidade através de condições dos usuários expressos por diversos fatores, dentre os quais o desempenho térmico dos ambientes (SANTO; ALVAREZ; RODRIGUES, 2012).

Iniciou-se o processo de criação da norma de desempenho para edificações residenciais, a primeira versão foi publicada em 2008 da NBR 15575 (ABNT, 2008). Esta norma entrou em vigor em julho de 2013 estabelecendo requisitos mínimos de desempenho, vida útil e garantia para os sistemas que compõem as construções.

De início, a NBR 15575 causou um grande impacto no setor de construção civil, que não se considerava preparado para absorver as mudanças que ela

impunha. Com isso, solicitou-se uma revisão desta norma a qual sofreu modificações, até resultar na versão atual, publicada em 2013 (CHVATAL, 2014).

A NBR 15575 (ABNT, 2013) em sua parte 1 se refere às exigências dos usuários e aos requisitos gerais comuns aos diferentes sistemas, estabelecendo as diversas interações e interferências entre estes.

Sobre as especificações do desempenho a NBR 15575 (2013, p.8) conceitua como “os requisitos e critérios de desempenho estabelecido para a edificação ou seus sistemas. As especificações são uma expressão das funções estabelecidas da edificação ou de seus sistemas e que correspondem a um uso já definido; no caso desta Norma, referem-se ao uso habitacional de edificações”.

Pode-se afirmar que a preocupação com o desempenho mínimo das edificações no país ganhou espaço principalmente após a exposição documental na publicação da norma NBR 15575, norma que constitui requisitos mínimos de desempenho, vida útil e de garantia para os principais sistemas que compõem as edificações (SORGATO et al., 2014).

Em síntese, atualmente as normas NBR 15220 de 2005 e a norma NBR 15575 de 2013 apresentam disposição sobre o desempenho térmico das edificações. A avaliação do desempenho de edificações ou de sistemas, de acordo com a Norma NBR 15575 deve ser realizada considerando as premissas básicas estabelecidas na próxima seção.

### **2.6.2 Métodos de determinação do Desempenho Térmico**

A NBR 15575 (ABNT, 2013) dispõe que a edificação habitacional deve reunir características que atendam às exigências de desempenho térmico, considerando-se a zona bioclimática definida na ABNT NBR 15220-3.

A avaliação do desempenho térmico pode ser feita através de três procedimentos: cálculo simplificado, simulação computacional e medição. Para a avaliação de desempenho térmico por simulação computacional, a NBR 15575 (ABNT, 2013) recomenda o emprego do software EnergyPlus e estabelece que o desempenho térmico da edificação deve ser avaliado para um dia típico de projeto, de verão e de inverno. O critério da análise é baseado na comparação entre valores máximos e mínimos de temperatura dos ambientes de permanência prolongada (sala e dormitório).

A NBR 15575 (ABNT, 2013) recomenda que para avaliação do desempenho térmico no verão, os ambientes devam apresentar condições térmicas melhores ou iguais às do ambiente externo, para o dia típico de verão. O valor máximo diário da temperatura do ar interior dos ambientes de permanência prolongada, deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior. A edificação deve ser simulada sem a presença de fontes internas de calor (pessoas, iluminação, equipamentos).

Para a avaliação do desempenho térmico do inverno, a NBR 15575 (ABNT, 2013) indica que a edificação deve apresentar no dia típico de inverno, valores mínimos diários da temperatura interna do ar em ambientes de permanência prolongada, maiores ou iguais a temperatura mínima externa acrescida de 3 °C. No inverno, a norma não especifica se a edificação deve ser avaliada sem a presença de fontes internas de calor.

Tabela 1: Critério de Avaliação de desempenho térmico para condições de verão

| Nível de Desempenho | Critério   |  |
|---------------------|--|--|
|                     | Zonas 1 a 7  | Zona 8   |
| Mínimo              | $T_{i, \max} \leq T_{e, \max}$                       | $T_{i, \max} \leq T_{e, \max}$                       |
| Intermediário       | $T_{i, \max} \leq (T_{e, \max} - 2^{\circ}\text{C})$ | $T_{i, \max} \leq (T_{e, \max} - 1^{\circ}\text{C})$ |
| Superior            | $T_{i, \max} \leq (T_{e, \max} - 4^{\circ}\text{C})$ | $T_{i, \max} \leq (T_{e, \max} - 2^{\circ}\text{C})$ |

Ti,max é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;  
 Te,max é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;  
 Ti,min é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;  
 Te,min 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: NBR 15575 (2013).

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

| Nível de Desempenho | Critério   |   |
|---------------------|--|---|
|                     | Zonas bioclimáticas 1 a 5                            | Zonas bioclimáticas 6,7 e 8                         |
| Mínimo              | $T_{i, \max} \geq (T_{e, \min} + 3^{\circ}\text{C})$ | Nestas zonas, este critério não deve ser verificado |
| Intermediário       | $T_{i, \max} \geq (T_{e, \min} + 5^{\circ}\text{C})$ |   |
| Superior            | $T_{i, \max} \geq (T_{e, \min} + 7^{\circ}\text{C})$ |   |

Ti,min é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;  
 Te,min 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: NBR 15575 (2013).

A NBR 15575 (2013) recomenda ainda que para a avaliação do desempenho em edifícios verticais, deve-se selecionar uma unidade do último andar, com cobertura exposta. Como condição crítica seguindo o procedimento estabelecido a seguir:

- a) Verão: janela do dormitório ou da sala voltada para oeste e a outra parede exposta voltada para norte. Caso não haja possibilidade disso, o ambiente precisa ter pelo menos uma janela voltada para oeste;
- b) Inverno: janela do dormitório ou da sala de estar voltada para sul e a outra parede exposta voltada para leste. Caso não seja possível, o ambiente deve ter pelo menos uma janela voltada para sul;
- c) Obstrução no entorno: considerar que as paredes expostas e as janelas estão desobstruídas, ou seja, sem a presença de edificações ou vegetação nas proximidades que modifiquem a incidência de sol e/ou vento. Edificações de um mesmo complexo, por exemplo um condomínio, podem ser consideradas, desde que previstas para habitação no mesmo período. Esta informação deve constar na documentação de comprovação de desempenho;
- d) Obstrução por elementos construtivos previstos na edificação: dispositivos de sombreamento (exemplos: para-sóis, marquises, beirais) devem ser consideradas na simulação.

Ainda de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013) a absorptância à radiação solar das superfícies expostas precisa ser determinada de acordo com a cor e as particularidades das superfícies externas da cobertura e das paredes expostas, conforme orientações a seguir:

- a) cobertura: valor especificado no projeto, correspondente, portanto, ao material declarado para o telhado ou outro elemento utilizado que constitua a superfície exposta da cobertura;
- b) parede: assumir o valor da absorptância à radiação solar correspondente à cor definida no projeto. Caso a cor não esteja definida, simular para três alternativas de cor:
  - cor clara:  $\alpha = 0,3$ ;
  - cor média:  $\alpha = 0,5$
  - cor escura:  $\alpha = 0,7$ .

### 2.6.3 Análise através dos graus-hora

Utilizou-se a análise através dos graus-hora para verificar o desempenho térmico dos modelos. Este método segundo as considerações de Pereira (2009), faz uso do número de horas de desconforto ou o número de graus-hora de desconforto, calculado a partir do total de horas por ano em que as temperaturas internas do ambiente analisado estão fora de limites de temperatura determinados como confortáveis.

Lamberts (2012) classifica o indicador de graus-hora de resfriamento pelo somatório da diferença entre a temperatura operativa horária e a temperatura de embasamento. O indicador de graus-hora de aquecimento é o somatório da diferença entre a temperatura operativa horário e a temperatura de base, quando a primeira está abaixo da temperatura de base.

O critério de avaliação do desempenho térmico da edificação ventilada naturalmente é avaliado através dos indicadores de graus-hora de resfriamento (GHR) e graus-hora de aquecimento (GHA). Os graus-hora de resfriamento (GHR) avalia o desempenho térmico da edificação para o calor, e o desempenho para frio é avaliado através dos graus-hora de aquecimento (GHA). Os ambientes de permanência prolongada serão avaliados através da comparação entre o desempenho térmico da edificação sob avaliação (real) com o desempenho térmico da edificação de referencia, sendo que os indicadores de graus-hora de resfriamento e graus-hora de aquecimento dos ambientes de permanência prolongada da edificação sob avaliação(real) devem ser iguais ou menores que os graus-hora de resfriamento e graus-hora de aquecimento da edificação de referencia (SORGATO, VERSAGE; LAMBERTS, 2011).

Os valores de graus-hora de resfriamento e aquecimento são associados ao longo do ano determinando a quantidade de horas que o ambiente esteve fora da faixa de conforto. Para este estudo, Sorgato (2009) utilizou a temperatura base para o cálculo de graus-hora de resfriamento foi de 26°C e a temperatura base para o cálculo de graus hora de aquecimento foi de 18°C, representadas na seguinte equação:

$$GH = \sum (T_b - T_h) \quad \text{Eq. 1}$$

Onde: GH: índice de graus-hora;  $T_b$ : temperatura base, e;  $T_h$ : temperatura horária.

#### **2.6.4 Considerações sobre a NBR 15575 para desempenho térmico**

Alguns estudos científicos abordam a avaliação do desempenho térmico de materiais e sistemas construtivos, conforme resumidamente a seguir.

Schat e Rossignoo (2009) demonstraram que os fechamentos verticais e horizontais exercem grande influência sobre as condições de conforto térmico de uma habitação, considerando que os materiais devem ser escolhidos de acordo com as particularidades climáticas de determinada região. O objetivo do trabalho foi discutir a influência dos tipos de vedação no desempenho térmico da edificação. Os resultados para as condições de inverno para a cidade de Ponta Grossa, localizada na zona Bioclimática 2, demonstraram que com a utilização de alvenaria de blocos cerâmicos o nível de desempenho foi mínimo. Já a tipologia com alvenaria de blocos de concreto não apresentou desempenho mínimo. Para as condições de verão as tipologias com alvenaria de blocos cerâmicos e blocos de concreto, atenderam o nível mínimo de desempenho para zona bioclimática 2.

Ferreira e Pereira (2012) avaliaram o desempenho térmico de uma habitação para verificar se as envoltórias adotadas atendem aos requisitos de desempenho estabelecidos pela norma NBR 15575. Os autores elaboraram uma simulação das diversas zonas bioclimáticas, dentre elas, a cidade de Santa Maria, pertencente a zona bioclimática 2. Foram avaliados três sistemas construtivos: paredes de concreto com 10 e 12 cm de espessura e parede de alvenaria com 9cm de espessura e 1cm de argamassa em cada face. As simulações foram realizadas por arquivo climático, e não por dia típico, pois os autores afirmam que resultados por com dados do dia típico possuem pouca precisão, dessa maneira os períodos simulados foram o extremo quente, e o frio, sendo que a semana escolhida para a cidade de Santa Maria para as condições de verão foi de 22 a 28 de dezembro, sendo que a temperatura máxima externa foi de 34,3 graus. Para as condições de inverno de 27 de julho a 2 de agosto com a temperatura mínima de -0,3 graus. Os resultados mostraram que para os três sistemas construtivos o nível de desempenho foi mínimo no verão e superior no inverno.

O estudo do desempenho térmico para habitações ventiladas naturalmente se fundamenta no amplo potencial para o uso racional de energia, desejável no setor da construção civil, e por estes harmonizarem ambientes internos com percentagens elevadas de satisfação dos moradores (SANTO; ALVAREZ; RODRIGUES, 2012).

Segundo o estudo feito por Sorgato, Versage e Lamberts (2011), observa-se que a área de ventilação tem influência significativa no desempenho térmico de edificações residenciais. O resultado obtido neste estudo observou-se que os melhores desempenhos estão entre 8 a 15% de percentual de área de ventilação em relação à área útil do ambiente.

De acordo com Sorgato Marinoski e Lamberts (2012), a área de abertura para ventilação determinada de acordo com a legislação municipal de cada região. No entanto, a norma deve estabelecer uma área de ventilação mínima para cada zona. Caso os valores de área de ventilação exigido nos códigos municipais sejam superiores ao mínimo, estes devem ser atendidos prioritariamente, caso contrário prevalece a NBR 15575.

Sorgato, Versage e Lamberts (2011) sobre a importância do dispositivo de sombreamento nas janelas dos ambientes de edificações residenciais concluíram que o uso do dispositivo de sombreamento das aberturas reduz significativamente o número de graus resfriamento dos dormitórios analisados, para todas as orientações.

Considera-se que os métodos de simulação propostos pela NBR 15575-1 não admitem uma correta análise anual do desempenho térmico das edificações residenciais brasileiras. Entre os pontos críticos observados por Sorgato, Marinoski Lamberts (2012) pode-se destacar que:

- a) Não avalia a condição de uso real da edificação em análise (verão, carga interna, e outras estratégias bioclimáticas – aquecimento solar passivo, resfriamento evaporativo, ventilação, entre outras).
- b) Não avalia a influência da variação anual da temperatura no desempenho térmico da edificação. O Método de simulação presente no Item 11.2 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.

A vista do exposto acima, Sorgato, Marinoski e Lamberts (2012) apresentam uma proposta para avaliar o desempenho térmico da envoltória de edificações

residenciais através do método de simulação computacional para a NBR 15575. O método compara o desempenho térmico da edificação sob avaliação real com uma edificação de referência, que atende os critérios do método simplificado.

O programa computacional de simulação termo-energética deve possuir, no mínimo as seguintes características segundo o estudo de Sorgato, Versage e Lamberts (2011):

- ser validado de acordo com testes propostos pela ASHRAE Standar 140-2011: *Standar Methodo of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs*;
- modelar 8.760 horas por ano;
- modelar variações horárias de ocupação, potencia de iluminação e equipamentos, ventilação natural e sistemas de condicionamento artificial, definidos separadamente para cada dia da semana e feriados;
- modelar efeitos de inercia térmica;
- modelar efeitos de multi-zonas térmicas;
- ter capacidade de simular as estratégias bioclimáticas adotadas no projeto;
- produzir relatórios horários das trocas de ar e das infiltrações;
- produzir relatórios horários das temperaturas dos ambientes;
- produzir relatórios horários da carga térmica dos ambientes.

Para Sorgato, Versage e Lamberts (2011) os arquivos climáticos devem ser de domínio público e fornecer valores horários para todos os parâmetros relevantes requeridos pelo programa de simulação, como direção e velocidade do vento, radiação solar, temperatura e umidade.

Para a modelagem da edificação, cada ambiente de permanência prolongada deve ser modelado como uma zona térmica, com as características geométricas, aberturas, propriedades térmicas dos elementos construtivos e a orientação conforme o projeto sob avaliação. Não sendo permitido o agrupamento de ambientes de permanência prolongada com ambientes adjacentes na mesma zona térmica, sendo que nas edificações multifamiliares, devem ser modeladas todas as unidades habitacionais do pavimento tipo (térreo), ou tipo (intermediário) e da cobertura (SORGATO; VERSAGE; LAMBERTS, 2011).

Segundo os autores, a modelagem da edificação sob avaliação (real) deve estar de acordo com o projeto. Para as cargas internas dos ambientes de permanência prolongada, os autores sugerem que para o padrão de ocupação, cada dormitório da edificação deva ser simulado com duas pessoas por ambiente no período noturno entre as 21h e 7 h. A sala de estar deve ser simulada com um padrão de ocupação de 50% da edificação, no período diurno entre as 14h e 18h e com 100% da ocupação dos dormitórios da edificação no período das 18h às 21h.

Para cada atividade metabólica, Sorgato, Versage e Lamberts (2011) sugerem que para o dormitório deve se simular com os valores de calor dissipado de 81 W por pessoa, e para atividade da sala (sentado ou assistindo TV) o calor dissipado é de 108 W por pessoa.

Já para o padrão de uso da iluminação, considera-se que os usuários utilizam a iluminação artificial no dormitório, entre 6h as 7h da manhã, entre as 21h as 23h no período noturno. Na sala os usuários utilizam a iluminação artificial durante o período das 17h as 21h (SORGATO; VERSAGE; LAMBERTS, 2011).

Chvatal e Roriz (2015) também fizeram estudos com o método de simulação computacional e apresentam uma sugestão em que se cria um modelo digital, em que construção é submetida ao clima local, levando-se em conta a evolução das temperaturas internas emuladas e comparando-se os valores máximos e mínimos atingidos a valores de referência. Em relação aos dados climáticos os autores mencionados descrevem que uma dificuldade encontrada é que poucas cidades estão listadas nominalmente e a observação gráfica pode dar margem a uma interpretação equivocada.

A inserção dos dados climáticos referentes ao local no programa de simulação é de vital importância, pois possui um impacto significativo no desempenho. A Norma exige que as avaliações sejam feitas para o que denomina de *dias típicos de projeto de verão e de inverno* (CHVATAL; RORIZ, 2015).

