

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**Victoria Bottini Milan**

**DESEMPENHO TÉRMICO: ANÁLISE DE UMA EDIFICAÇÃO  
ESCOLAR PADRÃO PROINFÂNCIA INSTALADA NO  
MUNICÍPIO DE CAMAQUÃ**

Avaliador:
Defesa: dia 02/12/2015 às 14 horas
Local: UFRGS / Engenharia Nova Osvaldo Aranha, 99, sala 304
<b>Anotações com sugestões para qualificar o trabalho são bem- vindas. O aluno fará as correções e lhe passará a versão final do trabalho, se for de seu interesse.</b>

Porto Alegre  
novembro 2015

VICTORIA BOTTINI MILAN

**DESEMPENHO TÉRMICO: ANÁLISE DE UMA EDIFICAÇÃO  
ESCOLAR PADRÃO PROINFÂNCIA INSTALADA NO  
MUNICÍPIO DE CAMAQUÃ**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de  
Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal  
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do  
título de Engenheiro Civil

**Orientador: Maurício Carvalho Ayres Torres**  
**Orientadora: Ana Paula Kirchheim**

Porto Alegre  
novembro 2015

**VICTORIA BOTTINI MILAN**

**DESEMPENHO TÉRMICO: ANÁLISE DE UMA EDIFICAÇÃO  
ESCOLAR PADRÃO PROINFÂNCIA INSTALADA NO  
MUNICÍPIO DE CAMAQUÃ**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, novembro de 2015

Prof. Maurício Carvalho Ayres Torres  
Dr. pela Universitat Politècnica de  
Catalunya.  
Orientador

Prof. Ana Paula Kirchheim  
Dra. pela Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul  
Orientadora

**BANCA EXAMINADORA**

**Ana Paula Kirchheim (UFRGS)**  
Dra. pela Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul

**Maurício Carvalho Ayres Torres  
(Sustentativa)**  
Dr. pela Universitat Politècnica de  
Catalunya.

**Rômulo Plentz Giralt (UFRGS)**  
Me. pela Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul

**Gustavo Longaray Moraga**  
Bel. Arq. pela Pontifícia Universidade  
Católica do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a minha família  
pelo apoio e amor incondicionais.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a toda minha família, em especial aos meus pais João e Doris, por se fazerem presentes em todas as fases da minha vida, e por nunca deixarem me faltar apoio, dedicação e carinho desmedidos.

Agradeço a Barbara, minha irmã, por nunca deixar eu me sentir sozinha, por me trazer felicidade e por me dar apoio em todos os momentos em que mais precisei.

Agradeço a Bruno Felipe, meu namorado, pelo suporte, paciência e companheirismo desde o início da jornada acadêmica.

Agradeço ao Professor Maurício Ayres Torres, orientador deste trabalho, pela atenção incondicional, pela disponibilidade e por todo conhecimento repassado durante todas as etapas deste trabalho.

Agradeço a Professora Ana Paula Kirchheim, orientadora deste trabalho, pela oportunidade e apoio na elaboração deste trabalho de diplomação, pela dedicação à Universidade e aos alunos e pela inspiração profissional.

Agradeço a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, por ter me tornado uma pessoa mais forte e mais sábia e pela oportunidade de conhecer tantas pessoas incríveis durante a graduação.

Ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades  
para a sua própria produção ou a sua construção.

*Paulo Freire*

## RESUMO

O Proinfância foi instituído em 2007, pelo governo federal, com o objetivo de ampliar a infraestrutura de educação infantil, que apresenta um déficit atual de 55% de vagas em todo o Brasil. O Fundo Nacional de Desenvolvimento a Educação disponibiliza quatro projetos padronizados que têm sido replicados em todo território nacional sem levar em consideração as diferentes condições climáticas de cada localidade, causando prejuízos de conforto térmico aos usuários. Este trabalho apresenta uma avaliação do desempenho térmico de um projeto padrão Proinfância tipo C implantado na cidade de Camaquã (Rio Grande do Sul). A avaliação foi qualitativa e utilizou parâmetros e os métodos quantitativos da NBR 15.575 e da ASHRAE *Standard 55*. Foram utilizados referências bibliográficas e softwares de apoio como o *Analysis BIO*, o *Google SketchUp Pro*, o plug-in *Legacy OpenStudio* e o *EnergyPlus*. Os resultados encontrados demonstraram que a norma nacional apresenta uma avaliação mais branda quando comparada à internacional, apresentando resultados de desempenho superiores. A avaliação segundo a ASHRAE *Standard 55* indicou que, em média, 45% do período de ocupação escolar os níveis de desempenho estão fora do intervalo de conforto térmico, exigindo que sejam consumidos 1078 kWh/ano de energia com sistemas de arrefecimento e resfriamento para elevar os níveis de desempenho térmico a fim de alcançar os níveis de desempenho térmico requeridos.

Palavras-chave: Proinfância, Projetos Padrão, Edificação Escolar, Desempenho Térmico, NBR 15.575, ASHRAE 55, simulação computacional térmica

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma das etapas da pesquisa .....	21
Figura 2 – Zoneamento bioclimático brasileiro .....	37
Figura 3 – Carta bioclimática adotada para o Brasil .....	38
Figura 4 – Faixa aceitável de temperatura e umidade operacional .....	41
Figura 5 – Vista externa do projeto Proinfância tipo C .....	49
Figura 6 – Aumento do número de municípios gaúchos contemplados pelo Proinfância entre 2007 e 2011.....	49
Figura 7 – Vista superior do sítio de implantação .....	52
Figura 8 – Esquema da disposição dos espaços da edificação .....	53
Figura 9 – Elementos de sombreamento: cobogós e estrutura vertical .....	55
Figura 10 – Elementos de sombreamento: pergolados e beirais .....	55
Figura 11 – Orientação solar da edificação .....	55
Figura 12 – Incidência dos raios solares no dia 20 de janeiro às 8hrs da manhã .....	56
Figura 13 – Salas pedagógicas de permanência prolongada .....	57
Figura 14 – Vista do detalhe da modelagem da cobertura como zona térmica .....	63
Figura 15 – Distribuição anual das estratégias bioclimáticas para o calor .....	70
Figura 16 – Distribuição anual das estratégias bioclimáticas para o frio .....	71
Figura 17 – Temperaturas mínimas, médias e máximas para cada mês do ano .....	73
Figura 18 – Distribuição de temperaturas ao longo do dia típico de verão .....	75
Figura 19 – Distribuição de temperaturas ao longo do dia típico de inverno .....	77
Figura 20 – Desempenho térmico das salas de permanência prolongada da edificação ao longo do ano típico .....	80
Figura 21 – Desempenho térmico das salas de permanência prolongada da edificação ao longo do ano típico em período de ocupação .....	80
Figura 22 – Distribuição do desempenho térmico das salas de permanência prolongada da edificação ao longo do ano típico em período de ocupação .....	81
Figura 23 – Amplitudes térmicas das salas de permanência prolongada nos dias típicos .....	84
Figura 24 – Comportamento das temperaturas operativas internas durante os períodos de ocupação em outubro .....	84
Figura 25 – Comportamento das temperaturas operativas internas durante os períodos de ocupação em novembro .....	85
Figura 26 – Detalhe da cobertura .....	95
Figura 27 – Detalhe da laje pré-moldada .....	96

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Cronograma do trabalho .....	22
Quadro 2 – Descrição das estratégias Bioclimáticas .....	38
Quadro 3 – Limites dos principais critérios de conforto segundo os métodos gráfico e computacional da <i>Standard 55</i> .....	41
Quadro 4 – Perfil de ocupação das principais salas de permanência prolongada .....	58
Quadro 5 – Método simplificado NBR 15.575: requisitos e critérios de avaliação para o sistema de coberturas e paredes externas .....	60
Quadro 6 – Método de simulação NBR 15.575: requisitos de avaliação de desempenho térmico para condições de verão e de inverno .....	60
Quadro 7 – Método opcional para ambientes naturalmente ventilados <i>Standard 55</i> : critério de avaliação de desempenho térmico para condições anuais .....	61
Quadro 8 – Critérios e nível de desempenho segundo o método simplificado da NBR 15.575 .....	72
Quadro 9 – Dias típicos de Camaquã estimados por meio do arquivo climático .....	73
Quadro 10 – Critério e nível de desempenho das salas de permanência prolongada segundo o método de simulação da NBR 15.575 para o dia típico de verão .....	74
Quadro 11 – Critério e nível de desempenho das salas de permanência prolongada segundo o método de simulação da NBR 15.575 para o dia típico de inverno ..	76
Quadro 12 – Critério e nível de desempenho das salas de permanência prolongada segundo o método adaptado de simulação da NBR 15.575 para o dia típico de verão .....	78
Quadro 13 – Critério e nível de desempenho das salas de permanência prolongada segundo o método adaptado de simulação da NBR 15.575 para o dia típico de inverno .....	78
Quadro 14 – Condutividade térmica dos materiais da cobertura .....	95

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Projetos Proinfância: tipos e características .....	48
Tabela 2 – Propriedades dos materiais adotadas no modelo .....	65
Tabela 3 – Porcentagem de horas anuais de conforto e desconforto térmico em condições climáticas naturais .....	69
Tabela 4 – Temperatura e limites de intervalos de conforto mensais .....	79
Tabela 5 – Porcentagem do aumento de horas de conforto térmico obtidas com o uso de ventilação natural .....	82
Tabela 6 – Consumo energético e financeiro para garantir que os limites de temperatura de conforto da <i>Standard 55</i> sejam respeitados .....	83

## **LISTA DE SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASHRAE – *American Society Of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*

BIM – *Building Information Modeling*

CAD – *Computer-aided Design*

CIEP – Centro Integrado de Educação Pública

FNDE – Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação

NBR – Norma Brasileira

Proinfância – Programa Nacional de Reestruturação e Aquisição de Equipamentos para Rede Escolar Pública Infantil

RS – Rio Grande do Sul

TCE – Tribunal de Contas do Estado

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\rho$  – refletância a radiação solar

$\varepsilon$  – emissividade

$\alpha$  – absorptância a radiação solar

$\tau$  – transmissividade térmica

$\lambda$  – condutividade térmica [W/m.K]

$R_T$  – resistência térmica total [m<sup>2</sup>.K/W]

$U$  – transmitância térmica [W/m<sup>2</sup>.K]