Os mesmos autores também questionam sobre o fato da análise não ser feita utilizando-se dados climáticos anuais, pois considera-se esse tipo de avaliação mais confiável por utilizar dados horários de um ano representativo do clima. Dessa forma, as variações climáticas e o comportamento do edifício frente a elas podem ser contemplados, o que não é possível quando se analisa apenas um dia. Esse ano representativo é obtido através da aplicação de métodos estatísticos em séries históricas de dados. Os resultados podem ser avaliados em função dos graus-hora

de desconforto devido ao calor ou ao frio, ou aos graus-hora de resfriamento e de aquecimento. (CHVATAL; RORIZ, 2015).

Destaca-se que a Norma em estudo em nenhum momento faz referência à consideração de estratégias de condicionamento térmico passivo na simulação, pois deveria ser incentivado, para propiciar um melhor desempenho térmico sem gasto excessivo de energia. (CHVATAL; RORIZ, 2015).

O que se observa é que as normas de desempenho representam um grande avanço no setor da construção civil, por isso é importante que se mantenha a discussão sobre sua aplicação e viabilidade, a fim de garantir seu aperfeiçoamento, dessa maneira os autores citados acima, trouxeram questões e sugestões para a melhoria da ABNT NBR 15575 relativos ao desempenho térmico (CHVATAL; RORIZ, 2015).

### 3 MÉTODO

Neste capítulo apresentam-se os procedimentos metodológicos utilizados para analisar o objeto de estudo na zona bioclimática 2, a partir do desempenho térmico da unidade habitacional pelo método de graus-hora e a da Norma NBR 15575. Primeiramente fez-se a modelagem do objeto de estudo com o emprego do software OpenStudio e EnergyPlus, logo após, fez-se a simulação das diferentes características construtivas e orientações adotadas. Ao final, avaliou-se os resultados da simulação computacional, almejando-se uma comparação de como as diretrizes distintas tratam a mesma edificação.

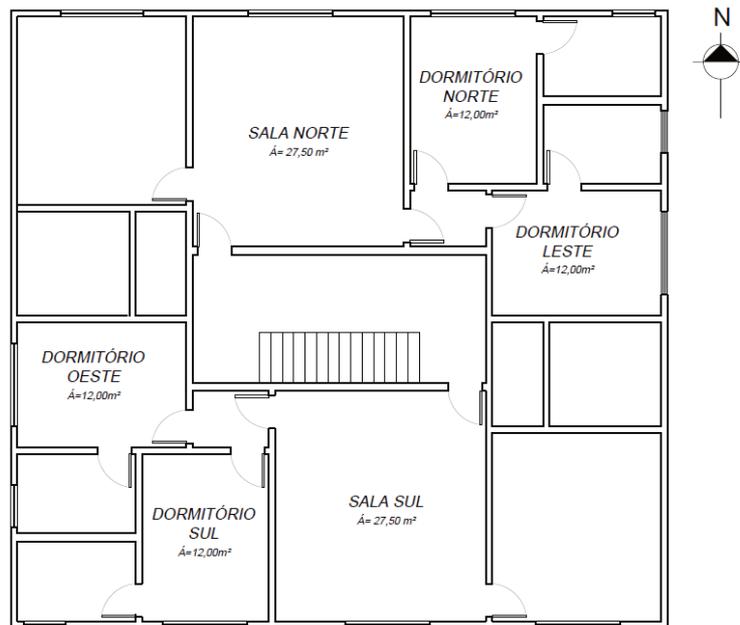
#### 3.1 OBJETO DE ESTUDO

A edificação tema deste estudo se deu num projeto de edifício residencial com quatro pavimentos, contendo dois apartamentos no sentido leste-oeste, permitindo que haja quatro dormitórios com 12,00 m<sup>2</sup> de área, cada um voltado para uma fachada (leste, oeste, norte e sul) e duas salas de estar com 27,50 m<sup>2</sup> que têm abertura para norte e sul.

Tal disposição permitiu avaliar tanto o desempenho térmico dos dormitórios voltados para todas as fachadas, quanto avaliar os cômodos com abertura para oeste e sul, conforme exige a NBR 15575.

Adotou-se o último pavimento, como exige a NBR 15575, porém, para se ter menos influência do impacto da cobertura, será avaliado uma cobertura com baixa transmitância térmica e baixa absorvidade, reduzindo a influência da cobertura no sistema.

Figura 6: Planta do Edifício



Fonte: o autor, 2017

### 3.2 PARÂMETROS PARA SIMULAÇÃO

De forma a comparar o desempenho de edifícios, coube analisar variações das propriedades construtivas e de uso do pavimento tipo estudado a fim de caracterizar desempenho térmico pela simulação dos vários modelos que foram gerados. Isto significa que, a partir de um grupo de variáveis analisadas (p.ex. propriedades de condução das paredes, carga térmica do edifício etc.) foram gerados 16 modelos, simulados no programa EnergyPlus resultando nas variáveis dependentes de temperatura operativa interna e externa. É por meio destes dados que foi possível analisar o desempenho térmico do edifício. O parâmetro de análise é a avaliação do edifício de acordo com o que rege a ABNT NBR 15575. O próximo parâmetro de análise dos resultados será pelo método graus-horas de resfriamento e graus-graus aquecimento de acordo com as propriedades construtivas, a carga térmica, a orientação dos cômodos e o arquivo climático que foram adotados.

Para avaliação conforme os critérios da NBR 15575 foram adotadas as mesmas variações construtivas da etapa anterior, exceto que a unidade habitacional analisada será apenas a com aberturas oeste e sul (Unidade 1), não será adotado

carga térmica e ocorrerá apenas uma troca de ar por hora nos cômodos (1 Ren/h) conforme a norma discrimina.

Para elaborar as simulações no EnergyPlus, houve a necessidade de especificar os elementos e materiais que compõem os sistemas construtivos utilizados no modelo. Para definir as propriedades, foi utilizado o relatório interno desenvolvido pelo LabEEE, pois este relatório adapta os dados à realidade brasileira (ORDENES, 2003). A tabela 3 apresenta as propriedades termofísicas dos materiais adotados para paredes, coberturas, forro e piso.

Tabela 3: Propriedades termofísicas dos materiais

| Materiais  | Espessura (eq.) (m) | Condutividade (W/m.K) | Densidade (eq.) (Kg/m <sup>3</sup> ) | Calor específico (J/Kg.K) | Emissividade | Absorção solar | Absorção visível | Resistência térmica (m <sup>2</sup> .K/W) |
|--|---------------------|-----------------------|--------------------------------------|---------------------------|--------------|----------------|------------------|---|
| Bloco Cerâmico   | 0,0165              | 0,9                   | 1600                                 | 920                       | 0,9          | 0,7            | 0,7              | 0,018                                     |
| Câmara de ar – Bloco cerâmico                            | -                   | -                     | -                                    | -                         | -            | -              | -                | 0,311                                     |
| Bloco de concreto  | 0,03                | 1,75                  | 2400                                 | 1000                      | 0,9          | 0,7            | 0,7              | 0,017                                     |
| Câmara de ar – bloco de concreto                         | -                   | -                     | -                                    | -                         | -            | -              | -                | 0,127                                     |
| Argamassa de revestimento 25mm (pintura branca)***       | 0,025               | 1,15                  | 2000                                 | 1000                      | 0,9          | 0,3            | 0,3              | 0,022                                     |
| Argamassa de revestimento 25mm (pintura cinza escuro)*** | 0,025               | 1,15                  | 2000                                 | 1000                      | 0,9          | 0,7            | 0,7              | 0,022                                     |
| Gesso  | 0,02                | 0,35                  | 900                                  | 870                       | 0,9          | 0,7            | 0,7              | 0,057                                     |
| Cobertura Fibrocimento **                                | 0,008               | 0,95                  | 1900                                 | 840                       | 0,9          | 0,3            | 0,3              | 0,007                                     |
| Câmara de ar – alta emissividade                         | -                   | -                     | -                                    | -                         | -            | -              | -                | 0,21                                      |
| EPS 3cm  | 0,05                | 35                    | 0,04                                 | 1420                      | 0,9          | 0,3            | 0,3              | 0,86                                      |
| Laje de concreto (10cm) ***                              | 0,1                 | 1,75                  | 2400                                 | 1000                      | 0,9          | 0,3            | 0,3              | 0,114                                     |
| Piso concreto (Laje mista de 12cm) **                    | 0,095               | 1,05                  | 1087                                 | 920                       | 0,9          | 0,5            | 0,5              | 0,09                                      |
| Madeira porta (30mm) ***                                 | 0,03                | 0,29                  | 800                                  | 1340                      | 0,9          | 0,3            | 0,3              | -   |

Fonte: Adaptado de Ordenes (2003)

A norma de desempenho 15575, orienta a escolha de um dia típico de projeto de verão e inverno, mas a norma não apresenta dias típicos para a zona bioclimática 2. Para a análise desse estudo, as condições climáticas para a cidade de Santa Maria-RS, foram utilizados os dados de temperatura máxima diária de verão de e temperatura mínima diária no inverno (FLORES, 2014).

Tabela 4: Condições Climáticas para a cidade de Santa Maria-RS

| Cidade/estado                        | Santa Maria/RS |
|--------------------------------------|----------------|
| Zona bioclimática                    | 2              |
| Temperatura Máxima diária de verão   | 33,1°C         |
| Temperatura Mínima diária de inverno | 2,4°C          |

Fonte: Flores, 2014

A Tabela 5 apresenta as características construtivas adotadas para as simulações.

Tabela 5: Características construtivas

| Sistema/elemento construtivo                 | Característica  |
|--|---|
| Sistema de vedação vertical externa          | Bloco de concreto 14X29X39, reboco externo 2,5cm, revestimento interno de gesso 2cm                                       |
|  | Bloco cerâmico 14X19X29, reboco externo 2,5cm, reboco, revestimento interno de gesso 2cm                                  |
| Sistema de Cobertura                         | Laje de concreto maciço 10 cm, eps (3cm), camada de ar de alta emissividade e telha de fibrocimento 8mm pintada de branca |
| Sistema de piso entre unidades habitacionais | Laje de concreto maciço 12 cm.  |
| Aberturas externas                           | Vidro simples 3mm   |
|  | Vidro simples 3 mm com uso de persiana interna  |
| Ventilação                                   | Troca de ar 1ren/h  |
| Carga Térmica                                | Duas pessoas por quarto computadas entre às 21hr e as 07hr, 81w/pessoa  |
|  | Sala de estar 50% padrão de ocupação do apartamento, das 14hrs até 18hrs e metabolismo de 101w/pessoa                     |
|  | Iluminação dos quartos entre 6-7hrs e 21-23hrs  |
|  | Iluminação da sala de estar entre 17-21hrs.   |
| Sem carga térmica                            | Não serão computados carga térmica de pessoas e equipamentos.   |
| Absortância a radiação solar                 | Clara ( $\alpha=0,3$ )  |
|  | Escura ( $\alpha=0,7$ )   |

Fonte: o autor, 2018

Os materiais e parâmetros adotados tentam se aproximar de práticas construtivas recorrentes no Brasil assim como foram escolhidos de forma a produzir resultados relevantes considerando suas variações. As 16 combinações apresentadas na tabela 6 são reproduzidas para todos os ambientes de permanência prolongada, dormitório com janela voltada à leste, oeste, norte e sul,

para a sala do apartamento 1 e do apartamento 2, totalizando 6 zonas térmicas, sendo necessárias 96 simulações.

O arquivo climático adotado foi do INMET do ano de 2016 da cidade de Santa Maria-RS pertencente à Zona bioclimática 2 e disponível no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE).

Para esse estudo, para a comparação do método da NBR 15575 foram escolhidos 4 dias de verão, utilizando-se o mês de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro e 4 dias de inverno, utilizando-se os meses de junho, julho, agosto e setembro.

Já para comparação de desempenho térmico pelo método de graus-hora foram utilizadas todas as horas do ano. Para esse estudo, a temperatura base para o cálculo de graus-hora de resfriamento foi de 26°C e a temperatura base para o cálculo de graus-hora de aquecimento foi de 18°C.

A Tabela 6, demonstra a identificação das combinações para os parâmetros simulados.

Tabela 6: Identificação dos parâmetros simulados

| <b>IDENTIFICAÇÃO</b> | <b>Composição do SVVE</b> |                      | <b>Absortância</b> | <b>Ren/h</b> | <b>Carga térmica</b> |
|----------------------|---------------------------|----------------------|--------------------|--------------|----------------------|
| <b>BCON1</b>         | Bloco de concreto         | Vidro simples        | $\alpha = 0,3$     | 1            | Não                  |
| <b>BCON2</b>         | Bloco de concreto         | Vidro simples        | $\alpha = 0,7$     | 1            | Não                  |
| <b>BCON3</b>         | Bloco de concreto         | Vidro c/<br>persiana | $\alpha = 0,3$     | 1            | Não                  |
| <b>BCON4</b>         | Bloco de concreto         | Vidro c/<br>persiana | $\alpha = 0,7$     | 1            | Não                  |
| <b>BCON5</b>         | Bloco de concreto         | Vidro simples        | $\alpha = 0,3$     | 1            | Carga térmica        |
| <b>BCON6</b>         | Bloco de concreto         | Vidro simples        | $\alpha = 0,7$     | 1            | Carga térmica        |
| <b>BCON7</b>         | Bloco de concreto         | Vidro c/<br>persiana | $\alpha = 0,3$     | 1            | Carga térmica        |
| <b>BCON8</b>         | Bloco de concreto         | Vidro c/<br>persiana | $\alpha = 0,7$     | 1            | Carga térmica        |
| <b>BCER1</b>         | Bloco Cerâmico            | Vidro simples        | $\alpha = 0,3$     | 1            | Não                  |
| <b>BCER2</b>         | Bloco Cerâmico            | Vidro simples        | $\alpha = 0,7$     | 1            | Não                  |
| <b>BCER3</b>         | Bloco Cerâmico            | Vidro c/<br>persiana | $\alpha = 0,3$     | 1            | Não                  |
| <b>BCER4</b>         | Bloco Cerâmico            | Vidro c/<br>persiana | $\alpha = 0,7$     | 1            | Não                  |

|              |                |                      |                |   |               |
|--------------|----------------|----------------------|----------------|---|---------------|
| <b>BCER5</b> | Bloco Cerâmico | Vidro simples        | $\alpha = 0,3$ | 1 | Carga térmica |
| <b>BCER6</b> | Bloco Cerâmico | Vidro simples        | $\alpha = 0,7$ | 1 | Carga térmica |
| <b>BCER7</b> | Bloco Cerâmico | Vidro c/<br>persiana | $\alpha = 0,3$ | 1 | Carga térmica |
| <b>BCER8</b> | Bloco Cerâmico | Vidro c/<br>persiana | $\alpha = 0,7$ | 1 | Carga térmica |

Fonte: o autor, 2018

## 4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo os resultados obtidos dos parâmetros simulados, são apresentados.

### 4.1 SISTEMA CONSTRUTIVO BCON1 E BCON2

Os sistemas construtivos BCON1 foram utilizados para identificar as características de materiais dos blocos de concreto, com cobertura de fibrocimento, vidro simples e com absorvância radiação solar da superfície externa  $\alpha=0,3$ , e o sistema construtivo BCON2 foram empregados para identificação dos blocos de concreto com absorvância radiação solar da superfície externa  $\alpha=0,7$ .

#### 4.1.1 Desempenho térmico pelo método da NBR 15575

Os resultados dos dados gerados pelas simulações foram tabulados para permitir a classificação e comparação direta da temperatura externa, para as diferentes condições estudadas.

Percebe-se que a temperatura no interior das unidades habitacionais foi melhor às do ambiente externo, conforme critérios da NBR 15575-1, para todos os ambientes de permanência prolongada. Sendo que, para a condição de verão foi considerado o valor máximo diário da temperatura do ar interior e para a condição de inverno, foi considerado o valor mínimo diário da temperatura do ar interior, ambos para ambientes de permanência prolongada (salas e dormitórios).

Observando a Tabela 7 (BCON1), percebe-se que para a condição verão, a classificação de desempenho térmico foi superior (S) no mês de dezembro, intermediário (I) nos meses de janeiro e novembro, e mínimo (M) no mês de fevereiro. Para a condição de inverno, o nível é o mínimo (M) nos meses de julho e agosto, com exceção do dormitório norte (DN), que teve um nível intermediário no mês de julho, assim como os meses de junho e setembro.

Tabela 7: Classificação do desempenho térmico: BCON1

| VERÃO  |       |       |         |         |         |         |        |
|--------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|--------|
|        | T. R. | DL    | DN      | DO      | DS      | SN      | SS     |
| 31/jan | 33,1  | 30,94 | I 30,69 | I 30,68 | I 30,28 | I 30,93 | I 30,5 |

|               |      |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |      |   |
|---------------|------|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|------|---|
| <b>04/fev</b> | 33,1 | 32,18 | M | 31,98 | M | 32,01 | M | 31,61 | M | 32,19 | M | 31,9 | M |
| <b>23/nov</b> | 33,1 | 29,79 | I | 29,48 | I | 29,84 | I | 29,24 | I | 29,80 | I | 29,6 | I |
| <b>27/dez</b> | 33,1 | 28,17 | S | 27,74 | S | 27,97 | S | 27,65 | S | 27,99 | S | 27,9 | S |

**INVERNO**

|               | DL  | DN   | DO | DS   | SN | SS   |   |      |   |      |   |      |   |
|---------------|-----|------|----|------|----|------|---|------|---|------|---|------|---|
| <b>09/jun</b> | 2,4 | 8,96 | I  | 9,18 | I  | 8,88 | I | 8,81 | I | 8,99 | I | 8,63 | I |
| <b>11/jul</b> | 2,4 | 7,27 | M  | 7,55 | I  | 7,17 | M | 7,08 | M | 7,26 | M | 6,85 | M |
| <b>11/ago</b> | 2,4 | 7,12 | M  | 7,39 | M  | 6,92 | M | 7,12 | M | 7,12 | M | 6,59 | M |
| <b>01/set</b> | 2,4 | 9,31 | I  | 9,52 | S  | 9,33 | I | 9,20 | I | 9,40 | S | 9,09 | I |

Níveis de desempenho - N/A: não atende. M: mínimo. I: intermediário. S: superior  
T.R. - Temperatura de referência (°C) para a cidade de Santa Maria - RS

Fonte: o autor, 2018.

A partir dos resultados da Tabela 8 (BCON2), pode-se verificar que o desempenho térmico no verão é menor, não atendendo (N/A) o nível de desempenho em fevereiro. Para as condições de inverno, percebe-se que as condições foram melhores, com nível intermediário (I) em julho e agosto, e nível superior (S) em junho e setembro.

Tabela 8: Classificação do desempenho térmico: BCON2

| <b>VERÃO</b>   |          |      |     |      |     |      |     |      |   |      |     |      |   |
|----------------|----------|------|-----|------|-----|------|-----|------|---|------|-----|------|---|
|                | T.<br>R. | DL   | DN  | DO   | DS  | SN   | SS  |      |   |      |     |      |   |
| <b>31/jan</b>  | 33,1     | 32,9 | M   | 32,4 | M   | 32,4 | M   | 31,6 | M | 32,4 | M   | 31,8 | M |
| <b>04/fev</b>  | 33,1     | 33,8 | N/A | 33,4 | N/A | 33,5 | N/A | 32,7 | M | 33,5 | N/A | 32,9 | M |
| <b>23/nov</b>  | 33,1     | 31,5 | M   | 30,9 | I   | 31,6 | M   | 30,5 | I | 31,1 | M   | 30,8 | I |
| <b>27/dez</b>  | 33,1     | 29,9 | I   | 29,1 | I   | 29,7 | I   | 28,9 | S | 29,2 | M   | 29,1 | I |
| <b>INVERNO</b> |          |      |     |      |     |      |     |      |   |      |     |      |   |
|                | DL       | DN   | DO  | DS   | SN  | SS   |     |      |   |      |     |      |   |
| <b>09/jun</b>  | 2,4      | 9,49 | S   | 9,80 | S   | 9,36 | I   | 9,23 | I | 9,55 | S   | 9,02 | I |
| <b>11/jul</b>  | 2,4      | 7,84 | I   | 8,10 | I   | 7,56 | I   | 7,46 | I | 7,74 | I   | 7,17 | M |
| <b>11/ago</b>  | 2,4      | 7,95 | I   | 8,31 | I   | 7,66 | I   | 7,47 | I | 7,96 | I   | 7,19 | M |
| <b>01/set</b>  | 2,4      | 10,0 | S   | 10,2 | S   | 10,0 | S   | 9,81 | S | 10,1 | S   | 9,65 | S |

Níveis de desempenho - N/A: não atende. M: mínimo. I: intermediário. S: superior  
T.R. - Temperatura de referência (°C) para a cidade de Santa Maria - RS

Fonte: o autor, 2018.

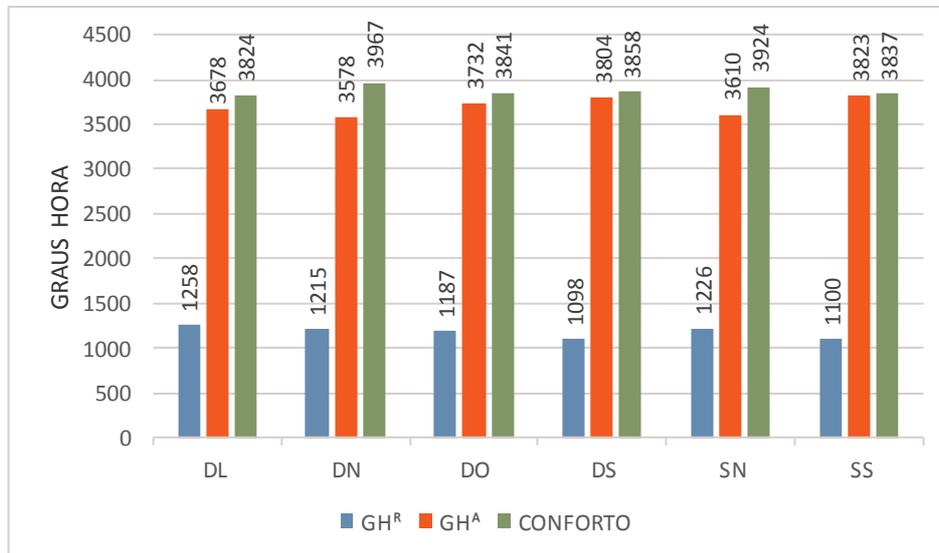
#### 4.1.2 Desempenho térmico pelo método graus-hora

De forma a complementar a avaliação pela NBR 15575, realizou-se a avaliação através do método graus-hora, visto na figura 8 e figura 9 percebe-se um aumento do desconforto no verão e uma melhora no conforto no inverno quando utilizado uma absorvância maior, relacionada ao uso de uma superfície de cor escura.

De acordo com a Figura 7 o dormitório oeste (DO) apresentou 14% das horas em desconforto causado pelo calor (1187) e o dormitório sul (DS) apresentou 43% das horas em desconforto causado pelo frio (3804 horas). A Figura 8 demonstra que o dormitório oeste (DO), teve 21% das horas em desconforto pelo calor (1799 horas), e o dormitório sul (DS), 40% das horas em desconforto pelo frio.

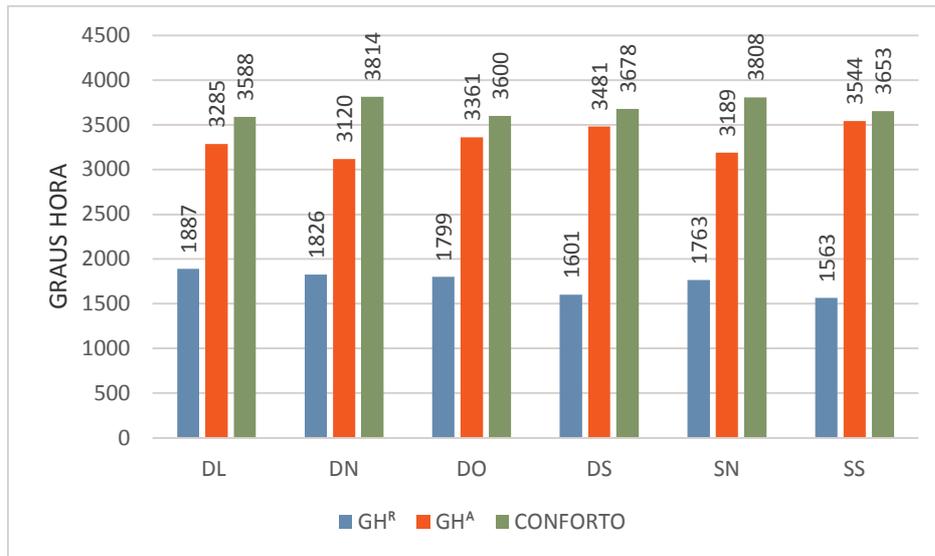
Sendo assim, percebe-se que utilizando a absorvância à radiação solar da superfície externa  $\alpha=0,3$ , o desempenho térmico no verão para o dormitório oeste (DO) teve de 7% das horas em conforto (584 horas) melhor que quanto utilizado a absorvância à radiação solar da superfície externa  $\alpha=0,7$ .

Figura 7: Níveis de graus-hora: BCON1



Fonte: o autor, 2018.

Figura 8: Níveis de graus-hora: BCON2



Fonte: o autor, 2018.

#### 4.2 SISTEMA CONSTRUTIVO BCON3 E BCONC4

Os sistemas construtivos BCON3 foram utilizados para identificar as características de materiais dos blocos de concreto com absorvância radiação solar da superfície externa  $\alpha=0,3$ , e o sistema construtivo BCON4 foram empregados para identificação dos blocos de concreto com absorvância radiação solar da superfície externa  $\alpha=0,7$ , porém neste caso, ambos foram avaliados com o uso de persiana interna.

##### 4.2.1 Desempenho térmico pelo método da NBR 15575

Analisando a Tabela 9 percebe-se que temperatura no interior das unidades habitacionais foram melhores às do ambiente externo, no verão e no inverno, para todos os ambientes de permanência prolongada, conforme critérios da NBR 15575-1. Tendo no verão variação de nível mínimo (M) em fevereiro, intermediário (I) em janeiro e novembro, e superior (S) no mês de dezembro. No inverno a classificação ficou em nível mínimo (M) nos meses de julho e agosto, e com nível intermediário (I) nos meses de junho e julho.

Tabela 9: Classificação do desempenho térmico: BCON3

| VERÃO         |      |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |
|---------------|------|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|
|               | T.R. | DL    |   | DN    |   | DO    |   | DS    |   | SN    |   | SS    |   |
| <b>31/jan</b> | 33,1 | 30,63 | I | 30,40 | I | 30,42 | I | 30,05 | I | 30,62 | I | 30,31 | I |
| <b>04/fev</b> | 33,1 | 31,88 | M | 31,69 | M | 31,76 | M | 31,39 | M | 31,90 | M | 31,64 | M |
| <b>23/nov</b> | 33,1 | 29,50 | I | 29,20 | I | 29,52 | I | 29,00 | S | 29,51 | I | 29,34 | I |
| <b>27/dez</b> | 33,1 | 27,86 | S | 27,47 | S | 27,79 | S | 27,40 | S | 27,73 | S | 27,69 | S |
| INVERNO       |      |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |
|               |      | DL    |   | DN    |   | DO    |   | DS    |   | SN    |   | SS    |   |
| <b>09/jun</b> | 2,4  | 8,95  | I | 9,11  | I | 8,85  | I | 8,78  | I | 8,92  | I | 8,61  | I |
| <b>11/jul</b> | 2,4  | 7,21  | M | 7,42  | I | 7,13  | M | 7,04  | M | 7,24  | M | 6,86  | M |
| <b>11/ago</b> | 2,4  | 7,11  | M | 7,18  | M | 6,9   | M | 6,79  | M | 7,04  | M | 6,56  | M |
| <b>01/set</b> | 2,4  | 9,26  | I | 9,41  | S | 9,29  | I | 9,15  | I | 9,30  | I | 9,04  | I |

Níveis de desempenho - N/A: não atende. M: mínimo. I: intermediário. S: superior  
T.R. - Temperatura de referência (°C) para a cidade de Santa Maria - RS

Fonte: o autor, 2018.

Mesmo com a utilização de persiana interna, a Tabela 10 demonstra que o desempenho térmico no verão não é atendido (N/A), para os ambientes de permanência prolongada, em fevereiro. No mês de janeiro, o nível de desempenho do dormitório oeste (DO) foi mínimo (M) para janeiro e novembro e intermediário (I) para dezembro. Para as condições de inverno, o dormitório sul (DS) teve uma classificação com nível intermediário (I) em junho, julho, agosto, e nível superior (S) em setembro.

Tabela 10: Classificação do desempenho térmico: BCON4

| VERÃO         |      |       |     |       |     |       |     |       |   |       |     |       |   |
|---------------|------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|---|-------|-----|-------|---|
|               | T.R. | DL    |     | DN    |     | DO    |     | DS    |   | SN    |     | SL    |   |
| <b>31/jan</b> | 33,1 | 32,54 | M   | 32,08 | M   | 32,16 | M   | 31,42 | M | 32,13 | M   | 31,56 | M |
| <b>04/fev</b> | 33,1 | 33,53 | N/A | 33,16 | N/A | 33,25 | N/A | 32,55 | M | 33,22 | N/A | 32,71 | M |
| <b>23/nov</b> | 33,1 | 31,27 | M   | 30,69 | I   | 31,30 | M   | 30,34 | I | 30,86 | I   | 30,55 | I |
| <b>27/dez</b> | 33,1 | 29,64 | I   | 28,89 | S   | 29,45 | I   | 28,73 | S | 29,00 | S   | 28,89 | S |
| INVERNO       |      |       |     |       |     |       |     |       |   |       |     |       |   |
|               |      | DL    |     | DN    |     | DO    |     | DS    |   | SN    |     | SL    |   |
| <b>09/jun</b> | 2,4  | 9,47  | S   | 9,72  | S   | 9,34  | I   | 9,20  | I | 9,48  | S   | 9,00  | I |
| <b>11/jul</b> | 2,4  | 7,78  | I   | 8,06  | I   | 7,58  | I   | 7,47  | I | 7,71  | I   | 7,17  | M |
| <b>11/ago</b> | 2,4  | 7,95  | I   | 8,20  | I   | 7,65  | I   | 7,44  | I | 7,87  | I   | 7,16  | M |
| <b>01/set</b> | 2,4  | 9,97  | S   | 10,19 | S   | 9,99  | S   | 9,77  | S | 10,02 | S   | 9,61  | S |

Níveis de desempenho - N/A: não atende. M: mínimo. I: intermediário. S: superior  
T.R. - Temperatura de referência (°C) para a cidade de Santa Maria - RS

Fonte: o autor, 2018.

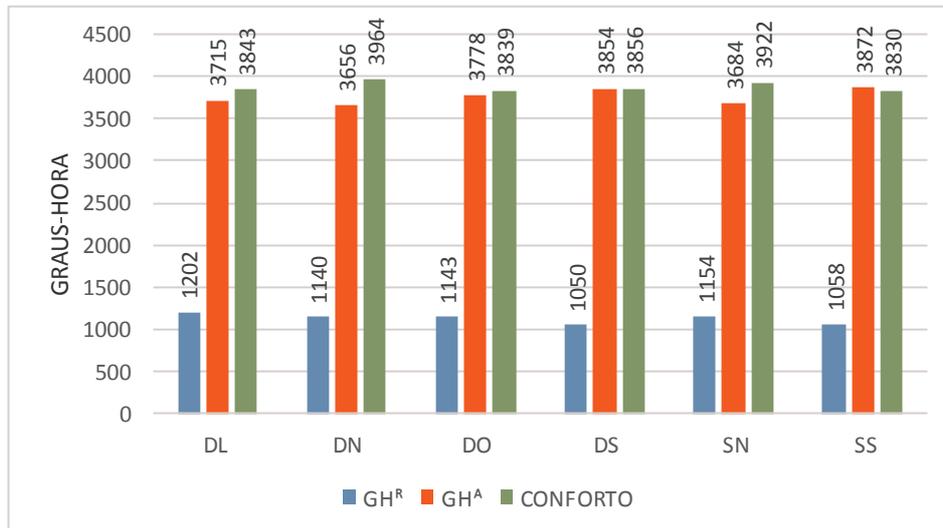
#### 4.2.2 Desempenho térmico pelo método graus-hora

A avaliação dos dados através do método de graus-hora é apresentada na Figura 9 e Figura 10. As opções possuem resultados com melhor desempenho térmico no verão com absorvância na cor clara, pois os graus-hora de resfriamento, são menores do que quando se tem a absorvância na cor escura. Porém, percebe-se os graus-hora de aquecimentos, são maiores para os dias de frio, causando um maior desconforto no inverno.

Um exemplo disso pode-se observar na figura 09 mostra que o dormitório sul (DS), teve melhor desempenho por graus-hora de resfriamento, com 1050 horas, mas que no inverno o desconforto chega a 3854 horas, em torno de 44% das horas do ano em desconforto.