$C_T$  – capacidade térmica [kJ/m<sup>2</sup>K]

$\Phi$  – atraso térmico [h]

$TM$  – taxa metabólica [met]

$I_{cl}$  – resistência térmica do vestuário [clo]

$v$  – velocidade do ar [m/s]

$PMV$  – voto médio predito

$L$  – carga térmica atuante sobre o corpo [W/m<sup>2</sup>]

$PPD$  – porcentagem de pessoas insatisfeitas [%]

$T_{oc}$  – temperatura operativa de conforto [°C]

$T_{oi}$  – temperatura operativa interna horária [°C]

$T_{média\ mensal}$  – temperatura média mensal do ar externo [°C]

$T_{i,máx}$  – valor máximo diário de temperatura do ar no interior da edificação [°C]

$T_{e,máx}$  – valor máximo diário de temperatura do ar no exterior da edificação [°C]

$T_{i,mín}$  – valor mínimo diário de temperatura do ar no interior da edificação [°C]

$T_{e,mín}$  – valor mínimo diário de temperatura do ar no exterior da edificação [°C]

$A$  – área [m<sup>2</sup>]

$e$  – espessura [m]

$R_{ar}$  – resistência térmica do ar [m<sup>2</sup>.K/W]

$R_{se}$  – resistência térmica superficial externa [m<sup>2</sup>.K/W]

$R_{si}$  – resistência térmica superficial interna [m<sup>2</sup>.K/W]

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>2 DIRETRIZES DA PESQUISA</b> .....	18
2.1 QUESTÃO DA PESQUISA .....	18
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA .....	18
<b>2.2.1 Objetivo Principal</b> .....	18
<b>2.2.2 Objetivos Secundários</b> .....	18
2.3 HIPÓTESE .....	19
2.4 PRESSUPOSTO .....	19
2.5 PREMISSE .....	19
2.6 DELIMITAÇÕES .....	20
2.7 LIMITAÇÕES .....	20
2.8 DELINEAMENTO .....	20
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	23
3.1 CONFORTO TÉRMICO NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	23
<b>3.1.1 Conceitos Básicos</b> .....	23
<b>3.1.2 Variáveis de Conforto Térmico</b> .....	25
3.1.2.1 Envoltória Construtiva .....	25
3.1.2.1.1 <i>Elementos construtivos</i> .....	25
3.1.2.1.2 <i>Propriedades térmicas dos elementos construtivos</i> .....	27
3.1.2.2 O Sítio de Implantação .....	28
3.1.2.2.1 <i>Radiação Solar</i> .....	29
3.1.2.2.2 <i>Temperatura</i> .....	30
3.1.2.2.3 <i>Umidade do ar</i> .....	30
3.1.2.2.4 <i>Vento</i> .....	31
3.1.2.3 O Usuário .....	32
3.1.2.3.1 <i>Taxa metabólica</i> .....	32
3.1.2.3.2 <i>Resistência térmica do vestuário</i> .....	33
<b>3.1.3 Modelos de Avaliação do Ambiente Térmico</b> .....	34
<b>3.1.4 Normas de Desempenho Térmico</b> .....	35
3.1.4.1 NBR 15.220: 2005 e NBR 15.575: 2013 .....	36
3.1.4.2 ASHRAE <i>Standard 55</i> : 2010 .....	40
<b>3.1.5 Tecnologias de Conforto Térmico em Edificações</b> .....	43

3.2 PROGRAMAS COMPUTACIONAIS PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES .....	44
3.2.1 <i>Analysis BIO</i> .....	44
3.2.2 <i>Google SketchUp Pro e Legacy OpenStudio SketchUp Plug-in</i> .....	45
3.2.3 <i>EnergyPlus</i> .....	45
3.3 PROGRAMA PROINFÂNCIA .....	46
3.3.1 O Programa .....	47
3.3.2 Os projetos padrão .....	47
3.3.3 Proinfância no Rio Grande do Sul .....	49
4 METODOLOGIA .....	51
4.1 CARACATERIZAÇÃO BIOCLIMÁTICA DA ÁREA EM ESTUDO .....	51
4.2 CARACATERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO EM ESTUDO .....	51
4.2.1 Sítio de Implantação .....	52
4.2.2 Geometria e Forma Arquitetônica .....	53
4.2.3 Elementos e Materiais Construtivos .....	54
4.2.4 Orientação Solar.....	55
4.2.5 Perfil de Ocupação .....	57
4.3 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS E CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO .....	58
4.3.1 NBR15.575: 2013 .....	59
4.3.2 ASHRAE <i>Standard 55: 2010</i> .....	60
4.4 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO .....	61
4.4.1 Método Simplificado .....	61
4.4.2 Método de Simulação .....	62
4.4.2.1 Modelo tridimensional e zonas térmicas .....	62
4.4.2.2 Dados climáticos .....	64
4.4.2.3 Localização e período de simulação .....	64
4.4.2.4 Temperatura do solo .....	64
4.4.2.5 Dados construtivos .....	65
4.4.2.6 Cargas térmicas .....	64
4.4.2.7 Esquemas de densidade de ocupação e uso .....	67
4.4.2.8 Infiltração e ventilação natural .....	67
4.5 ESTIMAÇÃO DO AUMENTO NO CONSUMO ENERGÉTICO .....	67
5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	69
5.1 CARACTERIZAÇÃO BIOCLIMÁTICA DA ÁREA EM ESTUDO .....	69

5.2 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO .....	71
<b>5.2.1 NBR 15.575: 2013</b> .....	71
5.2.1.1 Método Simplificado .....	71
5.2.1.2 Método de Simulação Computacional .....	72
5.2.1.2.1 <i>Determinação dos dias típicos</i> .....	72
5.2.1.2.2 <i>Desempenho térmico sem cargas internas</i> .....	73
5.2.1.2.3 <i>Desempenho térmico com cargas internas</i> .....	77
<b>5.2.2 ASHRAE Standard 55: 2010</b> .....	79
5.3 ESTIMAÇÃO DO AUMENTO NO CONSUMO ENERGÉTICO .....	82
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES DE PESQUISA</b> .....	86
6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	86
6.2 SUGESTÕES DE PESQUISA .....	88
REFERÊNCIAS .....	89
APENDICE A – Memória de cálculo: transmitância térmica do sistema de cobertura ...	94
ANEXO A – Planta de implantação .....	98
ANEXO B – Planta baixa .....	100
ANEXO C – Cortes .....	102
ANEXO D – Mapa de esquadrias .....	105



## 1 INTRODUÇÃO

O aumento na expansão da infraestrutura escolar infantil brasileira, nos últimos anos, não tem sido suficiente para acabar com o déficit de vagas que vem dificultando a integração de crianças ao meio escolar. Ainda que existam leis nacionais que imponham ao Estado o dever de garantir educação infantil gratuita às crianças de até cinco anos (BRASIL, 2013, p. 2) e metas do Plano Nacional de Educação 2014-2024 a serem cumpridas, dados atuais das taxas de atendimento em creches e pré-escolas demonstram que apenas 45% da população infantil do país tem acesso às instituições educacionais (TCE/RS, 2015, p. [5]).

A urgência na necessidade de ampliação de vagas já era reconhecida pelo Governo Federal que, desde 2007, em medida de ação imediata do Plano de Desenvolvimento da Escola, instituiu o Programa Nacional de Reestruturação e Aquisição de Equipamentos para a Rede Escolar Pública de Educação Infantil, o Proinfância. Segundo o Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação, FNDE, ([2015]b) o “principal objetivo [desse Programa é] [...] prestar assistência financeira ao Distrito Federal e aos municípios visando garantir o acesso de crianças a creches e escolas de educação infantil da rede pública.”.

Por meio da disposição de tipologias de projetos padrão de escolas de educação infantil às redes administrativas municipais, o Proinfância facilita os processos de licitação e repasse de verbas às prefeituras que tem interesse em implantar tais estruturas educacionais e que preenchem pré-requisitos. Dados indicam que, até março de 2015, já haviam sido liberados mais de 10 bilhões de reais para este fim. Neste período, 2.533 creches padrão foram concluídas e 3.893 estavam em obras, beneficiando cerca de 4.000 municípios brasileiros (BRASIL, 2015b).

Esses projetos são padronizados e podem ser implantados em terrenos com dimensões suficientes em qualquer região do Brasil, não levando em consideração, portanto, as variáveis climáticas locais específicas de onde serão construídos. Segundo Paes e Bastos (2013, p. 133), isso tende a gerar grandes prejuízos nos níveis de desempenho térmico, que, por sua vez, aumentam o consumo energético dessas edificações.

Essa despesa no conforto térmico e ao meio pode se propagar e ocasionar danos à saúde e ao desempenho intelectual dos usuários (COLLABORATIVE FOR HIGH PERFORMANCE SCHOOLS, 2006, p. 93). Xu et al. (2012, p. 129) demonstram que devido às características fisiológicas, metabólicas e comportamentais, as crianças são mais sensíveis ao desconforto térmico do que adultos, estando mais propensas a desenvolverem doenças respiratórias, renais e dermatológicas.

A fim de estimar a qualidade dos ambientes térmicos das novas escolas do Proinfância, e garantir que a ampliação na oferta de vagas não esteja acontecendo à custa da construção de escolas de baixo nível de conforto térmico e eficiência energética, este trabalho pretende avaliar o desempenho térmico e estimar os incrementos no consumo energético, devido à necessidade de utilização de tecnologias ativas de conforto térmico, de uma unidade escolar Padrão Proinfância tipo C implantada no município de Camaquã, Rio Grande do Sul, de acordo com a norma brasileira NBR 15.575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c) e a internacional americana *Standard 55* (ASHRAE, 2010).

## 2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

### 2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: qual é o desempenho térmico do projeto padrão Proinfância tipo C, implantado no município de Camaquã, segundo a NBR 15.575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c) e a *Standard 55* (ASHRAE, 2010)?

### 2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e são descritos a seguir.

#### 2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal do trabalho é a determinação qualitativa do nível de desempenho térmico de um projeto padrão Proinfância tipo C, implantado no município de Camaquã, segundo a NBR 15.575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c) e a *Standard 55* (ASHRAE, 2010).

#### 2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho são, para uma edificação escolar padrão Proinfância tipo C, instalada na zona bioclimática 2:

- a) análise comparativa da diferença dos resultados, de desempenho térmico, obtidos, quando consideradas as cargas internas na temperatura do ar, na avaliação da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a);
- b) cálculo do aumento do consumo energético para elevar os níveis de desempenho insuficientes segundo a *Standard 55* (ASHRAE, 2010);

- c) análise comparativa da diferença dos resultados, de desempenho térmico, obtidos segundo a NBR 15.575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c) e a *Standard 55* (ASHRAE, 2010).

## 2.3 HIPÓTESE

As hipóteses do trabalho são que o nível de desempenho térmico de um projeto padrão Proinfância tipo C, implantado no município de Camaquã:

- a) determinado através do método simplificado da NBR 15.575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c) não é representativo;
- b) determinado segundo os critérios da NBR 15.575-1 (2013a) é maior do que o determinado pela *Standard 55* (ASHRAE 2010);
- c) determinado segundo os critérios da *Standard 55* (ASHRAE, 2010) é, predominantemente, insuficiente no inverno e no verão.

## 2.4 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que projetos arquitetônicos padrão para todo território nacional não são adequados para todas as zonas bioclimáticas do País, definidas pela NBR 15.220 (ABNT, 2005c). Além disso, pressupõe-se que os níveis de avaliação de desempenho térmico, estabelecidos pela *Standard 55* (ASHRAE, 2010), são suficientes para garantir conforto aos usuários no ambiente escolar.

## 2.5 PREMISSA

O trabalho tem a premissa que a utilização de projetos padrão em todo território nacional tem gerado edificações com índices insuficientes de conforto térmico, resultando em espaços inadequados para a permanência prolongada de crianças e influenciando negativamente no processo de aprendizado. Além disso, considera que esse fato acarreta maiores gastos com aquisição de equipamentos mecânicos de climatização e, conseqüentemente, um maior consumo de energia para atingir os níveis mínimos de conforto térmico.

## 2.6 DELIMITAÇÕES

O desenvolvimento do trabalho foi restrito a apenas uma edificação escolar padrão Proinfância tipo C, implantada no município de Camaquã.

## 2.7 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) utilização do software *EnergyPlus*, versão 8.1, para simulações térmicas;
- b) utilização do software *Analysis BIO*, versão 2.2, para previsão das estratégias bioclimáticas propostas na NBR 15.220 (ABNT, 2005c);
- c) utilização dos dados climáticos da cidade de Camaquã (RORIZ, 2012a, 2012b) fornecidos pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações;
- d) adoção dos valores de propriedades térmicas dos materiais estabelecidos pela NBR 15.220 (ABNT, 2005b) e pela biblioteca do *EnergyPlus* (UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY, 2013), versão 8.1, como os da edificação;
- e) adoção das especificações técnicas e construtivas estabelecidas pelo FNDE ([2012]c), através do memorial descritivo como as da edificação.
- f) adoção dos níveis de avaliação de desempenho térmico estabelecidos na NBR 15.575 (ABNT, 2015a, 2015b, 2015c), como níveis de referência;
- g) adoção dos níveis de avaliação de desempenho térmico estabelecidos na *Standard 55* (ASHRAE, 2010), como níveis de referência;

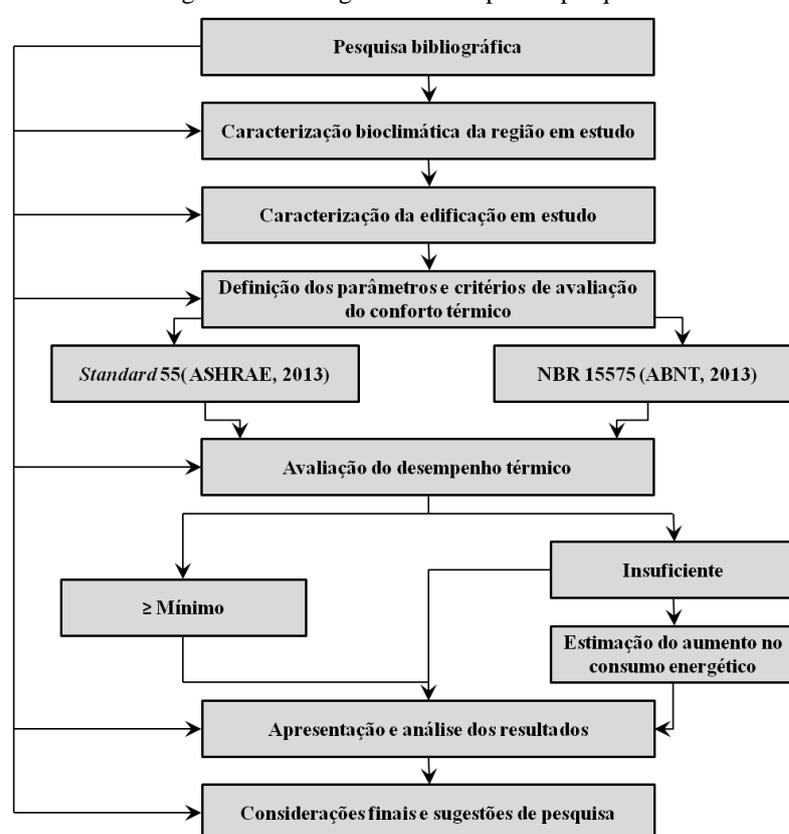
## 2.8 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado por meio das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) caracterização bioclimática da região em estudo;
- c) caracterização da edificação em estudo;
- d) definição dos parâmetros e critérios de avaliação do conforto térmico;
- e) avaliação do desempenho térmico;
- f) estimativa do aumento no consumo energético;
- g) apresentação e análise dos resultados;
- h) considerações finais e sugestões de pesquisa.

Foi realizada, inicialmente, uma pesquisa bibliográfica com intuito de compreender os conceitos de conforto térmico em edificações e conhecer as instruções normativas brasileiras, NBR 15.220 e NBR 15.575 (ABNT, 2005a, 2005b, 2005c, 2013a, 2013b, 2013c), e a americana, *Standard 55* (ASHRAE, 2010), que abordam métodos, parâmetros e critérios de avaliação de desempenho térmico. Foram revisados, ainda, programas computacionais que tem sido utilizados para projetar ambientes termicamente confortáveis e dados gerais sobre o programa Proinfância. A pesquisa bibliográfica se estendeu paralelamente as etapas consequentes, garantindo o embasamento teórico para o desenvolvimento do trabalho.

Figura 1 – Fluxograma das etapas da pesquisa



(fonte: elaborada pela autora)

Na segunda etapa, foi feita a caracterização bioclimática da região em estudo, onde foram avaliadas as possibilidades de conforto por meio das condições térmicas naturais. Nesta fase, foram determinadas, ainda, as estratégias bioclimáticas que deveriam ter sido utilizadas para elevar o desempenho térmico da edificação.

A terceira etapa consistiu na caracterização da edificação padrão Proinfância em análise, onde foram explanados todos os dados necessários para viabilizar as etapas posteriores. Foram

apresentados projetos e memoriais executivos da edificação, descritas as condições relevantes de seu sítio de implantação, bem como, dados de seus padrões de uso.

O próximo passo do trabalho foi a definição de parâmetros e de alguns dos critérios de avaliação de desempenho térmico a serem utilizados no trabalho. Todos esses dados foram obtidos das instruções normativas revisadas, ainda, na fase de pesquisa bibliográfica.

Com essas informações, foi dado início ao processo de avaliação de desempenho térmico, feito por meio de métodos manuais e de simulação computacional. Para a análise pelo método de simulação, foi necessária a criação de uma modelo tridimensional construído utilizando a interface gráfica do programa *Google SketchUp Pro*, o *plugin OpenStudio* e o *EnergyPlus*.

Para os casos em que a avaliação segundo a *Standard 55* (ASHRAE, 2010) apresentou como resultados um desempenho insuficiente foi feita uma estimativa do aumento no consumo energético, devido a necessidade de implementação de condicionadores de ar para elevar o desempenho a níveis mínimos. Essa estimativa, também, foi feita por meio de simulações no programa *EnergyPlus*.

Foram feitas, ainda, algumas considerações finais, embasadas nas análises dos resultados finais obtidos e em todo o conhecimento que se espera adquirir ao longo da pesquisa.

O desenvolvimento da pesquisa respeitou o cronograma, apresentado no quadro 1, estabelecido no início do projeto de pesquisa com o objetivo de garantir o cumprimento de prazos e facilitar o controle do andamento das etapas do trabalho.

Quadro 1 – Cronograma do trabalho

Etapas	mai/15	jun/15	jul/15	ago/15	set/15	out/15	nov/15
Pesquisa bibliográfica	X	X	X	X	X	X	X
Caracterização bioclimática da região em estudo			X				
Caracterização da edificação em estudo			X				
Definição dos parâmetros e critérios de				X			
Avaliação do conforto térmico				X	X	X	
Estimação do aumento no consumo energético						X	
Apresentação e análise dos resultados						X	
Considerações finais e sugestões de pesquisa							X

(fonte: elaborada pela autora)

## 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 CONFORTO TÉRMICO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O conforto térmico humano é uma função intrínseca às estruturas edificadas e pode ser entendido como a condição em que o organismo dos ocupantes necessita de um esforço mínimo para se adaptar termicamente ao ambiente em que estão inseridos (FROTA; SCHIFFER, 2001, p. 15). Segundo Kalz e Pfaffertott (2014, p. 15), entre os benefícios da disposição de um ambiente termicamente confortável podem ser destacados a satisfação mental e física, a melhoria de desempenho e a melhoria das condições de saúde dos usuários. Os níveis térmicos dos ambientes internos são comumente controlados através do uso integrado ou individual de tecnologias passivas, ativas e proativas de calefação e de arrefecimento. A adoção do condicionamento térmico natural, sempre que possível, gera maiores benefícios aos usuários e ao meio ambiente do que quando adotados sistemas artificiais de controle térmico (LAMBERTS et al., 2013).

#### 3.1.1 Conceitos Básicos

O primeiro conceito básico a ser apresentado é o de **energia interna**. Definida por Çengel e Ghajar (2012, p. 6) como a soma de todas “As formas de energia relacionadas com a estrutura molecular de um sistema [ou corpo] e com o [seu] grau de atividade molecular [...]”, esta variável é uma característica própria da matéria e pode ser mensurada através da **temperatura** - quanto maior ou menor a energia interna, maior ou menor, respectivamente, a temperatura.