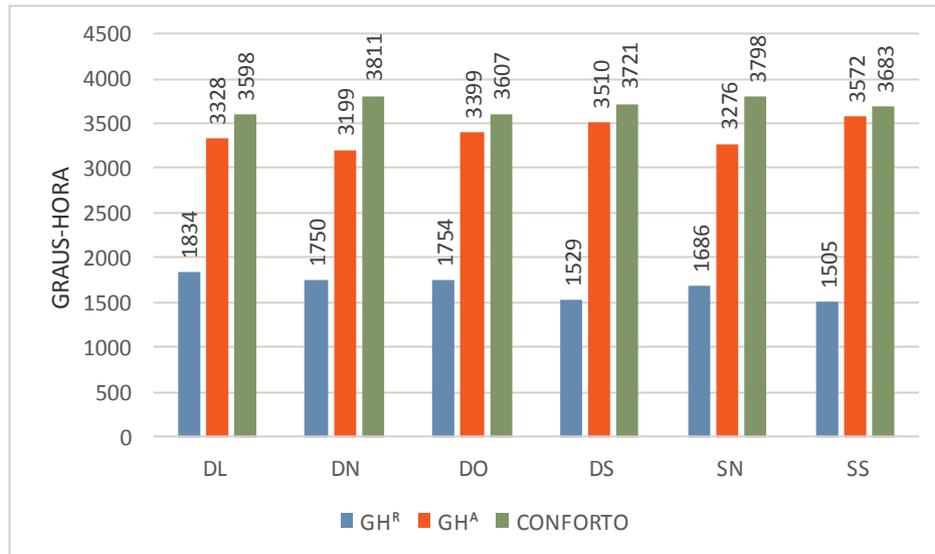
Quando utilizado uma cor com absorvância escura, o mesmo dormitório (DS) reduz seu desconforto para 3510 horas, 4% a menos. Porém para o calor, No (DO) o desconforto chega a 20% das horas em desconforto (1754 horas), como observado na Figura 9.

Figura 9: Níveis de graus-hora: BCON3



Fonte: o autor, 2018.

Figura 10: Níveis de graus-hora: BCON4



Fonte: o autor, 2018.

#### 4.3 SISTEMA CONSTRUTIVO BCON5 E BCON6

Os sistemas construtivos BCON5 foram utilizados para identificar as características de materiais dos blocos de concreto, com cobertura de fibrocimento, vidro simples, absorvância radiação solar da superfície externa  $\alpha=0,3$ , e uso de carga térmica, e o sistema construtivo BCON6 foram avaliados com as mesmas condições, porém com absorvância radiação solar da superfície externa  $\alpha=0,7$ .

##### 4.3.1 Desempenho térmico pelo método da NBR 15575

Considerando-se os resultados expostos na Tabela 11, entende-se que temperatura no interior das unidades habitacionais foram melhores às do ambiente externo, no verão e no inverno, para todos os ambientes de permanência prolongada, conforme critérios da NBR 15575-1. Sendo que no verão, o nível de desempenho foi superior (S) para dezembro, mínimo (M) em janeiro e fevereiro, intermediário (I) em novembro.

No inverno a classificação para o dormitório sul, atingiu nível superior de desempenho (S) nos meses de junho, julho e setembro, e com nível intermediário (I) para agosto. A sala, teve classificação de desempenho mínimo (M) em agosto,

desempenho intermediário (I) em junho e julho, e desempenho superior (S) em setembro.

Tabela 11: Classificação do desempenho térmico: BCON5

| VERÃO         |      |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |
|---------------|------|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|
|               | T.R. | DL    |   | DN    |   | DO    |   | DS    |   | SN    |   | SS    |   |
| <b>31/jan</b> | 33,1 | 31,33 | M | 31,20 | M | 31,13 | M | 30,85 | I | 31,95 | M | 31,61 | M |
| <b>04/fev</b> | 33,1 | 32,51 | M | 32,36 | M | 32,34 | M | 31,99 | M | 33,10 | M | 32,81 | M |
| <b>23/nov</b> | 33,1 | 30,42 | I | 30,26 | I | 30,45 | I | 30,08 | I | 30,89 | I | 30,70 | I |
| <b>27/dez</b> | 33,1 | 28,60 | S | 28,38 | S | 28,46 | S | 28,32 | S | 29,07 | S | 29,03 | S |
| INVERNO       |      |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |
|               |      | DL    |   | DN    |   | DO    |   | DS    |   | SN    |   | SS    |   |
| <b>09/jun</b> | 2,4  | 9,99  | S | 10,28 | S | 9,88  | S | 9,91  | S | 9,62  | S | 9,26  | I |
| <b>11/jul</b> | 2,4  | 8,33  | I | 8,64  | I | 8,15  | I | 8,20  | I | 7,87  | I | 7,45  | I |
| <b>11/ago</b> | 2,4  | 8,15  | I | 8,48  | I | 7,91  | I | 7,91  | I | 7,75  | I | 7,21  | M |
| <b>01/set</b> | 2,4  | 10,29 | S | 10,58 | S | 10,31 | S | 10,27 | S | 9,99  | S | 9,68  | S |

Níveis de desempenho - N/A: não atende. M: mínimo. I: intermediário. S: superior  
T.R. - Temperatura de referência (°C) para a cidade de Santa Maria - RS

Fonte: o autor, 2018.

Avaliando a Tabela 12 pode-se ver para a condição de verão, que em fevereiro, o nível de desempenho térmico, não é atendido em nenhum dos ambientes (salas e dormitórios), bem como a sala norte (SN) no mês de janeiro. Para as condições de inverno, percebe-se que as condições foram melhores, com nível intermediário (I) em julho e agosto, e nível superior (S) em setembro.

Tabela 12: Classificação do desempenho térmico: BCON6

| VERÃO         |      |       |     |       |     |       |     |       |     |       |     |       |     |
|---------------|------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
|               | T.R. | DL    |     | DN    |     | DO    |     | DS    |     | SN    |     | SS    |     |
| <b>31/jan</b> | 33,1 | 33,12 | N/A | 32,77 | M   | 32,76 | M   | 32,07 | M   | 33,34 | N/A | 32,77 | M   |
| <b>04/fev</b> | 33,1 | 34,10 | N/A | 33,79 | N/A | 33,84 | N/A | 33,11 | N/A | 34,30 | N/A | 33,79 | N/A |
| <b>23/nov</b> | 33,1 | 31,98 | M   | 31,53 | M   | 32,03 | M   | 31,22 | M   | 32,14 | M   | 31,84 | M   |
| <b>27/dez</b> | 33,1 | 30,34 | I   | 29,61 | I   | 30,16 | I   | 29,45 | I   | 30,24 | I   | 30,14 | I   |
| INVERNO       |      |       |     |       |     |       |     |       |     |       |     |       |     |
|               |      | DL    |     | DN    |     | DO    |     | DS    |     | SN    |     | SS    |     |
| <b>09/jun</b> | 2,4  | 10,51 | S   | 10,89 | S   | 10,36 | S   | 10,32 | S   | 10,17 | S   | 9,65  | S   |
| <b>11/jul</b> | 2,4  | 8,85  | I   | 9,18  | I   | 8,54  | I   | 8,53  | I   | 8,34  | I   | 7,75  | I   |
| <b>11/ago</b> | 2,4  | 8,97  | I   | 9,38  | I   | 8,65  | I   | 8,54  | I   | 8,58  | I   | 7,81  | I   |
| <b>01/set</b> | 2,4  | 10,98 | S   | 11,35 | S   | 11,01 | S   | 10,88 | S   | 10,68 | S   | 10,23 | S   |

Níveis de desempenho - N/A: não atende. M: mínimo. I: intermediário. S: superior  
T.R. - Temperatura de referência (°C) para a cidade de Santa Maria - RS

Fonte: o autor, 2018.

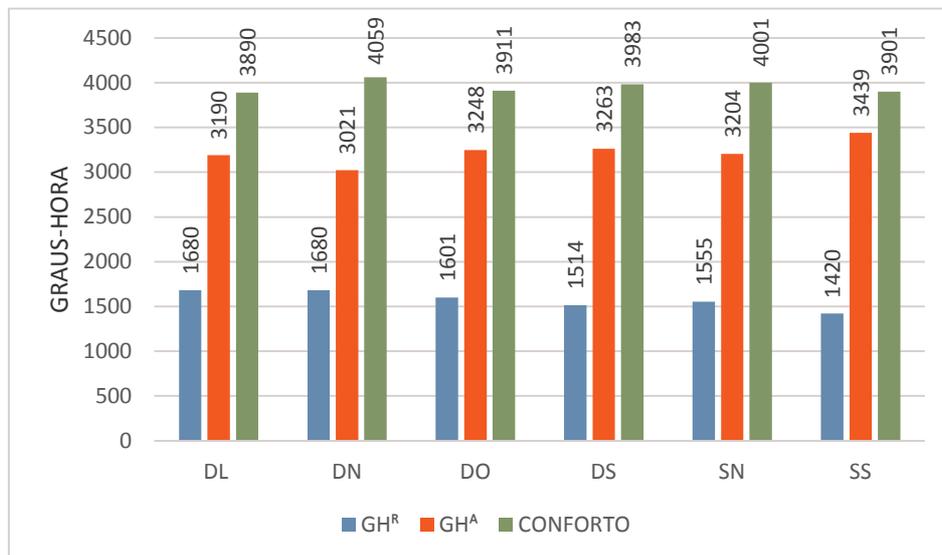
### 4.3.2 Desempenho térmico pelo método graus-hora

A estimativa dos dados através do método de graus-hora, é apresentada na Figura 11 e Figura 12. Devido a carga térmica, em ambos os casos, os graus-hora por resfriamento, é maior, aumentando o desconforto por calor. Também se percebe que os graus-hora de conforto pelo frio, são maiores anualmente, pois se tem uma diminuição dos graus-hora de aquecimento.

A Figura 11 demonstra que os dormitórios tiveram uma média de 18% horas por desconforto térmico pelo calor (1625 horas), 36% das horas em desconforto pelo frio (3180 horas), e as demais horas (46%), em conforto térmico (3955 horas).

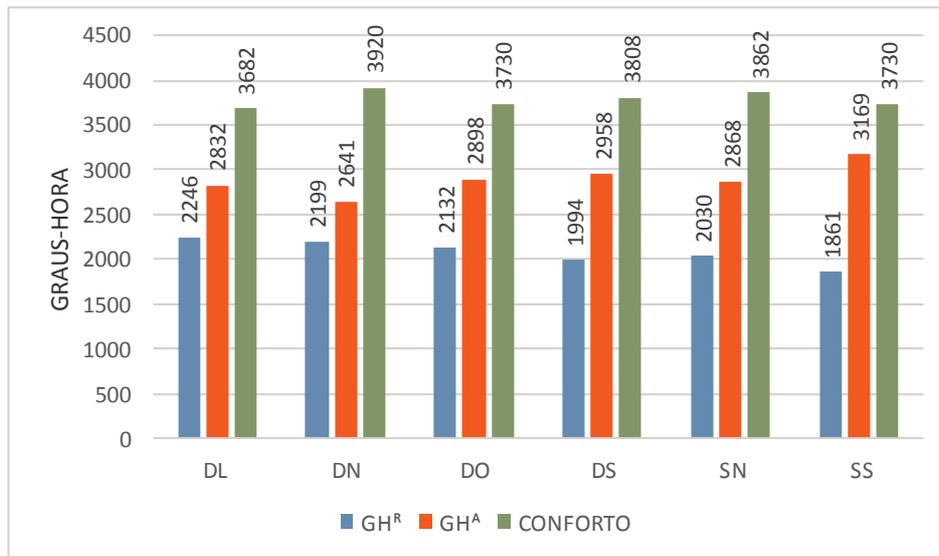
Observando a Figura 12 percebe-se que a média dos graus-hora por resfriamento foi de 25% das horas em desconforto pelo calor (2142 horas), e 32% das horas em desconforto pelo frio (2832 horas), e as demais horas (43%) em conforto térmico (3780).

Figura 11: Níveis de graus-hora: BCON5



Fonte: o autor, 2018.

Figura 12: Níveis de graus-hora: BCON6



Fonte: o autor, 2018.

#### 4.4 SISTEMA CONSTRUTIVO BCON7 E BCON8

Os sistemas construtivos BCON7 foram utilizados para identificar as características de materiais dos blocos de concreto, com cobertura de fibrocimento, vidro simples com o uso de persiana interna, absorvância radiação solar da superfície externa  $\alpha=0,3$ , e uso de carga térmica, e o sistema construtivo BCON8 foram avaliados com as mesmas condições, porém com absorvância radiação solar da superfície externa  $\alpha=0,7$ .

##### 4.4.1 Desempenho térmico pelo método da NBR 15575

Considerando a Tabela 13 entende-se que as condições térmicas no interior das unidades habitacionais foram melhores às do ambiente externo, no verão e no inverno, para todos os ambientes de permanência prolongada, conforme critérios da NBR 15575-1. Sendo que no verão, o nível de desempenho foi superior (S) para dezembro, intermediário (I) em novembro e mínimo (M) para fevereiro.

No inverno a classificação para o dormitório sul, atingiu nível superior de desempenho (S) nos meses de junho, julho e setembro, e com nível intermediário (I) para julho e agosto. A sala, teve classificação de desempenho mínimo (M) em

agosto, desempenho intermediário (I) em julho e julho, e desempenho superior (S) em setembro.

Tabela 13: Classificação do desempenho térmico: BCON7

| VERÃO         |      |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |
|---------------|------|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|
|               | T.R. | DL    |   | DN    |   | DO    |   | DS    |   | SN    |   | SS    |   |
| <b>31/jan</b> | 33,1 | 31,06 | I | 30,95 | I | 30,90 | I | 30,66 | I | 31,67 | M | 31,40 | M |
| <b>04/fev</b> | 33,1 | 32,21 | M | 32,07 | M | 32,01 | M | 31,79 | M | 32,84 | M | 32,61 | M |
| <b>23/nov</b> | 33,1 | 30,19 | I | 30,04 | I | 30,21 | I | 29,89 | I | 30,64 | I | 30,49 | I |
| <b>27/dez</b> | 33,1 | 28,36 | S | 28,17 | S | 28,25 | S | 28,12 | S | 28,83 | S | 28,80 | S |
| INVERNO       |      |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |
|               |      | DL    |   | DN    |   | DO    |   | DS    |   | SN    |   | SS    |   |
| <b>09/jun</b> | 2,4  | 10,02 | S | 10,27 | S | 9,90  | S | 9,93  | S | 9,55  | S | 9,25  | I |
| <b>11/jul</b> | 2,4  | 8,33  | I | 8,59  | I | 8,17  | I | 8,20  | I | 7,85  | I | 7,48  | I |
| <b>11/ago</b> | 2,4  | 8,20  | I | 8,44  | I | 7,90  | I | 7,90  | I | 7,66  | I | 7,20  | M |
| <b>01/set</b> | 2,4  | 10,27 | S | 10,49 | S | 10,27 | S | 10,24 | S | 9,91  | S | 9,66  | S |

Níveis de desempenho - N/A: não atende. M: mínimo. I: intermediário. S: superior  
T.R. - Temperatura de referência (°C) para a cidade de Santa Maria - RS

Fonte: o autor, 2018.

Na Tabela 14 pode-se ver para a condição de verão, que em fevereiro, o nível de desempenho térmico, não é atendido em nenhum dos ambientes (salas e dormitórios). Para as condições de inverno, percebe-se que as condições foram melhores, com nível intermediário (I) em julho e agosto, e nível superior (S) em junho e setembro.

Tabela 14: Classificação do desempenho térmico: BCON8

| VERÃO         |      |       |     |       |     |       |     |       |   |       |     |       |     |
|---------------|------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|---|-------|-----|-------|-----|
|               | T.R. | DL    |     | DN    |     | DO    |     | DS    |   | SN    |     | SS    |     |
| <b>31/jan</b> | 33,1 | 32,90 | M   | 32,47 | M   | 32,49 | M   | 31,88 | M | 33,08 | M   | 32,57 | M   |
| <b>04/fev</b> | 33,1 | 33,82 | N/A | 33,51 | N/A | 33,56 | N/A | 32,91 | M | 34,05 | N/A | 33,60 | N/A |
| <b>23/nov</b> | 33,1 | 31,71 | M   | 31,31 | M   | 31,76 | M   | 31,04 | I | 31,90 | M   | 31,63 | M   |
| <b>27/dez</b> | 33,1 | 30,04 | I   | 29,37 | I   | 29,84 | I   | 29,25 | I | 30,01 | I   | 29,92 | I   |
| INVERNO       |      |       |     |       |     |       |     |       |   |       |     |       |     |
|               |      | DL    |     | DN    |     | DO    |     | DS    |   | SN    |     | SS    |     |
| <b>09/jun</b> | 2,4  | 10,55 | S   | 10,88 | S   | 10,38 | S   | 10,34 | S | 10,11 | S   | 9,64  | S   |
| <b>11/jul</b> | 2,4  | 8,89  | I   | 9,20  | I   | 8,56  | I   | 8,55  | I | 8,33  | I   | 7,79  | I   |
| <b>11/ago</b> | 2,4  | 9,01  | I   | 9,34  | I   | 8,64  | I   | 8,54  | I | 8,50  | I   | 7,80  | I   |
| <b>01/set</b> | 2,4  | 10,96 | S   | 11,26 | S   | 10,97 | S   | 10,84 | S | 10,61 | S   | 10,22 | S   |

Níveis de desempenho - N/A: não atende. M: mínimo. I: intermediário. S: superior  
T.R. - Temperatura de referência (°C) para a cidade de Santa Maria - RS

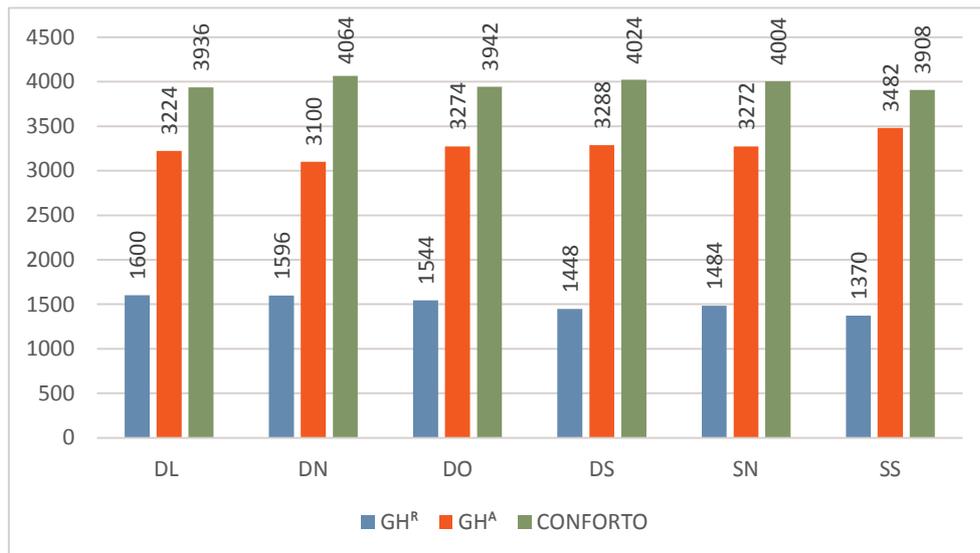
Fonte: o autor, 2018.