Quando um sistema é composto por mais de um corpo com temperaturas diferentes entre si ou possui mais energia interna que o necessário, ele tende a buscar o **equilíbrio térmico**, através da transferência de energia entre os corpos. Essa transmissão está condicionada à existência de um gradiente térmico, e acontece sempre no sentido da maior para a menor temperatura. Toda energia envolvida nesse processo de transferência térmica é denominada **calor** (SATO; RAMOS, 2014, p. 71).

O calor pode ser classificado como sensível ou latente. O sensível resulta de uma agitação molecular demasiada e é dissipado através de mecanismos de **trocas térmicas secas** - convecção, condução e radiação. Já a parcela latente, provém de mudanças de fase da estrutura molecular e utiliza mecanismos de trocas **térmicas úmidas** - evaporação e condensação – para dissipar-se (FROTA; SCHIFFER, 2001, p. 31).

As trocas secas são predominantes nas edificações, Sato e Ramos (2014, p. 78) diferenciam seus mecanismos pela necessidade, ou não, da existência de um meio material para que ocorra a transferência de calor. Tanto a **condução** quanto a **convecção** estão condicionadas a existência desse meio, ainda que ele seja sólido, para o primeiro caso, e fluído para o segundo. Já o mecanismo da **radiação**, independe de um recurso material para realizar trocas térmicas, transmitindo calor por meio de ondas eletromagnéticas.

Essas trocas atuam de forma simultânea sobre os sistemas e cada uma possui capacidade, maior ou menor, de alterar o conforto térmico dos corpos. O controle desses mecanismos é, portanto, essencial e pode ser feito pelo homem por meio de ações involuntárias e voluntárias de regulação térmica.

A **termorregulação** do organismo humano por meio da vasoconstrição e do arrepio, quando exposto ao frio, e da vasodilatação e da exsudação, quando exposto ao calor é um exemplo de resposta térmica involuntária. Frota e Schiffer (2001, p. 20) destacam que “A termorregulação, apesar de ser o meio natural de controle de perdas de calor pelo organismo, representa um esforço extra e, por conseguinte, uma queda de potencialidade de trabalho [humano].”.

Quando a termorregulação torna-se insuficiente para garantir o conforto térmico em um ambiente faz-se o uso da **regulagem térmica voluntária**. A utilização de vestuário específico e do próprio ambiente construído são alguns dos mecanismos mais primitivos de ajuste térmico consciente (KALZ; PFAFFEROTT, 2014, p. 16). Atualmente, o desempenho térmico das edificações é medido pela necessidade deste tipo de regulação, quando definido um padrão de vestuário e de ocupação.

### 3.1.2 Variáveis de Conforto Térmico

A condição de conforto térmico esta relacionada a uma série de fatores físicos e humanos variáveis em relação ao espaço e ao tempo. No interior da edificação as sensações térmicas são afetadas principalmente pela própria envoltória construtiva, pelas condições, climáticas e locais, do sítio de implantação onde ela esta inserida e pelo perfil de seus usuários. Quando se almeja a construção de um espaço confortável, a correta combinação dessas variáveis é determinante para o desempenho da edificação.

#### 3.1.2.1 A Envoltória Construtiva

Segundo Brasil et al. ([2013], p. 36), “A envoltória pode ser comparada a pele da edificação. Trata-se do conjunto de elementos construtivos que estão em contato com o meio exterior, ou seja, que compõem os fechamentos dos ambientes internos em relação ao ambiente externo.”. Utilizando a mesma analogia citada pelo autor, assim como a pele a envoltória é a principal responsável pelas trocas de calor entre o ambiente interno e externo. Dessa forma, torna-se importante entender a maneira como as propriedades dos materiais se comportam frente às condições da edificação.

##### 3.1.2.1.1 Elementos construtivos

Brasil et al. ([2013], p. 36) declara como elementos da envoltória “todos os elementos que estão acima do nível do solo e em contato com o exterior ou com outro edifício”. Esses elementos, também chamados elementos de fechamento, podem ser classificados, segundo seu sistema construtivo, como vedações verticais, pisos ou coberturas (ABNT, 2013a). Ou, segundo sua capacidade de transmissão de radiação direta, como opacos ou transparentes (FROTA; SCHIFFER, 2001, p. 41).

Do ponto de vista térmico, os **pisos** como fechamentos, são os elementos de envoltória que tem menor capacidade de afetar os níveis de conforto de uma edificação, já que além de serem os menos expostos a radiação e a temperatura do ar externo, as pessoas geralmente andam calçadas. Esses sistemas opacos realizam, predominantemente, trocas térmicas por condução entre o solo e sua superfície. A utilização de materiais mais densos e de camadas de isolamento são medidas que reduzem a velocidade de amplitude térmica nos ambientes internos.

Os sistemas de **coberturas**, no entanto, tem grande influência na carga térmica final do edifício. Suas extensas áreas estão sujeitas a trocas térmicas, entre o ambiente interno e externo, por condensação, radiação e convecção. O impacto e a velocidade dessas trocas podem ser amenizados através do uso de elementos isolantes na composição do sistema e da adição de espaços de ar ventilados entre o ambiente e a cobertura (FROTA; SCHIFFER, 2001, p. 71). Mueller (2007, p. 9) destaca ainda, que quando os ganhos de calor forem indesejáveis pode-se fazer o uso barreiras radiante e materiais de cores claras para reduzi-los.

Por fim, as **vedações verticais** representam os elementos da envoltória de maior área de contato com o ambiente externo, bem como, os com maior número de aberturas e de elementos transparentes. Os elementos verticais **opacos** sofrem principalmente com as trocas térmicas por radiação e convecção, enquanto que quando **transparentes** apresentam ainda mais uma troca por radiação direta. Dentre todas as trocas térmicas, esta é a que gera um maior incremento de calor aos ambientes internos, pois depende apenas da propriedade de transmissividade do elemento transparente (LAMBERTS et al., 2013, p. 197-198). A adoção de materiais isolantes e de cores claras nas paredes opacas e de elementos de sombreamento e de vidros de baixa transmissividade nas paredes ou aberturas transparentes são algumas medidas comumente utilizadas para elevar o desempenho térmico da edificação.

Ainda sobre os fechamentos verticais, vale destacar o papel das aberturas existentes nas vedações verticais nos níveis de ventilação e de renovação de ar dos ambientes internos. A forma em que são dispostas e os tipos de aberturas utilizadas podem colaborar enormemente para a satisfação térmica dos ocupantes de uma edificação. Frota e Schiffer (2001) destacam que a decisão de quanto fazer uso da ventilação natural deve se basear nos valores de umidade relativa do ar e nas variações das temperaturas diárias do local de implantação do projeto. Barreiras de vento e sistema de ventilação cruzada são duas das técnicas de ventilação natural adotadas em edifícios.

Ainda que apresentados separadamente, todos esses elementos atuam de forma conjunta no desempenho térmico da edificação. O projeto de envoltória mais eficiente termicamente será aquele que conseguir conciliar todos esses múltiplos parâmetros simultâneos aos múltiplos critérios ambientais. Paes e Bastos (2013, p. 133) consolidam essa ideia ao afirmar que “[...] constitui-se um desafio à ação do projetar que considere toda a variedade destas questões energéticas e ambientais que vêm se somar aos critérios usuais de projeto.”.

### 3.1.2.1.2 Propriedades térmicas dos elementos construtivos

Callister Junior (2008, p. 531) declara que “Por propriedade térmica entende-se resposta de um material [ou elemento] a aplicação de calor.”. O conhecimento dessas propriedades, bem como de sua sinergia, é muito importante para análise do desempenho dos ambientes construídos, visto que os materiais e elementos construtivos se comportam em função dessas propriedades. Entre as propriedades citadas pela literatura as mais relevantes para este trabalho são:

- a) **absortância a radiação solar ( $\alpha$ ):** a NBR 15.220-1 (ABNT, 2005a, p. 3) a define como o “Quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície.”. Dessa forma, entende-se que a absortância é uma propriedade adimensional dependente das condições superficiais dos elementos, mais especificamente, de sua cor superficial (ÇENGEL; GHAJAR, 2014, p. 706-707). Materiais escuros possuem absortâncias maiores, ou seja, absorvem mais calor e dissipam menos radiação solar, que materiais claros ou transparentes.
- b) **refletância a radiação solar ( $\rho$ ):** a refletância é um quociente assim como a absortância, que quantifica a capacidade reflexiva de uma superfície (ABNT, 2005a, p. 3). Essa propriedade é determinante na percepção humana da cor, a radiação visível refletida pelas superfícies pode ser entendida como a cor da matéria.
- c) **transmitância a radiação solar ( $\tau$ ):** propriedade superficial dos materiais transparentes, a transmitância representa a relação entre radiação solar que é transmitida diretamente pela radiação solar incidente (ABNT, 2005a, p. 3). Essa propriedade é muito importante para a utilização de iluminação natural em interiores e deve ser dosada de modo a garantir a penetração de luz sem prejudicar o conforto térmico dos ambientes.
- d) **emissividade ( $\epsilon$ ):** apresentada pela NBR 15.220-1 (ABNT, 2005a, p. 3) como o “Quociente da taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura.”, a emissividade expressa a capacidade de uma superfície emitir calor. Ainda que assim como a absortância a emissividade esteja relacionada à camada superficial dos elementos, o brilho mais do que a cor é o fator determinante para esta propriedade (LAMBERTS et al., 2013, p. 209). Materiais aluminizados possuem emissividades menores, ou seja, emitem menos calor, que materiais pintados.
- e) **condutividade térmica ( $\lambda$ ):** definida pela NBR 15.220-1 (ABNT, 2005a p. 1) como “Propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de  $1W/m^2$ , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro.”, a condutividade térmica representa a capacidade de um elemento em conduzir uma certa quantidade de calor por unidade de tempo. Essa propriedade é uma característica de cada material da construção civil e depende de sua densidade, natureza química e de seu teor umidade (FROTA; SCHIFFER, 2001, p. 35). Quanto menor a densidade e o teor de umidade e quanto maior a disformidade

atômica, menor a condutibilidade do material. Sua unidade de medida é (W/m.K).

- d) **resistência térmica total ( $R_T$ )**: a resistência térmica total corresponde a um somatório da resistência térmica de um elemento e de suas resistências térmicas superficiais (ABNT, 2005a, p. 2). A resistência térmica de um material é função de sua espessura e de sua condutividade térmica e pode ser entendida como sua capacidade em resistir à passagem de calor (LAMBERTS et al., 2013, p. 210). Já a resistência térmica superficial varia de acordo com as propriedades do corpo e do ambiente externo, podendo ser determinada simplificada através da adoção dos valores médios, indicados pela NBR 15.220-1 (ABNT, 2005a), e do conhecimento da direção dos fluxos de calor. Materiais mais densos com fluxos de calor descendentes apresentam maior resistência térmica. Sua unidade de medida é  $(m^2.K)/W$ .
- f) **transmitância térmica ( $U$ )**: para a NBR 15.220-1 (ABNT, 2005a, p. 2) a transmitância nada mais é que o “Inverso da resistência térmica total.”, ou seja, a propriedade que quantifica a capacidade do material em transmitir o calor. Lamberts et al. (2012, p. 215) destaca que para esta propriedade é importante distinguir os materiais do envelope em opacos e transparentes, devido a parcela de transmissão por radiação direta que deve ser somada a estes últimos. Sua unidade de medida é  $W/(m^2.^{\circ}K)$ .
- g) **capacidade térmica total ( $C_T$ )**: segundo NBR 15.220-1 (ABNT, 2005a, p. 2) essa grandeza representa o quociente da “Quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema.” pela sua área, simplificada, capacidade de um corpo em reter calor. Esta propriedade influi diretamente na inércia térmica da edificação. Sua unidade de medida é  $kJ/(m^2.K)$ .
- h) **atraso térmico ( $\phi$ )**: a NBR 15.220-1 (ABNT, 2005a, p. 2) o define como o “Tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor.”. Esta propriedade esta diretamente relacionada a inércia térmica dos elementos construtivos. Quanto maior a inércia maior o atraso térmico (FROTA; SCHIFFER, 2001, p.50). Essa propriedade é medida em horas.

### 3.1.2.2 O Sítio de Implantação

Além do conhecimento dos elementos e propriedades dos materiais que compõem uma envoltória, um projeto termoeiciente e confortável deve avaliar o contexto em que está inserido. As condições climáticas e locais as quais a edificação está exposta são variáveis essenciais a serem consideradas ainda nas primeiras etapas do projeto (PAES; BASTOS, p. 133).

Corbella e Yannas (2009, p. 33) citam a radiação solar, a temperatura, o vento e a umidade do ar como algumas das **variáveis climáticas** que mais afetam os padrões de conforto do

ambiente construído. Frota e Schiffer (2001, p.53) destacam, ainda, que “Os valores dessas variáveis se alteram para os distintos locais da Terra [...]”, destacando a influência das **variáveis locais**, entre as quais podemos citar: a latitude; a orientação do terreno; o relevo; a urbanização e as condições do ar.

#### *3.1.2.2.1 Radiação Solar*

A primeira variável climática, a radiação solar atua na edificação sob a forma de calor e luz, possuindo, de fato, importante papel nos ganhos de carga térmica e de iluminação natural nos interiores. Segundo Frota e Schiffer (2001, p. 53) “as quantidades de radiação variam em função da época do ano e da latitude”. O tipo de nebulosidade encontrado na atmosfera e a orientação solar da edificação também condicionam esses níveis (LAMBERTS et al., 2013, p. 76-77).

As estações do ano, reflexos do movimento de translação da Terra em um plano inclinado com relação ao Sol, determinam as diferenças de quantidade de radiação recebida pelos hemisférios. No verão e no inverno os hemisférios recebem, de forma oposta, os máximos e os mínimos níveis de radiação, enquanto que na primavera e no outono esses níveis são praticamente iguais em ambos.

Frota e Schiffer (2001, p. 56) esclarecem que associada a esse movimento terrestre, a **latitude** também é determinante para definir os níveis de radiação de um local, já que “[...] vai determinar o ângulo de incidência dos raios do sol ao plano do horizonte do lugar.”. Latitudes extremas tendem a sofrer com níveis variáveis e baixos de radiação, e latitudes menores, próximas ao Equador, recebem quantidades maiores e mais uniformes durante o ano inteiro.

Ainda sim, nem toda a radiação emitida do Sol para a Terra, é recebida pela edificação. Parte do calor transferido pela radiação se espalha na atmosfera, amenizando os impactos térmicos locais. Esse fator depende diretamente da **nebulosidade** e das **condições do céu** que variam enormemente no espaço e no tempo. A fim de facilitar essas considerações, são comumente criados modelos de céu (LAMBERTS et al., p. 74-76).

Outro fator a ser considerado é a **orientação solar das fachadas** da própria edificação. Corbella e Yannas (2001, p. 238) indicam que, para boa parte do sul Brasil, as fachadas leste e oeste devem ter suas áreas reduzidas, visto que o movimento aparente do Sol durante o dia contempla essas duas direções, tornando-as, portanto, as mais propensas a transferir calor para

o ambiente interno. Sobre as demais fachadas, cabe ao projeto explorar o menor ângulo do Sol com a superfície terrestre durante o inverno e dar preferência para a locação de aberturas na fachada norte. Estas medidas possibilitam um maior índice de radiação no inverno, sem gerar prejuízos térmicos no verão. Valores para outras localidades podem ser obtidos através do uso de cartas solares.

#### *3.1.2.2.2 Temperatura*

A temperatura terrestre, também sofre influência da disparidade da distribuição da energia advinda do Sol ao longo da superfície terrestre e, segundo Frota e Schiffer (2001, p. 57), “[...] da não uniformidade de distribuição de massas de terra e mar ao longo dos paralelos.”. Essas disparidades explicam, por exemplo, porque as latitudes mais distantes do Equador são excessivamente frias e porque as baixas latitudes ao norte do globo possuem estações de frio e calor mais rigorosas que as ao sul.

Fatores climáticos como a **altitude**, o **relevo** e a **vegetação** também afetam a temperatura em escalas locais. Quanto maior a altitude, menor a temperatura de um local, devido à rarefação do ar. Regiões montanhosas podem dificultar à circulação das massas de ar, tornando a temperatura da região atípica. Alterações na vegetação também exercem influência sobre a temperatura, de forma que, à medida que se tem um aumento do desmatamento, reduzem-se os índices pluviométricos e os de umidade, a temperatura, também, tende a aumentar.

A temperatura que age sobre a edificação pode ser afetada, ainda, pelo processo de **urbanização**. Corbella e Yannas (2009, p. 28) citam a formação de ilhas de calor, locais em que a temperatura média local costuma ser mais elevada que de outras regiões próximas, como um dos fenômenos climáticos decorrentes das alterações do revestimento do solo, da alta densidade de estruturas edificadas e até dos níveis de emissão de poluentes que ocorrem nas cidades.

#### *3.1.2.2.3 Umidade do Ar*

O ar atmosférico é formado por uma parcela seca e uma parcela de vapor d’água, denominada umidade atmosférica. A quantidade dessa umidade pode ser estimada a partir da umidade relativa, definida por Çengel e Ghajar (2012, p. 815) como “[...] a razão entre a quantidade real da umidade no ar a uma determinada temperatura e o valor máximo de umidade que o ar

pode conter nessa temperatura [...]. A umidade relativa do ar varia de 0 para o ar seco até 100% para o ar saturado”.

Essa umidade é proveniente da evaporação das águas e da transpiração das plantas e age na envoltória construtiva intensificando ou amenizando os efeitos de temperatura (FROTA; SCHIFFER, 2001, p. 62). Kalz e Pfafferott (2014, p. 19) destacam-na como uma condição contorno para garantia do conforto geral.

As condições de umidade são importantes nos controles de amplitudes térmicas de um local. Lugares úmidos possuem menor variação entre as temperaturas diurnas e noturnas do que lugares secos. Isso acontece porque o vapor de água presente no ar retém parte da radiação solar emitida para superfície da Terra, retardando o processo de aquecimento imediato da superfície. O mesmo acontece à noite, só que em sentido inverso. Isso explica porque desertos são tão quentes durante o dia e tão frios durante a noite (ÇENGEL; GHAJAR, 2012, p.708).

#### *3.1.2.2.4 Vento*

Frota e Schiffer (2001, p. 126) definem o vento como “[...] o ar que se desloca paralelamente ao solo em movimento lamelar [...]”. Essa movimentação de ar ocorre devido à existência de um gradiente de pressão, causado pelo próprio vento ou por uma diferença de densidades, e acontece sempre no sentido da maior para menor pressão (CORBELLA; YANNAS, 2009, p. 216). O vento é utilizado nas edificações para gerar ganhos no conforto térmico e pra promover as trocas de ar entre os ambientes.

Em escala global, os ventos são afetados pela distribuição sazonal da pressão atmosférica, influenciada pelos gradientes de temperatura terrestres e pelo movimento de rotação da Terra. Os ventos tendem a fluir, naturalmente, dos polos para as regiões equatoriais e teriam um sentido vertical constante se não fosse pelo movimento de rotação terrestre, que imprime a chamada força de Coriolis, deslocando o vento no Equador para o sentido horizontal, para a direita no Hemisfério Norte e para esquerda no Hemisfério Sul (FROTA; SCHIFFER, 2001, p. 63-64).

No entanto, Lamberts et al. (2013, p. 79) destacam que “Em uma região climática pode haver variações significativas de direção e velocidade do ar.”. Estas variações estão, geralmente, relacionadas a características do **relevo**, condições de **continentalidade** e a **maritimidade** e a efeitos da **urbanização**. As diferenças de temperatura entre picos e vales de regiões

montanhosas e entre terra e mar nas regiões litorâneas, faz com que o vento destes locais tenha características peculiares e sopra em sentidos opostos durante o dia e a noite. Já os efeitos de urbanização, afetam mais fortemente os movimentos de ar, que ficam condicionados ao desenho urbano.

A forma, a dimensão e a **distribuição das aberturas**, bem como a utilização de detalhes arquitetônicos e **vegetação** no entorno, são algumas características próprias a cada edificação que também vão alterar o vento final que chega até ela. A utilização de aberturas em mais de uma parede de um ambiente, quando consideravelmente espaçadas e locadas em uma fachada perpendicular e uma paralela a direção do vento, geram uma ventilação mais efetiva, com uma velocidade mais agradável aos ocupantes (LAMBERTS et al., 2013, p. 185).