#### 4.4.2 Desempenho térmico pelo método graus-hora

A estimativa dos dados através do método de graus-hora, é apresentada na Figura 13 e Figura 14. Devido a carga térmica, em ambos os casos, os graus-hora por resfriamento, é maior, aumentando o desconforto por calor. Também se percebe que os graus-hora de conforto pelo frio, são maiores anualmente, pois se tem uma diminuição dos graus-hora de aquecimento.

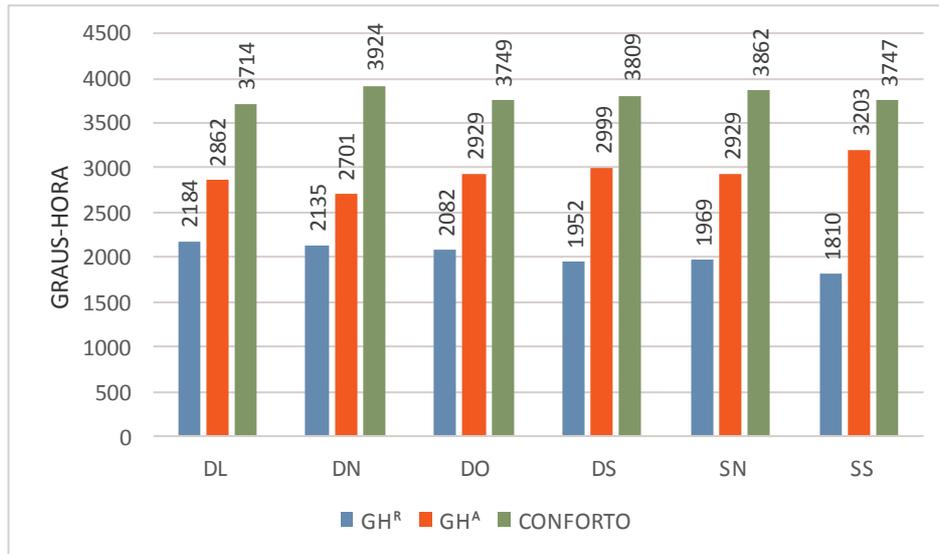
Devido ao uso de persiana interna, a Figura 14, demonstra que os dormitórios tiveram um pouco de melhora no conforto térmico, tendo uma média de 17% horas por desconforto térmico pelo calor (1547 horas), 37% das horas em desconforto pelo frio (3220 horas), e as demais horas (46%), em conforto térmico (3993 horas).

Figura 13: Níveis de graus-hora: BCON7



Fonte: o autor, 2018.

Figura 14: Níveis de graus-hora: BCON8



Fonte: o autor, 2018.

#### 4.5 SISTEMA CONSTRUTIVO BCER1 E BCER2

Os sistemas construtivos BCER1 foram utilizados para identificar as características de materiais dos blocos cerâmicos, com cobertura de fibrocimento, vidro simples e com absorvância radiação solar da superfície externa  $\alpha=0,3$ , e o sistema construtivo BCER2 com absorvância radiação solar da superfície externa  $\alpha=0,7$ .

##### 4.5.1 Desempenho térmico pelo método da NBR 15575

Considerando a Tabela 15 entende-se que a temperatura no interior das unidades habitacionais foram melhores às do ambiente externo, no verão e no inverno, para todos os ambientes de permanência prolongada, conforme critérios da NBR 15575-1. Sendo que no verão, o nível de desempenho foi superior (S) para dezembro, intermediário (I) em novembro e mínimo (M) para fevereiro.

No inverno a classificação para todos os ambientes, atingiu nível intermediário de desempenho (I) nos meses de junho e setembro, e com nível mínimo (m) para julho e agosto.

Tabela 15: Classificação do desempenho térmico: BCER1

| <b>VERÃO</b>   |      |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |
|----------------|------|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|
|                | T.R. | DL    |   | DN    |   | DO    |   | DS    |   | SN    |   | SS    |   |
| <b>31/jan</b>  | 33,1 | 31,66 | M | 31,44 | M | 31,50 | M | 30,98 | I | 31,59 | M | 31,19 | M |
| <b>04/fev</b>  | 33,1 | 32,72 | M | 32,55 | M | 32,67 | M | 32,15 | M | 32,70 | M | 32,34 | M |
| <b>23/nov</b>  | 33,1 | 30,81 | I | 30,50 | I | 31,01 | I | 30,27 | I | 30,72 | I | 30,50 | I |
| <b>27/dez</b>  | 33,1 | 28,91 | S | 28,49 | S | 28,78 | S | 28,40 | S | 28,66 | S | 28,60 | S |
| <b>INVERNO</b> |      |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |
|                |      | DL    |   | DN    |   | DO    |   | DS    |   | SN    |   | SS    |   |
| <b>09/jun</b>  | 2,4  | 8,49  | I | 8,69  | I | 8,42  | I | 8,36  | I | 8,56  | I | 8,23  | I |
| <b>11/jul</b>  | 2,4  | 6,63  | M | 6,79  | M | 6,40  | M | 6,36  | M | 6,58  | M | 6,19  | M |
| <b>11/ago</b>  | 2,4  | 6,51  | M | 6,73  | M | 6,31  | M | 6,23  | M | 6,56  | M | 6,06  | M |
| <b>01/set</b>  | 2,4  | 9,09  | I | 9,28  | I | 9,12  | I | 9,01  | I | 9,20  | I | 8,91  | I |

Fonte: o autor, 2018.

Na Tabela 16 pode-se ver para a condição de verão, que em fevereiro, o nível de desempenho térmico, não é atendido (N/A), em nenhum dos ambientes (salas e dormitórios). Também se tem um desempenho mínimo (M) em janeiro e novembro, e um desempenho intermediário (I) no mês de dezembro. Para as condições de inverno, percebe-se que com nível mínimo (M) em julho e agosto, nível intermediário em junho, e superior (S) em setembro.

Tabela 16: Classificação do desempenho térmico: BCER2

| <b>VERÃO</b>   |      |       |     |       |     |       |     |       |   |       |     |       |     |
|----------------|------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|---|-------|-----|-------|-----|
|                | T.R. | DL    |     | DN    |     | DO    |     | DS    |   | SN    |     | SS    |     |
| <b>31/jan</b>  | 33,1 | 33,19 | N/A | 32,81 | M   | 32,98 | M   | 32,10 | M | 32,82 | M   | 32,17 | M   |
| <b>04/fev</b>  | 33,1 | 34,00 | N/A | 33,74 | N/A | 33,97 | N/A | 33,08 | M | 33,74 | N/A | 33,17 | N/A |
| <b>23/nov</b>  | 33,1 | 32,22 | M   | 31,72 | M   | 32,52 | M   | 31,35 | M | 31,78 | M   | 31,47 | M   |
| <b>27/dez</b>  | 33,1 | 30,31 | I   | 29,65 | I   | 30,19 | I   | 29,48 | I | 29,67 | I   | 29,55 | I   |
| <b>INVERNO</b> |      |       |     |       |     |       |     |       |   |       |     |       |     |
|                |      | DL    |     | DN    |     | DO    |     | DS    |   | SN    |     | SS    |     |
| <b>09/jun</b>  | 2,4  | 8,86  | I   | 9,12  | I   | 8,77  | I   | 8,66  | I | 8,94  | I   | 8,50  | I   |
| <b>11/jul</b>  | 2,4  | 6,96  | M   | 7,16  | M   | 6,68  | M   | 6,61  | M | 6,92  | M   | 6,41  | M   |
| <b>11/ago</b>  | 2,4  | 7,09  | M   | 7,36  | M   | 6,84  | M   | 6,69  | M | 7,13  | M   | 6,48  | M   |
| <b>01/set</b>  | 2,4  | 9,56  | S   | 9,80  | S   | 9,59  | S   | 9,42  | S | 9,67  | S   | 9,29  | I   |

Fonte: o autor, 2018

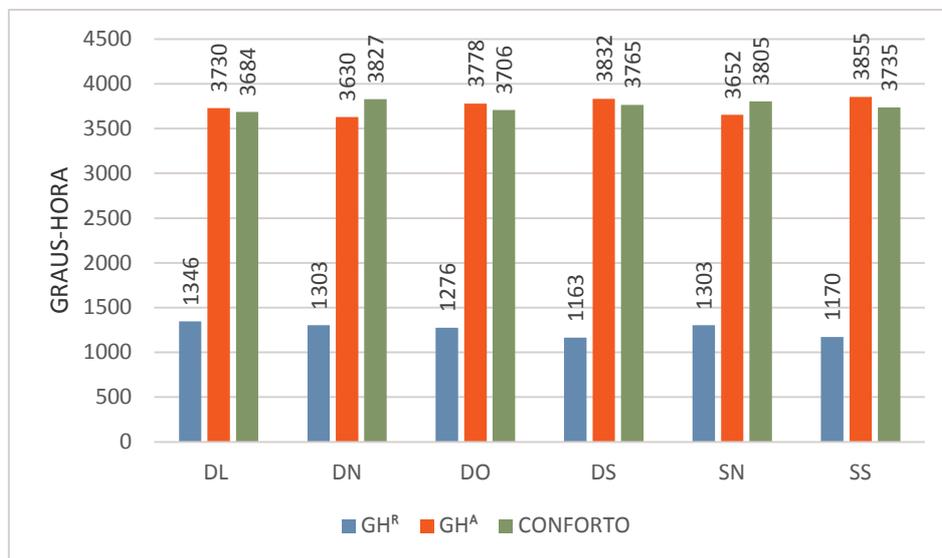
#### 4.5.2 Desempenho térmico pelo método graus-hora

De forma a complementar a avaliação pela NBR 15575, realizou-se a avaliação através do método graus-hora, visto na Figura 15 e Figura 16 percebe-se um aumento do desconforto no verão e uma melhora no conforto no inverno quando utilizado uma absorptância escura.

De acordo com a figura 15 o dormitório oeste (DO) apresentou 14% das horas em desconforto causado pelo calor (1276 horas), e o dormitório sul (DS) apresentou 44% das horas em desconforto causado pelo frio (3832 horas). A Figura 16 demonstra que o dormitório oeste (DO), teve 20% das horas em desconforto pelo calor (1716 horas), e o dormitório sul (DS), 41% das horas em desconforto pelo frio (3599 horas).

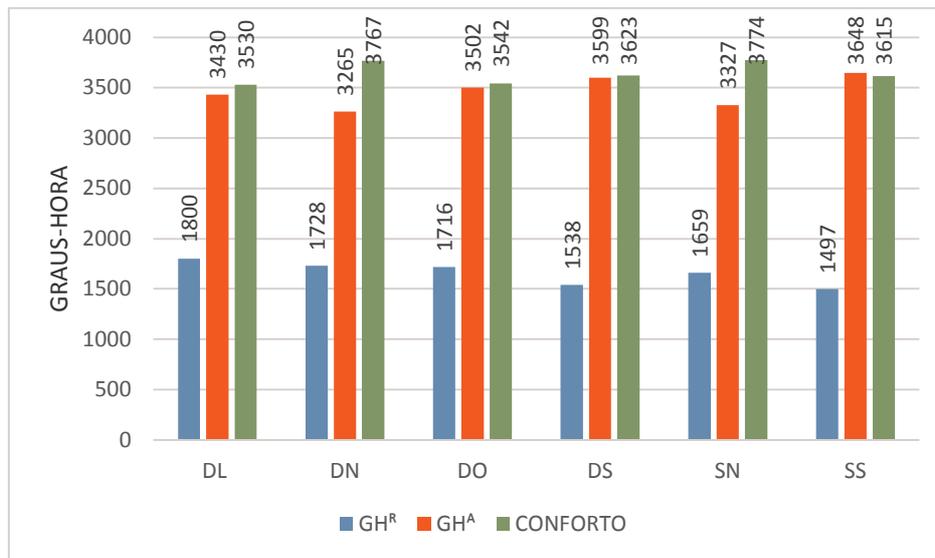
Sendo assim, percebe-se que utilizando a absorptância à radiação solar da superfície externa  $\alpha=0,3$ , o desempenho térmico no verão para o dormitório oeste (DO) teve de 6% das horas em conforto (440 horas) melhor que quanto utilizado a absorptância à radiação solar da superfície externa  $\alpha=0,7$ .

Figura 15: Níveis de graus-hora: BCER1



Fonte: o autor, 2018.

Figura 16: Níveis de graus-hora: BCER2



Fonte: o autor, 2018.

#### 4.6 SISTEMA CONSTRUTIVO BCER3 E BCER4

Os sistemas construtivos BCER3 foram utilizados para identificar as características de materiais dos blocos de concreto com absorvância radiação solar da superfície externa  $\alpha=0,3$ , e o sistema construtivo BCER4 foram empregados para identificação dos blocos de concreto com absorvância a radiação solar da superfície externa  $\alpha=0,7$ , porém neste caso, ambos foram avaliados com o uso de persiana interna.

##### 4.6.1 Desempenho térmico pelo método da NBR 15575

Analisando a Tabela 17 percebe-se que a temperatura no interior das unidades habitacionais foram melhores às do ambiente externo, no verão e no inverno, para todos os ambientes de permanência prolongada, conforme critérios da NBR 15575-1. Observando o dormitório oeste e sala norte, o desempenho no verão teve variação de nível mínimo (M) em janeiro e fevereiro, intermediário (I) novembro, e superior (S) no mês de dezembro. No inverno, para o dormitório sul e sala sul, a classificação ficou em nível mínimo (M) nos meses de julho e agosto, e com nível intermediário (I) nos meses de junho e julho.

Tabela 17: Classificação do desempenho térmico: BCER3

| <b>VERÃO</b>   |      |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |   |
|----------------|------|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|----|-------|---|
|                | T.R. | DL    |   | DN    |   | DO    |   | DS    |   | SN    | SL |       |   |
| <b>31/jan</b>  | 33,1 | 31,27 | M | 31,06 | I | 31,14 | M | 30,72 | I | 31,22 | M  | 30,92 | I |
| <b>04/fev</b>  | 33,1 | 32,36 | M | 32,19 | M | 32,31 | M | 31,88 | M | 32,35 | M  | 32,09 | M |
| <b>23/nov</b>  | 33,1 | 30,44 | I | 30,17 | I | 30,57 | I | 30,00 | I | 30,38 | I  | 30,21 | I |
| <b>27/dez</b>  | 33,1 | 28,52 | S | 28,17 | S | 28,42 | S | 28,09 | S | 28,35 | S  | 28,30 | S |
| <b>INVERNO</b> |      |       |   |       |   |       |   |       |   |       |    |       |   |
|                |      | DL    |   | DN    |   | DO    |   | DS    |   | SN    | SL |       |   |
| <b>09/jun</b>  | 2,4  | 8,49  | I | 8,61  | I | 8,40  | I | 8,33  | I | 8,49  | I  | 8,21  | I |
| <b>11/jul</b>  | 2,4  | 6,68  | M | 6,74  | M | 6,41  | M | 6,38  | M | 6,55  | M  | 6,19  | M |
| <b>11/ago</b>  | 2,4  | 6,51  | M | 6,62  | M | 6,29  | M | 6,20  | M | 6,46  | M  | 6,03  | M |
| <b>01/set</b>  | 2,4  | 9,05  | I | 9,18  | I | 9,07  | I | 8,96  | I | 9,09  | I  | 8,87  | I |

Níveis de desempenho - N/A: não atende. M: mínimo. I: intermediário. S: superior  
T.R. - Temperatura de referência (°C) para a cidade de Santa Maria - RS.

Fonte: o autor, 2018.

A Tabela 18 demonstra que o desempenho térmico no verão não é atendido (N/A), para os ambientes de permanência prolongada, em fevereiro. No mês de janeiro, o nível de desempenho do dormitório oeste (DO) foi mínimo (M) para janeiro e novembro e intermediário (I) para dezembro. Para as condições de inverno, o dormitório sul (DS) e sala sul (SS) tiveram uma classificação com nível mínimo em julho e agosto (I), e nível intermediário (I) em junho e julho.

Tabela 18: Classificação do desempenho térmico: BCER4

| <b>VERÃO</b>   |      |       |     |       |     |       |     |       |   |       |     |       |   |
|----------------|------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|---|-------|-----|-------|---|
|                | T.R. | DL    |     | DN    |     | DO    |     | DS    |   | SN    | SS  |       |   |
| <b>31/jan</b>  | 33,1 | 32,79 | M   | 32,43 | M   | 32,62 | M   | 31,82 | M | 32,45 | M   | 31,90 | M |
| <b>04/fev</b>  | 33,1 | 33,64 | N/A | 33,39 | N/A | 33,61 | N/A | 32,82 | M | 33,39 | N/A | 32,92 | M |
| <b>23/nov</b>  | 33,1 | 31,85 | M   | 31,38 | M   | 32,08 | M   | 31,06 | I | 31,45 | M   | 31,18 | M |
| <b>27/dez</b>  | 33,1 | 29,92 | I   | 29,33 | I   | 29,78 | I   | 29,17 | I | 29,35 | I   | 29,25 | I |
| <b>INVERNO</b> |      |       |     |       |     |       |     |       |   |       |     |       |   |
|                |      | DL    |     | DN    |     | DO    |     | DS    |   | SN    | SS  |       |   |
| <b>09/jun</b>  | 2,4  | 8,86  | I   | 9,04  | I   | 8,74  | I   | 8,63  | I | 8,87  | I   | 8,49  | I |
| <b>11/jul</b>  | 2,4  | 7,00  | M   | 7,11  | M   | 6,70  | M   | 6,63  | M | 6,88  | M   | 6,41  | M |
| <b>11/ago</b>  | 2,4  | 7,09  | M   | 7,25  | M   | 6,81  | M   | 6,66  | M | 7,03  | M   | 6,45  | M |
| <b>01/set</b>  | 2,4  | 9,53  | S   | 9,71  | S   | 9,55  | S   | 9,39  | I | 9,57  | S   | 9,25  | I |

Níveis de desempenho - N/A: não atende. M: mínimo. I: intermediário. S: superior  
T.R. - Temperatura de referência (°C) para a cidade de Santa Maria - RS.

Fonte: o autor, 2018.

#### 4.6.2 Desempenho térmico pelo método graus-hora

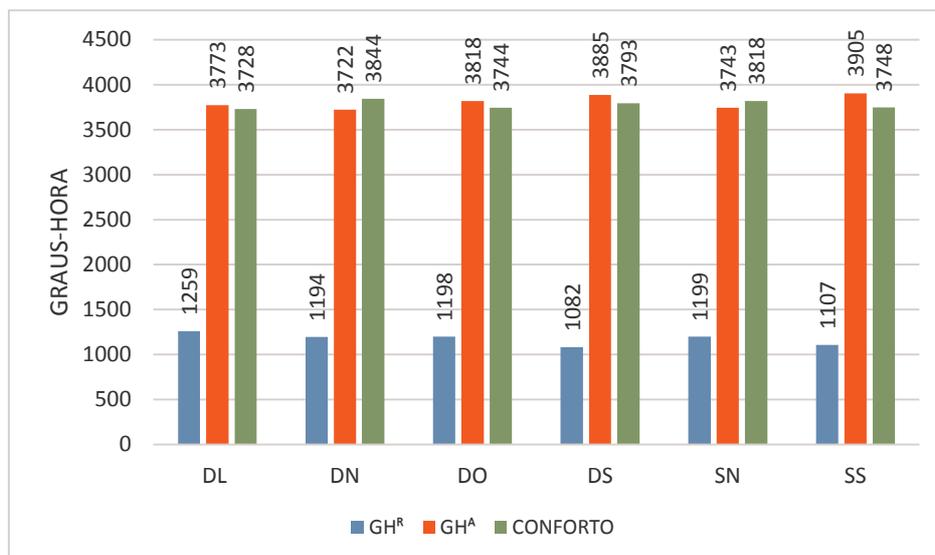
A avaliação dos dados através do método de graus-hora é apresentada na Figura 17 e Figura 18. As opções possuem resultados com melhor desempenho térmico por graus horas no verão, com absorptância na cor clara, pois os graus-hora de resfriamento, são menores do que quando se tem a absorptância na cor escura. Porém, no inverno, percebe-se os graus-hora de aquecimentos são maiores para os dias de frio, causando um maior desconforto.

Na Figura 17, observa-se que o dormitório oeste (DO) possui 1198 graus-horas de resfriamento, em torno de 14% das horas em desconforto pelo calor. Já com a absorptância a radiação solar externa  $\alpha=0,7$ , percebe-se na Figura (18), que o desconforto causado pelo calor, aumenta para 1635 graus-hora, chegando a quase 19% das horas em desconforto.

Analisando o graus-hora por desconforto no frio, na figura (17), percebe-se que a sala sul chega a 3905 graus-hora de aquecimento, isso quer dizer que quase 45% das horas estão em desconforto pelo frio. Na Figura 18, o graus-hora por desconforto diminui para 3698 horas, 42% (das horas).

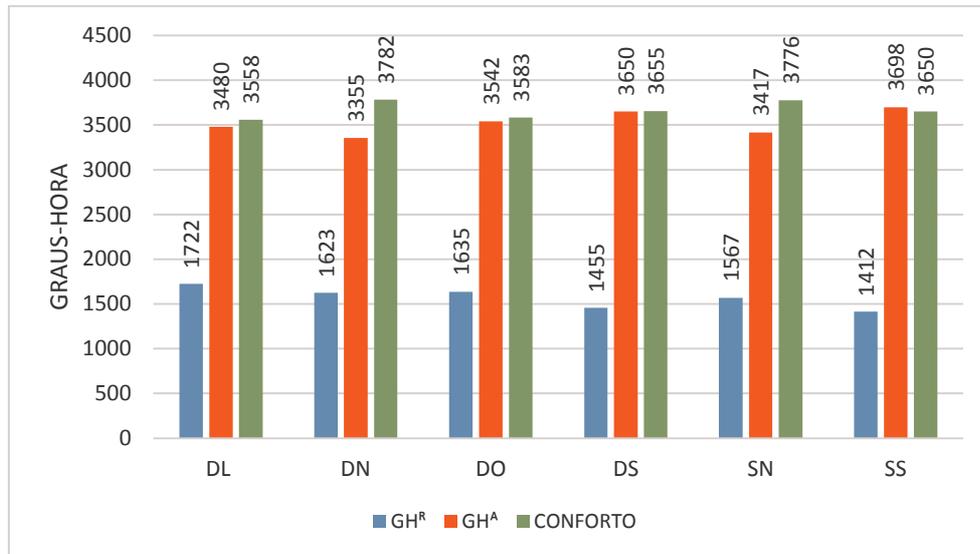
Sendo assim, percebe-se que utilizando a absorptância à radiação solar da superfície externa  $\alpha=0,3$ , o desempenho térmico no verão para o dormitório oeste (DO) teve de 5% das horas em conforto (437 horas) melhor que quanto utilizado a absorptância à radiação solar da superfície externa  $\alpha=0,7$ .

Figura 17: Níveis de graus-hora: BCER3



Fonte: o autor, 2018.

Figura 18: Níveis de graus-hora: BCER4



Fonte: o autor, 2018.

#### 4.7 SISTEMA CONSTRUTIVO BCER5 E BCER6

Os sistemas construtivos BCER5 foram utilizados para identificar as características de materiais dos blocos cerâmicos, com cobertura de fibrocimento, vidro simples, absorvância radiação solar da superfície externa  $\alpha=0,3$ , e uso de carga térmica, e o sistema construtivo BCER6 foram avaliados com as mesmas condições, porém com absorvância a radiação solar da superfície externa  $\alpha=0,7$ .

##### 4.7.1 Desempenho térmico pelo método da NBR 15575

Analisando a Tabela 19 percebe-se que a temperatura no interior das unidades habitacionais foram melhores às do ambiente externo, no verão e no inverno, para todos os ambientes de permanência prolongada, com exceção da sala norte, que não atendeu os critérios de desempenho da NBR 15575-1.

Observando o dormitório oeste (DO), o desempenho no verão foi de nível mínimo (M) em janeiro e fevereiro e novembro, e intermediário (I) no mês de dezembro. Ainda no verão, a sala norte (SN), não atendeu (N/A) o desempenho térmico mínimo (M) em fevereiro, teve um desempenho mínimo (M) em janeiro e novembro, e um desempenho térmico intermediário (I) em dezembro. No inverno, para o dormitório sul (DO), a classificação ficou em nível intermediário (I) nos meses

de julho e agosto, e com nível superior (S) nos meses de junho e agosto. A sala sul (SS), obteve um desempenho mínimo (M) em julho e agosto, intermediário (I) em junho e superior em setembro.

Tabela 19: Classificação do desempenho térmico: BCER5

| VERÃO         |      |       |   |       |   |       |   |       |   |       |     |       |     |
|---------------|------|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|-----|-------|-----|
|               | T.R. | DL    |   | DN    |   | DO    |   | DS    |   | SN    |     | SS    |     |
| <b>31/jan</b> | 33,1 | 32,07 | M | 31,88 | M | 31,90 | M | 31,48 | M | 32,67 | M   | 32,33 | M   |
| <b>04/fev</b> | 33,1 | 33,07 | M | 32,94 | M | 33,02 | M | 32,54 | M | 33,66 | N/A | 33,36 | N/A |
| <b>23/nov</b> | 33,1 | 31,27 | M | 31,10 | I | 31,46 | M | 30,95 | I | 31,86 | M   | 31,68 | M   |
| <b>27/dez</b> | 33,1 | 29,36 | I | 28,99 | S | 29,23 | I | 28,91 | S | 29,81 | I   | 29,77 | I   |
| INVERNO       |      |       |   |       |   |       |   |       |   |       |     |       |     |
|               |      | DL    |   | DN    |   | DO    |   | DS    |   | SN    |     | SS    |     |
| <b>09/jun</b> | 2,4  | 9,74  | S | 10,00 | S | 9,64  | S | 9,66  | S | 9,25  | I   | 8,92  | I   |
| <b>11/jul</b> | 2,4  | 7,86  | I | 8,09  | I | 7,58  | I | 7,63  | I | 7,25  | M   | 6,88  | M   |
| <b>11/ago</b> | 2,4  | 7,77  | I | 8,04  | I | 7,81  | I | 7,52  | I | 7,24  | M   | 6,74  | M   |
| <b>01/set</b> | 2,4  | 10,27 | S | 10,54 | S | 10,29 | S | 10,27 | S | 9,83  | S   | 9,55  | S   |

Níveis de desempenho - N/A: não atende. M: mínimo. I: intermediário. S: superior  
T.R. - Temperatura de referência (°C) para a cidade de Santa Maria - RS

Fonte: o autor, 2018.

Os resultados apresentados na Tabela 20, demonstram que com a absorptância solar a radiação solar da superfície externa  $\alpha=0,7$ , nos ambientes de permanência prolongada para o verão, não atendem (N/A) o nível de desempenho da NBR 15575-1, e tem-se um desempenho (M) para o mês de novembro, e um desempenho (I) para o mês de dezembro.

No inverno, o desempenho ficou classificado como superior (S) para o dormitório sul (DS) nos meses de junho e setembro, e intermediário (I) nos meses de julho e agosto. Já para a sala sul, a classificação do desempenho ficou mínimo (M) em julho e agosto, intermediário (I) em junho, e superior (S) em setembro.

Tabela 20: Classificação do desempenho térmico: BCER6

| VERÃO         |      |       |     |       |     |       |     |       |     |       |     |       |     |
|---------------|------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
|               | T.R. | DL    |     | DN    |     | DO    |     | DS    |     | SN    |     | SS    |     |
| <b>31/jan</b> | 33,1 | 33,58 | N/A | 33,23 | N/A | 33,35 | N/A | 32,52 | M   | 33,72 | N/A | 33,22 | N/A |
| <b>04/fev</b> | 33,1 | 34,33 | N/A | 34,10 | N/A | 34,29 | N/A | 33,45 | N/A | 34,58 | N/A | 34,11 | N/A |
| <b>23/nov</b> | 33,1 | 32,65 | M   | 32,20 | M   | 32,95 | M   | 31,84 | M   | 32,80 | M   | 32,55 | M   |
| <b>27/dez</b> | 33,1 | 30,74 | I   | 30,12 | I   | 30,61 | I   | 29,95 | I   | 30,70 | I   | 30,62 | I   |
| INVERNO       |      |       |     |       |     |       |     |       |     |       |     |       |     |

|               | DL  |       |   | DN    |   |       | DO |       |   | DS    |   |      | SN |  |  | SS |  |  |
|---------------|-----|-------|---|-------|---|-------|----|-------|---|-------|---|------|----|--|--|----|--|--|
| <b>09/jun</b> | 2,4 | 10,11 | S | 10,43 | S | 9,98  | S  | 9,96  | S | 9,63  | S | 9,19 | I  |  |  |    |  |  |
| <b>11/jul</b> | 2,4 | 8,22  | I | 8,48  | I | 7,87  | I  | 7,88  | I | 7,58  | I | 7,05 | M  |  |  |    |  |  |
| <b>11/ago</b> | 2,4 | 8,36  | I | 8,68  | I | 8,03  | I  | 7,98  | I | 7,80  | I | 7,16 | M  |  |  |    |  |  |
| <b>01/set</b> | 2,4 | 10,74 | S | 11,06 | S | 10,77 | S  | 10,68 | S | 10,30 | S | 9,92 | S  |  |  |    |  |  |

Níveis de desempenho - N/A: não atende. M: mínimo. I: intermediário. S: superior  
T.R. - Temperatura de referência (°C) para a cidade de Santa Maria - RS.

Fonte: o autor, 2018.

#### 4.7.2 Desempenho térmico pelo método graus-hora

A avaliação dos dados através do método de graus-hora é apresentada na Figura 19 e Figura 20. As opções possuem resultados com melhor desempenho térmico por graus horas no verão, com absorvância na cor clara, pois os graus-hora de resfriamento, são menores do que quando se tem a absorvância na cor escura.

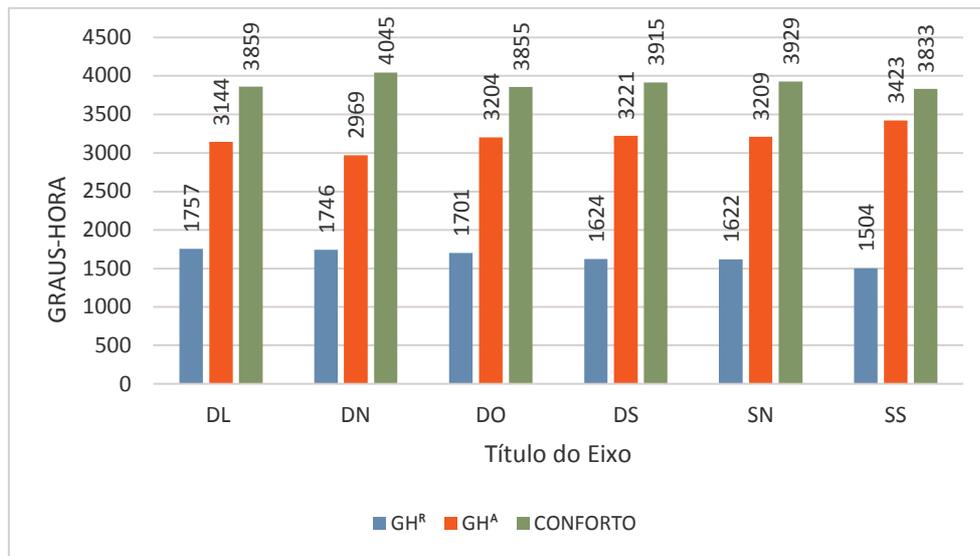
No inverno, percebe-se que se tem mais conforto, pois os graus-hora de aquecimentos são menores quando utilizado uma cor escura.

Na Figura 19, observa-se que o dormitório oeste (DO) possui 1701 graus-horas de resfriamento, em torno de 19% das horas em desconforto pelo calor. Já com a absorvância a radiação solar externa  $\alpha=0,7$ , percebe-se na Figura 20, que o desconforto causado pelo calor, aumenta para 2095 graus-hora, chegando a 24% das horas em desconforto.

Analisando o graus-hora por desconforto no frio, na figura 19, percebe-se que a sala sul (SS) tem 3423 graus-hora de aquecimento, isso quer dizer que 40% das horas estão em desconforto pelo frio. Na Figura 20, o graus-hora por desconforto diminui para 3228 horas, 37% (das horas).