Frota e Schiffer (2001, p. 131) esclarecem que quando as aberturas não puderem ser dispostas nas direções mais favoráveis, o uso de vegetação para redirecionar o vento para os ambientes internos é uma boa opção a ser adotada. Além disso, a vegetação pode ser utilizada, também, quando se deseja alterar os níveis de velocidade do vento incidente.

### 3.1.2.3 O Usuário

Como já citado anteriormente, o conforto térmico é uma resposta humana ao ambiente. Dessa forma, o conhecimento do perfil do usuário e das características de sua ocupação é indissociável de um projeto termicamente agradável. A ASHRAE (2010, p. 2) cita como variáveis pessoais de conforto térmico a **taxa metabólica** e a **resistência térmica de vestuário**.

#### 3.1.2.3.1 Taxa metabólica (TM)

O corpo humano produz energia para manter sua temperatura corporal estável durante a realização de suas atividades através do metabolismo (ÇENGEL; GHAJAR, p. 41). Frota e Schiffer (2001, p. 19) destacam que apenas 20% dessa energia produzida é convertida em energia útil e que o restante é liberado para o ambiente em forma de calor. Dessa forma, a taxa metabólica, no contexto do conforto térmico pode ser entendida não só como uma taxa de consumo de energia do corpo, mas, também, como uma taxa de liberação de calor do corpo para o ambiente.

O ser humano precisa de um nível mínimo dessa energia para desempenhar suas funções vitais, o qual chamamos de taxa metabólica basal, e de suplementos de energia para desempenhar suas atividades externas. À medida que as atividades exigem maiores níveis de esforço físico, a taxa metabólica total aumenta (LAMBERTS et al., 2011, p. 47). A atividade do usuário, portanto, tem a capacidade de alterar a temperatura ambiental que garante sua satisfação térmica.

Segundo a NBR 15220-1 (ABNT, 2005a, p. 6), a taxa metabólica pode “[...] ser expressa na unidade met (do inglês *metabolic unit*), que corresponde a 58.2 W/m<sup>2</sup>.”. Estima-se que a menor taxa metabólica, para um adulto médio, seja de 0.7 met, durante o sono, e que a máxima seja de 8.7 met, quando em atividade competitivas de luta (ASHRAE, 2010, p. 15). Fica evidente, que as temperaturas ambientes de conforto para essas duas atividades são extremamente diferentes.

#### 3.1.2.3.2 Resistência térmica do vestuário ( $I_{cl}$ )

As vestimentas representam uma barreira às trocas térmicas por radiação e convecção entre o corpo e o ambiente (FROTA; SCHIFFER, 2001, p. 23). Essa barreira impede grandes variações térmicas corporais e é determinante no nível de sensibilidade humana à temperatura ambiente.

Roaf et al. (2009, p. 163) declaram que “o isolamento geral oferecido pelo vestuário pode ser definido como a soma das contribuições das peças individuais de vestuário, como se cada uma delas fosse espelhada por toda a superfície do corpo.”. A resistência térmica de uma peça individual de roupa é usualmente medida em clo (do inglês *clothing*), que corresponde a 0.155 (m<sup>2</sup>.°C)/W, e depende, principalmente, da composição do tecido, da área de superfície corporal que ela tem a capacidade de cobrir e de seu ajuste ao corpo (ASHRAE, 2010).

A forma como as pessoas se vestem é variável e complexa. Assim como em climas úmidos pessoas optam pelo uso de várias camadas de roupas longas durante os períodos de inverno, em climas secos a adoção desse mesmo tipo de vestuário pode ser verificada no verão, por exemplo, tornando-se difícil estimar o tipo de vestimenta dos usuários em uma edificação. Ainda sim, mesmo com a incerteza, Çengel e Ghajar (2012, p. 41) destacam que o vestuário pode reduzir a taxa metabólica em até cerca de 50% e precisa ser considerado nos modelos de avaliação do conforto térmico.

### 3.1.3 MODELOS DE AVALIAÇÃO DO AMBIENTE TÉRMICO

Definir matematicamente as condições de conforto térmico de um ambiente é uma tarefa bastante complexa. Dificilmente todas as pessoas se sentirão satisfeitas termicamente em um mesmo local, visto que, o conforto térmico é uma condição pessoal e subjetiva dependente de muitas variáveis. No entanto, a delimitação dos índices de conforto é imprescindível para garantir se um ambiente é ou não termicamente agradável.

Existem muitos pesquisadores que construíram modelos para definir os limites entre o conforto e o desconforto térmico humano, os mais famosos citados pela literatura são Ole Fanger e Humphreys que criaram o modelo estático e o modelo adaptativo, respectivamente. Esses são os principais modelos de avaliação do ambiente térmico que as normas e leis mundiais baseiam-se para determinar as zonas de conforto (LAMBERTS et al., 2014, p. 9).

Fanger<sup>1</sup> (1970, *apud* KALZ; PFAFFEROTT, 2014, p. 22) esclarece que a **abordagem estática** de conforto térmico baseia-se na teoria de transferência de calor em regime estacionário e em estudos em uma série de câmaras climáticas. Esse modelo considera variáveis ambientais e variáveis pessoais combinadas para estimar a zona de conforto “universal”, entre as quais estão: temperatura radiante média; velocidade do ar; umidade relativa; taxa metabólica; e resistência térmica do vestuário.

A abordagem fornece duas equações analíticas para determinar o quão confortável ou desconfortável é um ambiente. A primeira, a equação do PMV, Voto Médio Preditado (do inglês *Predict Mean Vote*), representa uma escala variável subjetiva de calor e traduz a sensibilidade térmica humana. A segunda, a equação do PPD, Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (do inglês *Predict Percentage of Dissatisfied*), serve para limitar os valores de PMV a partir da definição de quantas pessoas podem estar insatisfeitas com o ambiente térmico para que ele, ainda sim, seja considerado confortável (LAMBERTS et al., 2013, p. 50).

Posteriormente a criação do modelo estático, pesquisadores verificaram, através de pesquisa de campo, diferenças entre as temperaturas de conforto térmicas declaradas *in loco* e as calculadas analiticamente. Entre as explicações apontadas para este fator está o fato de que essa abordagem baseia-se em resultados de ambientes termicamente controlados e em

---

<sup>1</sup> FANGER, P. O. **Thermal Comfort: Analysis and applications in environmental engineering**. 1 ed. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.

repostas fisiológicas dos usuários de um lugar específico (KALZ; PFAFFEROTT, 2014, p. 24). Roaf et al. (2009, p. 132) afirmam que essa abordagem acaba subestimando as temperaturas de conforto, por desconsiderar a capacidade de adaptação dos usuários.

O **modelo adaptativo** surge então, como uma resposta as divergências de temperaturas de conforto analíticas e empíricas. A principal diferença dessa abordagem é que ela considera a aclimatação, a capacidade dos indivíduos em alterar o ambiente e a relação entre as expectativas térmicas dos usuários e a temperatura externa (LAMBERTS et al., 2014, p. 11). Kalz e Pfafferott (2014, p.24) afirmam que a ideia implícita é que as pessoas são capazes de agir em seu ambiente e que quando o desconforto é percebido, ele atua como um gatilho para mudanças nas respostas comportamentais no ambiente térmico.

Os estudos de campo que dão suporte para essa abordagem, segundo Roaf et al. (2009, p. 132) apresentam resultados que demonstram “A forte ligação entre a temperatura de conforto e a temperatura [externa] média medida [...]”. Dessa forma, o uso desse modelo, consiste em uma abordagem simplificada, onde as temperaturas da zona de conforto são funções estritas da temperatura média externa. Considera-se que as demais variáveis de conforto estão incluídas, como parte da adaptação, no intervalo de temperatura calculado (KALZ; PFAFFEROTT, 2014, p. 24).

Os mesmos autores enfatizam que a adoção da avaliação pelo modelo adaptativo ao invés do estacionário aumenta consideravelmente os limites de conforto nos períodos quentes e não gera grandes alterações nos limites de conforto para os períodos frios, dada a incapacidade do corpo humano se aclimatar ao frio. Portanto, optar por essa abordagem e, conseqüentemente, pela construção de edifícios operáveis termicamente, representa além da garantia de conforto, reduções nos níveis de consumo energético da edificação. Ainda sim, muitas leis e normas utilizam o modelo estacionário como critério geral e adotam o modelo adaptativo, em alguns casos específicos, de maneira opcional.

### **3.1.4 NORMAS DE DESEMPENHO TÉRMICO**

Existem inúmeras normas e diretrizes internacionais que tratam sobre o desempenho térmico das edificações, as quais, segundo a ABNT (2013a, p. xi) “[...] são estabelecidas [,sempre,] buscando atender às exigências dos usuários [...]”. Neste trabalho serão abordadas as duas normas nacionais que discorrem sobre o tema para ambientes naturalmente climatizados, a

NBR 15.220: 2005 (Desempenho Térmico de Edificações) e a NBR 15.575: 2013 (Edificações Habitacionais – Desempenho).

Além dessas, achou-se conveniente abordar, também, uma norma internacional para fins de comparação. Após revisões na literatura, elencou-se a norma americana *Standard 55: 2010 (Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy)* como um exemplo representativo dos modelos normativos estrangeiros para ambientes naturalmente climatizados (LAMBERTS et al., 2014; KALZ; PFAFFEROTT, 2014).

#### 3.1.4.1 NBR 15.220: 2005 e NBR 15.575: 2013

Apesar de serem duas normas diferentes, a NBR 15.220: 2005 e a NBR 15.575: 2013 possuem, atualmente, caráter complementar, sendo necessária a avaliação de ambas para determinar o desempenho térmico das **edificações habitacionais** brasileiras climatizadas naturalmente. Vale ressaltar que as edificações habitacionais são os únicos tipos de edificação que possuem critérios de mensuração claros nas normativas nacionais, e que, portanto, não são contempladas diretrizes térmicas para edifícios hospitalares e escolares, por exemplo.