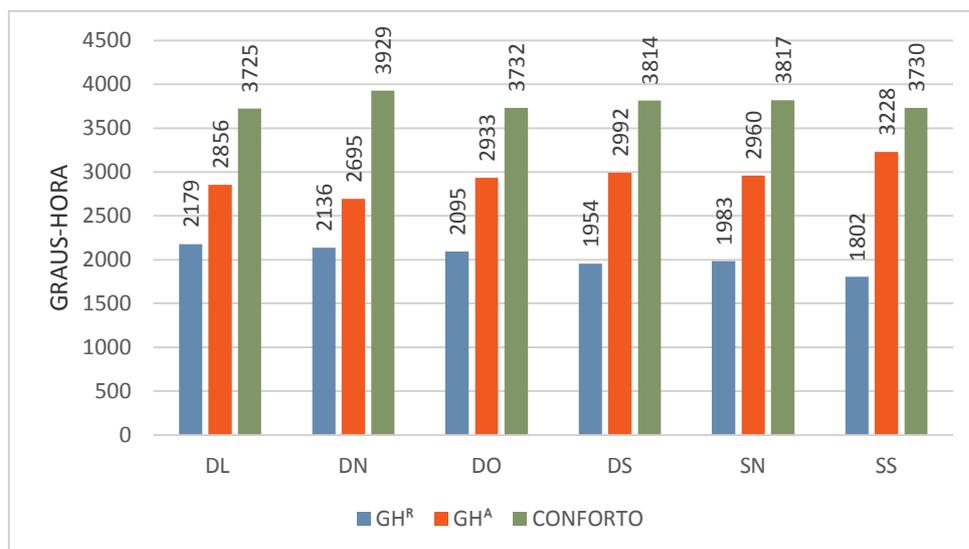
Portanto, pode-se concluir que se a carga térmica estiver presente na edificação, as horas de desconforto irão aumentar no verão para ambas as absorvâncias, e no inverno acontece o contrário, ou seja, as horas de conforto aumentaram.

Figura 19: Níveis de graus-hora: BCER5



Fonte: o autor, 2018.

Figura 20: Níveis de graus-hora: BCER6



Fonte: o autor, 2018.

#### 4.8 SISTEMA CONSTRUTIVO BCER7 E BCER8

Os sistemas construtivos BCER7 foram utilizados para identificar as características de materiais dos blocos cerâmicos, com cobertura de fibrocimento, vidro simples com o uso de persiana interna, absorvência radiação solar da

superfície externa  $\alpha=0,3$ , e uso de carga térmica, e o sistema construtivo BCER8 foram avaliados com as mesmas condições, porém com absorvância radiação solar da superfície externa  $\alpha=0,7$ .

#### 4.8.1 Desempenho térmico pelo método da NBR 15575

Analisando a Tabela 21 percebe-se que a temperatura no interior das unidades habitacionais foram melhores às do ambiente externo, no verão e no inverno, para todos os ambientes de permanência prolongada, com exceção da sala norte, que não atendeu os critérios de desempenho da NBR 15575-1.

Observando o dormitório oeste (DO), o desempenho no verão foi de nível mínimo (M) em janeiro e fevereiro, e intermediário (I) em novembro e superior (S) no mês de dezembro. Ainda no verão, a sala norte (SN), não atendeu (N/A) o desempenho térmico mínimo (M) em fevereiro, teve um desempenho mínimo (M) em janeiro e novembro, e um desempenho térmico intermediário (I) em dezembro.

Para as condições de inverno, o dormitório sul (DO), a classificação ficou em nível mínimo em julho e agosto, intermediário (I) em junho, e com nível superior (S) em setembro.

Tabela 21: Classificação do desempenho térmico: BCER7

| <b>VERÃO</b>   |      |       |   |       |   |       |   |       |   |       |     |       |     |
|----------------|------|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|-----|-------|-----|
|                | T.R. | DL    |   | DN    |   | DO    |   | DS    |   | SN    |     | SS    |     |
| <b>31/jan</b>  | 33,1 | 31,68 | M | 31,52 | M | 31,55 | M | 31,27 | M | 32,35 | M   | 32,09 | M   |
| <b>04/fev</b>  | 33,1 | 32,72 | M | 32,60 | M | 32,66 | M | 32,29 | M | 33,36 | N/A | 33,14 | N/A |
| <b>23/nov</b>  | 33,1 | 30,98 | I | 30,87 | I | 31,04 | I | 30,75 | I | 31,57 | M   | 31,43 | M   |
| <b>27/dez</b>  | 33,1 | 28,98 | S | 28,74 | S | 28,88 | S | 28,70 | S | 29,54 | I   | 29,50 | I   |
| <b>INVERNO</b> |      |       |   |       |   |       |   |       |   |       |     |       |     |
|                |      | DL    |   | DN    |   | DO    |   | DS    |   | SN    |     | SS    |     |
| <b>09/jun</b>  | 2,4  | 9,78  | S | 9,99  | S | 9,66  | S | 9,68  | S | 9,18  | I   | 8,91  | I   |
| <b>11/jul</b>  | 2,4  | 7,95  | I | 8,11  | I | 7,60  | I | 7,65  | I | 7,22  | M   | 6,87  | M   |
| <b>11/ago</b>  | 2,4  | 7,82  | I | 7,99  | I | 7,50  | I | 7,51  | I | 7,15  | M   | 6,73  | M   |
| <b>01/set</b>  | 2,4  | 10,25 | S | 10,45 | S | 10,25 | S | 10,24 | S | 9,75  | S   | 9,53  | S   |

Níveis de desempenho - N/A: não atende. M: mínimo. I: intermediário. S: superior  
T.R. - Temperatura de referência (°C) para a cidade de Santa Maria - RS

Fonte: o autor, 2018.

Os resultados apresentados na Tabela 22, demonstram que com a utilização de persiana interna e a absorvância solar a radiação solar da superfície externa  $\alpha=0,7$ ,

nos ambientes de permanência prolongada para o verão, não atendem (N/A) o nível de desempenho da NBR 15575-1, e tem-se um desempenho (M) para os meses de janeiro e novembro, e um desempenho (I) para o mês de dezembro.

No inverno, o desempenho ficou classificado como superior (S) para o dormitório sul (DS) nos meses de junho e setembro, e intermediário (I) nos meses de julho e agosto. Já para a sala sul, a classificação do desempenho ficou mínimo (M) em julho e agosto, intermediário (I) em junho, e superior (S) em setembro.

Tabela 22: Classificação do desempenho térmico: BCER8

| VERÃO         |      |       |     |       |     |       |     |       |     |       |     |       |     |
|---------------|------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
|               | T.R. | DL    | DN  | DO    | DS  | SN    | SS  |       |     |       |     |       |     |
| <b>31/jan</b> | 33,1 | 33,19 | N/A | 32,86 | M   | 33,00 | M   | 32,26 | M   | 33,41 | N/A | 32,99 | M   |
| <b>04/fev</b> | 33,1 | 33,97 | N/A | 33,76 | N/A | 33,94 | N/A | 33,21 | N/A | 34,27 | N/A | 33,89 | N/A |
| <b>23/nov</b> | 33,1 | 32,29 | M   | 31,87 | M   | 32,52 | M   | 31,61 | M   | 32,52 | M   | 32,30 | M   |
| <b>27/dez</b> | 33,1 | 30,36 | I   | 29,82 | I   | 30,21 | I   | 29,66 | I   | 30,44 | I   | 30,36 | I   |
| INVERNO       |      |       |     |       |     |       |     |       |     |       |     |       |     |
|               |      | DL    | DN  | DO    | DS  | SN    | SS  |       |     |       |     |       |     |
| <b>09/jun</b> | 33,1 | 10,16 | S   | 10,42 | S   | 10,00 | S   | 9,98  | S   | 9,56  | S   | 9,18  | I   |
| <b>11/jul</b> | 33,1 | 8,30  | I   | 8,50  | I   | 7,89  | I   | 7,90  | I   | 7,55  | I   | 7,08  | M   |
| <b>11/ago</b> | 33,1 | 8,40  | I   | 8,63  | I   | 8,02  | I   | 7,97  | I   | 7,71  | I   | 7,14  | M   |
| <b>01/set</b> | 33,1 | 10,72 | S   | 10,96 | S   | 10,73 | S   | 10,65 | S   | 10,21 | S   | 9,91  | S   |

Níveis de desempenho - N/A: não atende. M: mínimo. I: intermediário. S: superior  
T.R. - Temperatura de referência (°C) para a cidade de Santa Maria - RS

Fonte: o autor, 2018.

#### 4.8.2 Desempenho térmico pelo método graus-hora

A avaliação dos dados através do método de graus-hora é apresentada na Figura 21 e Figura 22. As opções possuem resultados com melhor desempenho térmico por graus horas no verão, com absorvância na cor clara, pois os graus-hora de resfriamento, são menores do que quando se tem a absorvância na cor escura.

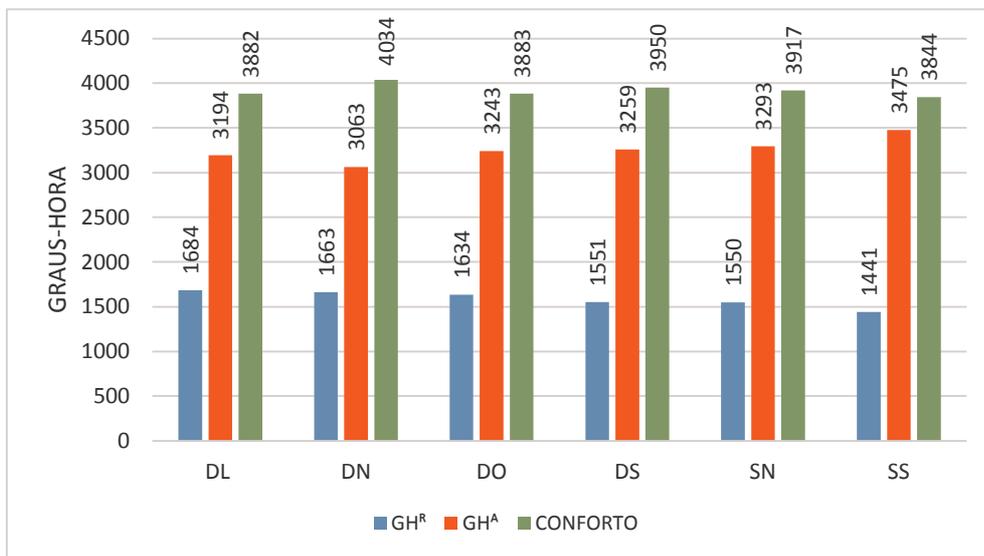
No inverno, percebe-se que se tem mais conforto, pois os graus-hora de aquecimentos são menores quando utilizado uma cor escura.

Na Figura 21, observa-se que o dormitório oeste (DO) possui 1634 graus-horas de resfriamento, em torno de 19% das horas em desconforto pelo calor. Já com a absorvância a radiação solar externa  $\alpha=0,7$ , percebe-se na figura 22, que o desconforto causado pelo calor, aumenta para 2032 graus-hora, chegando a 23% das horas em desconforto.

Analisando o graus-hora por desconforto no frio, na Figura 21, percebe-se que a sala sul (SS) tem 3475 graus-hora de aquecimento, isso quer dizer que 40% das horas estão em desconforto pelo frio. Na figura 22, o graus-hora por desconforto diminui para 3266 horas, 37% (das horas).

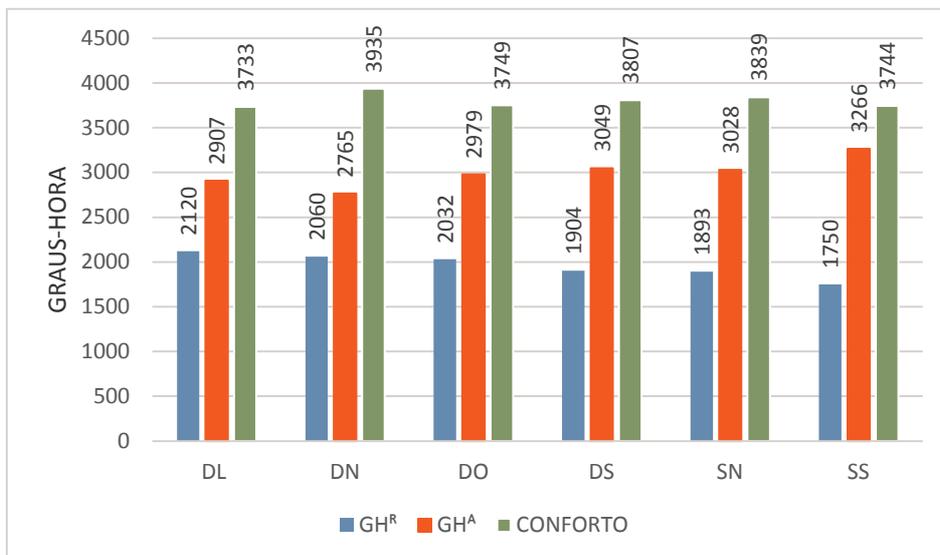
Em relação ao desempenho térmico pelo método graus-hora observa-se que quando se tem carga térmica no edifício, as horas de desconforto no verão aumentam para ambas as absortâncias e no inverno ocorre o inverso, as horas de conforto aumentam.

Figura 21: Níveis de graus-hora: BCER7



Fonte: o autor, 2018.

Figura 22: Níveis de graus-hora: BCER8



Fonte: o autor, 2018.

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como intuito investigar a influência das características construtivas de sistemas de vedações verticais externos, a orientação e absorvância solar de um edifício residencial na fase de projeto para na Zona Bioclimática 2. A análise de desempenho térmico foi desenvolvida através de simulações computacionais, utilizando o programa de simulação térmico energético EnergyPlus, versão 8.6.0.

Um dos objetivos específicos desse trabalho foi avaliar o desempenho térmico pelos critérios da NBR 15575 e pelo método graus-hora de resfriamento e graus-hora de aquecimento dos ambientes.

Os resultados das simulações avaliados pelos critérios da NBR 15575, indicam que, as vedações verticais com blocos de concreto ou blocos cerâmicos, podem ter níveis mínimos, intermediários e superiores, ou até mesmo, não atender a norma, dependendo da escolha do dia típico para a análise.

Utilizando a absorvância a radiação solar na cor clara ( $\alpha = 0,3$ ) o desempenho térmico atende em todos os dias escolhidos, tanto para as condições do verão, como para as condições para o inverno. Com a absorvância a radiação solar na cor escura ( $\alpha = 0,7$ ) o nível de desempenho não é atendido quando escolhido o dia típico no mês de fevereiro, nas condições para verão.

Verificou-se que com a utilização de blocos de concreto e absorvância clara ( $\alpha = 0,3$ ), o resultado de melhor nível de desempenho nas condições de verão, foi no dia típico escolhido no mês de dezembro, a classificação de desempenho térmico foi superior para todas as configurações em todos os ambientes de permanência prolongada (sala e dormitórios). Para o bloco cerâmico com absorvância clara ( $\alpha = 0,3$ ), o nível de desempenho em dezembro é superior quando se analisa conforme rege a norma, sem carga térmica, utilizando carga térmica o desempenho térmico se classifica em nível em intermediário.

Nas condições de inverno, para os blocos de concreto e cerâmica, com absorvância a radiação solar clara ( $\alpha = 0,3$ ), quando a análise é feita conforme a NBR 15575, o desempenho térmico tem classificação mínima nos meses mais frios, onde a temperatura é menor, porém quando se avalia com a ocupação da edificação, o nível de desempenho fica classificado com intermediário. Dessa

maneira percebe-se que se tem uma influência da carga térmica na edificação. A classificação do desempenho térmico para o dia típico no mês de setembro, ficou superior para a maioria dos casos, e também se percebeu a influência positiva da cor escura para as condições de inverno, elevando o nível de desempenho.

Os resultados obtidos através do método graus-hora, demonstram que a maior parte do desconforto está no inverno, por apresentar um valor elevador de graus-hora por aquecimento. Devido a isso pode-se concluir que para melhorar as condições térmicas no inverno, é necessário indicar um material isolante, ou mais espesso.

Observou-se que a absorvância influencia no desempenho térmico do edifício em estudo, pelo aumento do valor de graus-hora para o aumento no valor da absorvância. Diante disso, a absorvância tem maior influência nas situações de necessidade de resfriamento das edificações do que aquecimento.

Em relação a análise feita pelo método graus-hora, houve pouca diferença por graus-hora de resfriamento e graus-hora de aquecimento, quando comparado o bloco de concreto com o bloco cerâmico. Com a cor clara, o bloco de concreto possui menos graus-hora de resfriamento do que com o bloco cerâmico, já com a cor escura, o bloco de concreto possui mais graus hora por resfriamento.

Os resultados simulados com carga térmica pelo método graus-hora, demonstram que o desempenho térmico piora no verão e melhora no inverno, isso demonstra que as edificações habitadas e com o uso de equipamentos, o desempenho térmico pode ser influenciado.

Quanto as simulações com o uso de persiana interna, percebeu-se que houve pouca diferença em graus-hora, assim sendo, não se torna muito eficiente o seu uso internamente. Também se concluiu, que a ocupação nos apartamentos predomina nos ganhos internos de calor do ambiente,

Conclui-se que a simplificação do método da norma pode alterar a classificação de desempenho térmico do edifício quando indica apenas uma renovação de ar por hora ou quando não permite a inclusão de carga térmica, assim como a simplificação do tempo de simulação para apenas um dia de inverno e um dia de verão, pois não há um parâmetro de escolha para as cidades que não estão listadas na norma. Dessa forma, entende-se que a análise do desempenho térmico de um edifício deve ser elaborada para o ano todo.

## REFERÊNCIAS

APOLONIO, Raquel. Avaliação do desempenho térmico e energético de edificação comercial na cidade de Cuiabá-MT: estudo de caso. In Dissertação apresentada junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, como requisito para obtenção do título de Mestre. Cuiabá, 2011.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: Desempenho térmico e edificações. Rio de Janeiro: 2013.

\_\_\_\_\_. NBR 15220. Desempenho Térmico das Edificações. Rio de Janeiro. 2003.

BAGNATI, Mariana Moura. Zoneamento bioclimático e arquitetura brasileira: qualidade do ambiente construído. In Dissertação de mestrado em Arquitetura apresentado a Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: 2013.

BARBOSA, Djean da Costa.; LIMA, Mariana Brito. Arquitetura Bioclimática: recomendações apropriadas para Palmas TO. Anais Eletrônicos. 1º Jornada de Iniciação Científica e Extensão do IFTO. 2014. Disponível em: <http://www.ifto.edu.br/jornadacientifica/wp-content/uploads/2010/12/17-ARQUITETURA-B.pdf>. Acesso em 19 mai 2017.

BENTO, Lilian Carla Moreira.; PEREIRA, Daniele dos Santos. As interações entre o clima e a geodiversidade: uma abordagem teórica emergente. In XII SBCG Variabilidade e susceptibilidade climática. Goiânia: 2016. Disponível em: [http://www.abclima.ggf.br/sbcg2016/anais/arquivos/eixo\\_1/trabalho%20\(11\).pdf](http://www.abclima.ggf.br/sbcg2016/anais/arquivos/eixo_1/trabalho%20(11).pdf). Acesso em 10 jan 2017.

BRITO, A. C. ALVARES, E.; ANDRADE, P.. Contribuições Para o Aprimoramento da NBR 15575 Referente ao Método Simplificado de Avaliação de Desempenho Térmico de Edifícios. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 14., Juiz de Fora, 2012. Anais... Juiz de Fora, 2012.

CALAZENS, Camila Júlia. Análise da ABNT NBR 15575:2013 com ênfase em desempenho térmico. In Trabalho de conclusão de curso de Especialização: Produção e Gestão do Ambiente Construído do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção. Belo Horizonte: 2016.

CAMPANHONI, Andiará.; ROMERO, Marta. Influência da orientação no desempenho dos edifícios em águas claras – Distrito Federal. XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Entac, 2010.

CHVATAL, Karin M.S.; RORIZ, Victor F. Avaliação de Desempenho térmico de habitações segundo a ABNT NBR 15575. 2015. FABRICIO, M.M; ONO, Rosaria. (org). Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras. Porto Alegre: Antac, 2015.

COSTA, Sammea Ribeiro Granja Damasceno. Desempenho térmico e habitação: uma avaliação comparativa no contexto climático da zona bioclimática 8.

Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. UFAL, Maceió, Alagoas: 2011.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, V.; RORIZ, M. Determination of the solar absorptance of opaque surfaces. IINTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY.

FERNANDES, Júlia T. Código de obras e edificações o DF. Inserção de conceitos bioclimáticos, conforto térmico e eficiência energética. Dissertação de mestrado de Arquitetura e Urbanismo. Brasília: 2009.

FERREIRA, Roberta; ARRUDA, Angelo. A arquitetura vernacular das 5 regiões brasileiras. 2012 Disponível em [http://www.academia.edu/19256624/ARTIGO\\_SOBRE\\_ARQUITETURA\\_VERNACULAR\\_NO\\_BRASIL](http://www.academia.edu/19256624/ARTIGO_SOBRE_ARQUITETURA_VERNACULAR_NO_BRASIL). Acesso em 08 dez de 2016.

FERREIRA, Camila; PEREIRA, Iraci Miranda. Avaliação do desempenho térmico de habitação de interesse social de acordo com a NBR 15575, para as diversas zonas bioclimáticas. XIV Entac – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Juiz de Fora: 2012.

FERREIRA, Camila; SOUZA, Henor Artur de. Estudo do Clima Brasileiro: reflexões e recomendações sobre a adequação climática de habitações. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 2014. Disponível em: [http://www.infohab.org.br/entac2014/artigos/paper\\_264.pdf](http://www.infohab.org.br/entac2014/artigos/paper_264.pdf). Acesso em 12 jan 2017.

GIGLIO, Thalita.; BARBOSA, Miriam. Aplicação de métodos de avaliação do desempenho térmico para analisar painéis de vedação em madeira. Ambiente Construído, Porto Alegre: v. 6, n. 3, p. 91-103, jul/set. 2006.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, 2010.

GIVONI, B. Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines. Energy and Buildings. V. 18,n.1, p.11-23, 1998. Livro digital. Acesso em 15 mai 2017.

GOMES, Flores. Michelle. Geração de base climática de Santa Maria – RS, para análise de desempenho térmico e eficiência energética de edificações. Tese de mestrado. Santa Maria, 112 p. 2014.

GODOY, A.S. Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. Revista de Administração de Empresas. São Paulo, v. 35, n. 3, p. 20-29. Mai./Jun. 1992.

GRAF, Helena. Transmitância térmica e energia incorporada na arquitetura vernacular. Curitiba: 2012.

GRAF, H. F. Transmitância Térmica & Energia Incorporada na Arquitetura: sua relação nas superfícies do invólucro de uma edificação residencial unifamiliar conforme a Norma NBR 12721. 167 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba: 2011.

GIGLIO, Thalita Gorban Ferreira.; BARBOSA, Miriam Jerônimo. Aplicação de métodos de avaliação do desempenho térmico para analisar painéis de vedação em madeira. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 6, n. 3, p. 91-103, jul./set. 2006.

HARRIS, Ana Lucia.; cheng, Liang Yee.; labaki, Lucia Chebel. Remodelagem dos grupos climáticos dos quadros de Mahoney utilizando a teoria dos sistemas nebulosos. 2014. Disponível em: [http://www.fec.unicamp.br/~luharris/art/00nutau\\_172.pdf](http://www.fec.unicamp.br/~luharris/art/00nutau_172.pdf). Acesso em 08 dez de 2017.

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

LAMBERTS, Roberto (organizador). *Manual para aplicação do RTQ-R. Residencial, versão 1*. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações–CB3E– UFSC. 2012.

\_\_\_\_\_. Sombrear ou não sombrear janelas. Disponível em: Acesso em: Acesso em: 16 abr 2018.

\_\_\_\_\_. Programa CBIC Construção Sustentável. 2014. Disponível em: <http://www.cbic.org.br/sites/default/files/Apres%20Energia%20Roberto%20Lamberts%20jun10.pdf>.

\_\_\_\_\_. *Desempenho térmico de edificações*. Florianópolis: 2016.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano. *Eficiência Energética na Arquitetura*. 3 edição. São Paulo: Atlas, 2014.

LIMA, Tomás Bastos. *Análise de Desempenho Térmico de Edificações Habitacionais: desenvolvimento de interface BIM para avaliações automatizadas segundo as normas ABNT NBR 15575 e ABNT NBR 15220*. Trabalho Final de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia da Construção Civil, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná. Curitiba: 2014.

LIMA, Raquel Rodrigues. *Arquitetura Vernácula e Habitação de Interesse Social*. I ENANPARQ. Encontro Nacional da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Rio de Janeiro: 2010.

LINCZUK, Vinicius Cesar Cadena. *Estratégias para melhorar o comportamento térmico de edificações residenciais em regiões de clima temperado no Sul do Brasil*. Dissertação de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Santa Catarina. 146 f. Florianópolis: 2015.

MARAGNO Vieira, Gogliardo *Adequação bioclimática da arquitetura de Mato Grosso do Sul Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, vol. 6, núm. 3, 2002, pp. 13-37

MASCARELLO, Vera Lucia. *Princípios bioclimáticos e princípios de arquitetura moderna - evidências no edifício hospitalar*. In Dissertação apresentada ao

Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: 2005.

NAVARRO, Fidel Ernesto Campos. Arquitetura e clima na Bolívia: uma proposta de zoneamento climático. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP. Campinas, São Paulo: 2007.

NEVES, J. L. Pesquisa qualitativa: características, usos e possibilidades. Caderno de pesquisa em administração. FEA-USP. São Paulo, v. 1. n. 3. 2º sem, 1996.

NÓBREGA, Ranyére Silva; LEMOS, Thiago Verçosa da Silva. O microclima e o (des)conforto térmico em ambientes abertos na cidade do Recife. Revista de Geografia (UFPE) V. 28, No. 1, 2011.

OLIVEIRA, Graciela.; QUEIROZ, Marluce; PAGIOLA, Rodrigo.; FERREIRA, Wallington. Conforto térmico no ambiente de trabalho: avaliação das variáveis subjetivas da percepção do calor. VII SEGeT – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia – 2010.

PEREIRA, Cláudia Donald. A influência do envelope no desempenho térmico em edificações residenciais unifamiliares ocupadas e ventiladas naturalmente. Florianópolis: UFSC/PPGEC, 2009.

PIRES, Josiane Reschke. Investigação de viabilidade da redução do consumo de energia elétrica em edificações residenciais através da aplicação de soluções de conforto ambiental passivo. 228 f. Mestrado. Engenharia Civil. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. 2013.

PIRES, Josiane Reschke; KERN, Andrea Parisi; GONZÁLEZ, Marco Aurélio; SCHNECK, Eduardo Reuter. Norma de Desempenho 15575;2013: Análise de casos das exigências de conforto térmico em projetos de habitação de interesse social. IEuro Elecs, 2015.

PIVETTA, Joseane. Influência de elementos paisagísticos no desempenho térmico de edificação térrea. Dissertação submetida à Universidade Estadual e Londrina, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Londrina: 2010.

PEDRINI, Aldomar.; TRINDADE, Sileno. Aplicação de conceitos da arquitetura bioclimática como exemplo de eficiência energética no clima quente e úmido. 2012. Disponível em: [https://www.usp.br/nutau/sem\\_nutau\\_2010/metodologias/pedrini\\_aldomar.pdf](https://www.usp.br/nutau/sem_nutau_2010/metodologias/pedrini_aldomar.pdf). Acesso em: 28 abr. 2018.

PERUCHI, Diego Falcão. Eficiência Energética em Edificações: redução do consumo de energia elétrica em prédios públicos através do método PDCA. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

PONTES, Anderson Lucas da Rocha. Influência do projeto das aberturas no conforto térmico de apartamentos e residências unifamiliares em pato branco, pr. 2014. Proposta de Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) –

Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

PROCEL Edifica. Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações. 2004. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMIDC46E0FFDBD124A0197D2587926254722LUMISADMIN1PTBRIE.htm>

ROMAN, Leila Maria Tamanini. Análise Térmica e Energética de uma edificação comercial visando conforto térmico e redução da demanda de energia elétrica. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. São Leopoldo: 2013.

RHEINGANTZ, Paulo Afonso. Avaliação Climática de Mahoney. 2012. Disponível em: [http://www.fau.ufrj.br/prologar/assets/avalia\\_clima\\_mahoney.pdf](http://www.fau.ufrj.br/prologar/assets/avalia_clima_mahoney.pdf). Acesso em 08 dez de 2016.

RIBEIRO, Luciana Pagnano. Conforto Térmico e a Prática do Projeto de Edificações: recomendações para Ribeirão Preto. Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo a título de mestre em Arquitetura e Urbanismo. São Carlos: 2008.

ROMAN, Leila Maria Tamanini. Análise Térmica e Energética de uma edificação comercial visando conforto térmico e redução da demanda de energia elétrica. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. São Leopoldo: 2013.

RORIZ, M. Arquivos climáticos de municípios brasileiros. São Carlos: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 2012.

RORIZ, M. ZBBR 1.1, Zoneamento Bioclimático do Brasil. Disponível em: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. *ZBBR*: zoneamento bioclimático do Brasil. São Carlos, 2001.

RHEINGANTZ, Paulo Afonso. Avaliação Climática de Mahoney. 2012. Disponível em: [http://www.fau.ufrj.br/prologar/assets/avalia\\_clima\\_mahoney.pdf](http://www.fau.ufrj.br/prologar/assets/avalia_clima_mahoney.pdf). Acesso em 08 dez de 2016.

SANTOS, Flávia de Oliveira; PIMENTAL, Marilene Rodrigues. Edificações e conforto térmico: a moradia como fonte de aprendizagem. Caminhos de Geografia, Revista on line. 2012.

SANTO DÉEL, Amabelli.; ALVAREZ, Cristina; RODRIGUES, Edna. Conforto e desempenho térmico em contradição na NBR 15575. 2012. Disponível em: [http://lpp.ufes.br/sites/lpp.ufes.br/files/field/anexo/Proarq\\_20-114.pdf](http://lpp.ufes.br/sites/lpp.ufes.br/files/field/anexo/Proarq_20-114.pdf). Acesso em 08 DEZ 2016.

SCHAT, HELENICE MARIA; ROSSIGNOLO, JOÃO ADRIANO. Habitações Térreas E Multipavimentos de Interesse Social: Avaliação de Desempenho Térmico para Tipologias com Vedações em Alvenaria de Blocos Cerâmicos e de Concreto. Capa, V. 1. N. 4, 2009.

SIQUEIRA, Tulio Cesar Pessoto.; AKUTSU, Maria; LOPES, Jarbas. Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 58(2): 133-138, abr. jun. 2005.

SORGATO, Marcio José. Desempenho Térmico de Edificações Residenciais Unifamiliares Ventiladas Naturalmente. In Dissertação de Mestrado em Engenharia apresentada a Universidade de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

SORGATO, Marcio.; MARINOSKI, Deivis.; MELO, Ana Paula; LAMBERTS, Roberto. Avaliação de desempenho térmico pela norma NBR 15575 em consulta pública em 2012. LabEEE. 2014.

SORGATO, Marcio José.; VERSAGE, Rogério.; LAMBERTS, Roberto. A influência da área de ventilação no desempenho térmico de edificações residenciais. Nota Técnica referente à avaliação para a norma de desempenho NBR 15575 em consulta pública. 2012.

SOUSA, Bruna Moreira Serra. Avaliação do Desempenho Térmico em Projeto de Unidade Habitacional Multifamiliar com base na Metodologia ABNT NBR 15.220/2005 e nos requisitos da ABNT NBR 15.575/2003. In Projeto de Graduação apresentado ao curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro. Rio de Janeiro: 2014.

SOUZA, Débora Moreira.; NERY, Jonas. O conforto térmico na perspectiva da Climatologia Geográfica. Geografia (Londrina), v. 21, n.2. p.65-83, maio/ago. 2012.

TAKAMATSU, Patricia Helena. Arquitetura Vernacular: estudo de caso Vila do Elesbão/Santana – AP: análise do habitar vernacular no ambiente construído e sua preservação. Belo Horizonte: 2013. Disponível em: [www.bibliotecadigital.ufmg.br/.../disserta\\_\\_o\\_vers\\_o\\_revis\\_o\\_final\\_pos\\_defesa.pdf?](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/.../disserta__o_vers_o_revis_o_final_pos_defesa.pdf?). Acesso em 20 abr 2017.

SILVA, A. S.; SORGATO, M. J.; MAZZAFERRO, L.; MELO, A. P.; GHISI, E. Incerteza do método de simulação da NBR 15575- 1 para a avaliação do desempenho térmico de habitações. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 103-117, out./dez. 2014.

TEIXEIRA, Claudia Mudado. Considerações sobre a Arquitetura Vernácula. Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, v.15, n.17, 2º sem. 2008.

TRINDADE, C. Sileno. Simulação computacional como ferramenta de auxílio ao projeto: aplicação em edifícios naturalmente ventilados no clima de Natal/RN. 2006. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

VAREJÃO-SILVA, M. A. Meteorologia e climatologia. Recife: Versão Digital, 2006. Disponível em: [http://eambiental.sites.ufms.br/?page\\_id=264](http://eambiental.sites.ufms.br/?page_id=264) . Acesso: 8 set. 2009.

VIEIRA, Renata Dias; SANTOS, Isis Potorlan dos. Estratégias de Condicionamento Térmico Passivo para edificações de clima subtropical – estado do Rio Grande do Sul. 2012.

WESTPHAL, Fernando Simon.; ANDREIS, Cínthia. Influence of Glazed Façades on Energy Consumption for Air Conditioning of Office Buildings in Brazilian Climates. Journal of Engineering Research and Applicatoin, vol. 6. Issue 11, (parte 1), November, 2016. P. 54-60.