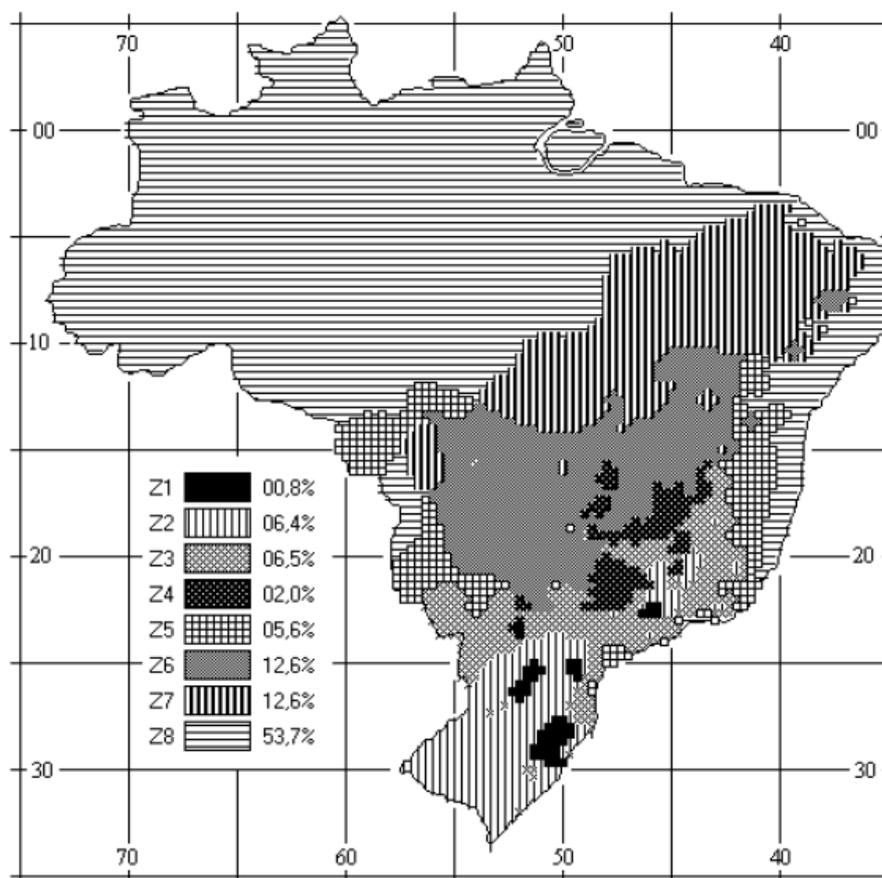
Como não existem normativas de desempenho térmico para esses outros tipos de prédios, os requisitos e critérios a serem adotados em suas análises, geralmente, são obtidos por meio de diretrizes nacionais de órgãos públicos competentes ou pela adoção dos mesmos critérios impostos a edificações habitacionais. Apesar de o uso de diretrizes parecer ser mais coerente, esses documentos não possuem tanta credibilidade como uma norma e muitas vezes são de difícil acesso e/ou não estão atualizados.

A NBR 15.220: 2005 é dividida em cinco partes e foi a primeira norma brasileira a abordar o conforto térmico dos usuários de uma edificação. Em seus textos, a NBR 15.220-1 (ABNT, 2005a, p. iv) apresenta além, de definições e métodos de cálculo e de medição de algumas propriedades de sistemas e elementos construtivos, uma proposta de zoneamento bioclimático para o Brasil e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.

A função do Zoneamento Bioclimático Brasileiro proposto, pela NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c), foi a de considerar a variabilidade de condições climáticas impostas ao território nacional, validando a ideia de que as edificações do Brasil possuem exigências térmicas

diferentes. Baseada em métodos estatísticos e dados de Normais Climatológicas, a norma dividiu, então, o Brasil em 8 zonas relativamente homogêneas quanto ao clima (figura 2).

Figura 2 – Zoneamento bioclimático brasileiro

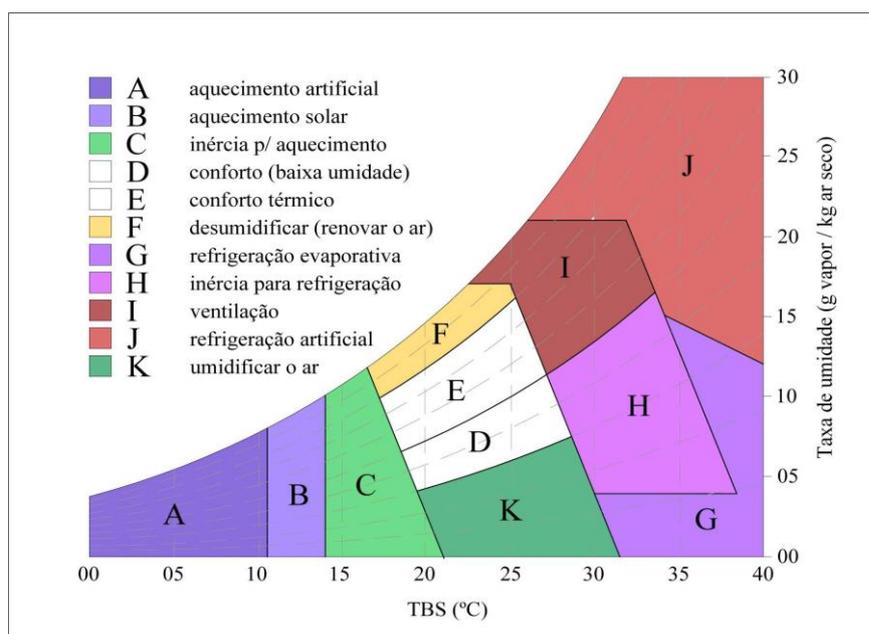


(fonte: ABNT, 2005c, p. 2)

No entanto, a NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c, p. 3) não definiu critérios quantitativos para a avaliação de ambientes internos, ela apenas expôs “Diretrizes construtivas relativas a aberturas, paredes e coberturas para cada zona bioclimática [...]”. Essas diretrizes foram obtidas a partir do uso de um índice biofísico de conforto térmico (FROTA; SCHIFFER, 2001, p. 26), uma carta bioclimática.

Segundo Lamberts et al. (2013, p. 84), uma carta bioclimática pode ser entendida como “[...] um diagrama [...] que propõe estratégias de adaptação da arquitetura ao clima”. A adotada pela NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c) foi a Carta Bioclimática de Givoni adaptada (figura 3), que considera o modelo adaptativo de avaliação do conforto térmico e foi desenvolvida especialmente para países quentes (MUELLER, 2007).

Figura 3 – Carta bioclimática adotada para o Brasil



(fonte: adaptada de GIVONI<sup>2</sup> apud LAMBERTS ET AL., 2013, p. 86)

No diagrama acima, cada cor, exceto a cor branca, que delimita a zona de conforto térmico, representa uma estratégia bioclimática, indicadas na figura 3 e resumidas no quadro 2 (abaixo). A ideia da Carta é que, a partir da combinação de variáveis climáticas, umidade relativa, razão de umidade, temperatura de bulbo seco e de bulbo úmido, para um período específico, pode-se definir as exigências térmicas impostas pelo clima à edificação e prever qual a tecnologia construtiva que satisfaz essas exigências.

Quadro 2 – Descrição das estratégias bioclimáticas

Estratégia Bioclimática	
<b>Aquecimento solar</b>	Utilização de grandes vãos de janela com vidros de transmitância adequada.
<b>Umidificação</b>	Inclusão de recipientes com água nos ambientes para aumentar a umidade relativa do ar (espelhos d'água).
<b>Inércia para refrigeração e aquecimento</b>	Utilização de elementos construtivos com capacidade térmica superior faz com que a amplitude da temperatura interna diminua em relação a exterior. Para aquecimento vão de aberturas maiores e para resfriamento menores.
<b>Ventilação</b>	Utilização de aberturas (bem posicionadas) para substituição do ar interno, mais quente, pelo externo, mais frio.
<b>Resfriamento evaporativo</b>	Utilização de microaspersão de água no ar para aumentar a umidade relativa do ar e diminuir sua temperatura.

<sup>2</sup> GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and building**: Lausanne, v. 18, p. 11-23, July 1992.

<b>Resfriamento e aquecimento artificial</b>	Instalação de ar-condicionado quando as alternativas naturais não são suficientes.
--	--

(fonte: trabalho não publicado<sup>3</sup>)

Essa análise, ainda que extremamente válida, é limitada, pois não apresenta uma forma concisa de validação do método. Visto que, em nenhum momento é proposto um modo de verificação da temperatura interna dos ambientes edificados após a adoção das estratégias sugeridas. De forma a suprimir essa lacuna deixada pela NBR 15.220 (ABNT, 2005a, 2005b, 2005c), entra em vigor, oito anos depois, a NBR 15.575.

Segundo a ABNT (2013a, p. xi) a NBR 15.575: 2013 como norma de desempenho deve traduzir as exigências dos usuários em requisitos qualitativos e critérios quantitativos. A estrutura desta norma é composta por seis partes, das quais, apenas três são mais relevantes para análises de desempenho térmico (1,4 e 5).

Em sua primeira parte, a NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a, p. 21) determina a avaliação do conforto por meio da utilização de dois métodos normativos:

- a) o simplificado: baseado na comparação de valores de transmitância e capacidade térmica das vedações verticais e da transmitância das coberturas, calculados manualmente a partir das recomendações da NBR 15.220 (ABNT, 2005b, p. 3-4), com critérios especificados nas partes 4 e 5 da norma, respectivamente;
- b) e o de simulação: utilizado apenas quando o método simplificado apresenta resposta insatisfatória. É baseado na comparação de temperaturas internas da edificação, obtidas de um modelo de simulação (construído preferencialmente no programa computacional *EnergyPlus*), em dias típicos de verão e de inverno com valores limites de temperatura especificados, ainda, nesta parte da norma.

Contudo, estudos têm demonstrado que ambos os métodos apresentados na NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a) são inconsistentes na avaliação do desempenho das edificações nacionais. Chvatal (2014, p. 133) declarou que “[...] o procedimento simplificado não representa de forma correta os impactos da transmitância e da absorvância da envolvente avaliados pelo método de simulação, podendo levar a uma classificação de desempenho equivocada.”. Além disso, Silva et al. (2014, p. 15), afirmam que muitas variáveis desconsideradas no método de

<sup>3</sup> Trabalho apresentado na disciplina de Conforto Ambiental da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, elaborado por: Metzker, F.; Clarino, G.; Martins, K.; Matos, L.; Andrade, T. [2013].

simulação, como o tipo de céu e a inércia térmica gerada pelo contato direto com o solo, podem ter grande influência nos resultados de desempenho térmico de uma edificação.

A NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a, p. 22) declara que o método de simulação deve considerar a geometria de todo o prédio, a localização geográfica, os dados climáticos, e as propriedades dos materiais de projeto sugeridas nos textos da NBR 15.220-2 (ABNT, 2013b). A norma restringe as análises térmicas a dias típicos para estabelecer a classificação do desempenho térmico das edificações. Segundo a NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a, p. 7) um dia típico pode ser definido como:

[...] um dia real, caracterizado pelas seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar incidente em superfície horizontal para o dia mais quente [ou mais frio] do ano, segundo a média do período dos últimos dez anos.

Por fim, vale citar que as parte 4 e 5 da norma tratam, respectivamente, de requisitos gerais de desempenho para sistemas de vedações verticais internas e externas e para sistemas de coberturas, entre os quais estão os de conforto térmico. Todos os limites especificados pela NBR 15.575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c) são função da zona bioclimática do local em que a estrutura esta inserida.

A pouca abrangência de tipologia edificada e de metodologias das normas brasileiras, que abordam o conforto térmico, remete a necessidade de fazer seus usos de forma cautelosa durante a estimação do desempenho térmico das edificações nacionais. A adoção de uma avaliação paralela, utilizando critérios de normas estrangeiras, representa uma interessante ferramenta, para elevar a credibilidade, na determinação dos níveis de satisfação térmica desses ambientes construídos.

#### 3.1.4.2 ASHRAE *Standard* 55: 2010

O objetivo desta norma é especificar as combinações de fatores ambientais e pessoais que produzem condições térmicas aceitáveis para a maioria dos ocupantes no interior do espaço. A *Standard* 55 (ASHRAE, 2010, p. 4) apresenta dois métodos gerais para o cálculo da zona térmica de conforto de ambientes internos típicos, o gráfico e o computacional, além de um método opcional para ambientes sem climatização mecânica.

Apesar de muito semelhantes, os métodos gerais apresentam uma pequena diferença nas faixas de limite de aplicação, como mostra o quadro 3. Fora isso, ambos utilizam valores de temperatura operativa para determinar as zonas de conforto, que são estimadas através de um modelo estático de avaliação (ASHRAE, 2010, p. 4-5).

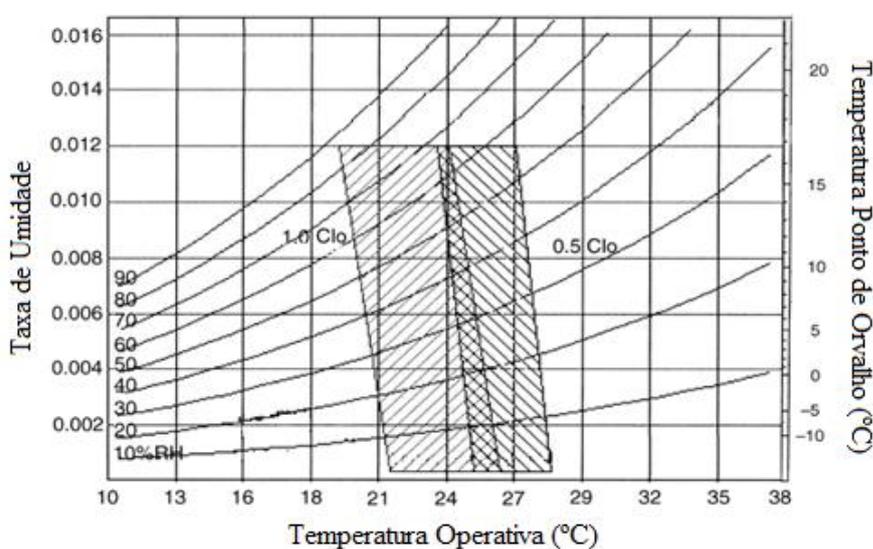
Quadro 3 – Limites dos principais critérios de conforto segundo os métodos gráfico e computacional da *Standard 55*.

Critérios	Método Gráfico	Método Computacional
Resistência térmica do vestuário (clo)	$0,5 \text{ clo} < I_{cl} < 1 \text{ clo}$	$I_{cl} < 1,5 \text{ clo}$
Taxa metabólica (met)	$1 \text{ met} < TM < 1,3 \text{ met}$	$1 \text{ met} < TM < 2 \text{ met}$
Velocidade do ar (m/s)	$v < 0,20 \text{ m/s}$	$v < 0,20 \text{ m/s}$
Taxa de umidade	$< 0,012$	$< 0,012$

(fonte: adaptado de ASHRAE, 2010, p.4-5)

Segundo Kalz e Pfafferott (2014, p. 18) essa temperatura operativa é uma boa aproximação da temperatura real do ambiente, visto que, ao ser calculada como uma média aritmética da temperatura do ar e da temperatura radiante média das superfícies circundantes, considera as cargas emitidas pelas pessoas e pelos equipamentos que estão nos ambientes. A figura 4, abaixo apresenta a faixa aceitável de temperatura e umidade operacional proposta pela *Standard 55* (ASHRAE, 2010, p.5), considerando satisfeitos os critérios estabelecidos no quadro 1.

Figura 4 – Faixa aceitável de temperatura e umidade operacional



(fonte: adaptada de ASHRAE, 2010, p. 5)

A área hachurada da figura delimita a zona de conforto recomendada pela norma, obtida através do cálculo de um PPD de 10% e de um PMV entre - 0,5 e + 0,5. Lamberts et. al (2014, p. 14-15) apresentam as equações, do PPD e do PMV, a serem utilizadas, extraídas dos gráficos da ASHRAE (2010, p. 5) e transcritas abaixo como a fórmula 1 e 2, respectivamente.

$$PMV = (0,0303 \cdot e^{-0,036TM} + 0,028) \cdot L \quad (\text{fórmula 1})$$

Sendo:

PMV = voto médio predito;

TM = taxa metabólica do indivíduo;

L = carga térmica atuante sobre o corpo.

$$PPD = 100 - 95e^{-[0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2]} \quad (\text{fórmula 2})$$

Sendo:

PPD = porcentagem de pessoas insatisfeitas;

PMV = voto médio predito.

Cabe ressaltar, que a *Standard 55* (ASHRAE, 2010, p. 5) adota um sistema de PMV de escala sétima que varia de - 3 a + 3, onde o valor nulo representa o conforto, os valores negativos o desconforto ao frio e os positivos o desconforto ao calor, ou seja, quanto maior o valor, maior o desconforto. Além disso, quando verificadas velocidade de ar superiores a 0,20 m/s a norma permite que elas sejam utilizadas para compensar aumentos de temperatura que não superem em 3,0°C o limite superior de conforto estabelecido.

A *Standard 55* (ASHRAE, 2010) propõe ainda um **método opcional**, que utiliza o modelo adaptativo, para os ambientes naturalmente climatizados em que: os usuários tenham acesso e controle livre sobre aberturas operáveis do ambiente; onde a taxa metabólica dos ocupantes não supere 1,3 met; e onde as temperaturas médias locais não sejam inferiores a 10 °C ou superiores a 35 °C. Kalz e Pfafferot (2014, p. 26) disponibilizam a fórmula 3, extraída do gráfico da *Standard 55*, para o cálculo da temperatura operativa de conforto para 100% dos

ocupantes. Quando, para aceitação de apenas 90% dos usuários a margem de tolerância adotada é de  $\pm 2,5$  °C e para 80% é de  $\pm 3,5$  °C.

$$T_{oc} = 17,8^{\circ}\text{C} + 0,31 \cdot T_{\text{média mensal}} \quad (\text{fórmula 3})$$

Sendo:

$T_{oc}$  = temperatura operativa de conforto;

$T_{\text{média mensal}}$  = temperatura média mensal do ar externo.

### 3.1.5 TECNOLOGIAS DE CONFORTO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES

Uma edificação possui alto desempenho térmico quando cumpre suas funções de conforto interno através do uso integrado de estratégias naturais e artificiais eficientes de aquecimento e resfriamento dos ambientes (LAMBERTS et al., 2013). Tanto edificações novas, quanto edificações existentes podem buscar essa integração através do uso de tecnologias passivas, ativas e proativas, ainda que em escalas e de maneiras diferente.

Segundo Roméro e Reis (2012, p. 24) as **tecnologias passivas**, direcionadas, principalmente, a novas edificações, “[...] são aquelas que se utilizam das condições climáticas do local para atingir os níveis desejados de conforto ambiental e eficiência energética.”. Em prédios existentes, essas considerações também podem ser aplicadas na melhoria do conforto térmico, ainda que de forma mais restrita, já que muitas dessas tecnologias são empregadas ainda em fase de projeto, como é o caso da escolha da orientação solar e da disposição das janelas. A instalação de elementos de sombreamento ou a substituição de materiais com melhor desempenho térmico, por exemplo, são algumas alternativas a serem utilizadas em reformas.

No que tange às **tecnologias ativas**, aquelas que geram consumos energéticos, Roméro e Reis (2012, p. 27) destacam a importância de considerar seu caráter complementar às tecnologias passivas e de primar pela utilização de sistemas e equipamentos de alto desempenho energético. Os investimentos nesse tipo de tecnologia, geralmente são a principal alternativa para edificações construídas e ineficientes termicamente.

Finalmente, vale citar a intensificação do uso de **tecnologias proativas** em edificações nos últimos anos (ROMÉRO; REIS, 2012). Essas tecnologias geram ofertas de energia à

edificação através do aproveitamento de fontes renováveis disponíveis em seu entorno e são boas alternativas ao uso de tecnologias ativas. O uso da energia solar, ao invés da energia elétrica, para aquecimento da água dos chuveiros é um exemplo de utilização desse tipo de tecnologia para oferecer conforto térmico aos usuários.

## 3.2 PROGRAMAS COMPUTACIONAIS PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES

Os programas computacionais representam poderosas ferramentas de controle e avaliação dos ambientes construídos, visto que permitem aos projetistas ter uma visão bastante completa dos fatores externos que incidem sobre a edificação e da forma como a estrutura responde a esses fatores. Neste capítulo serão apresentados alguns programas computacionais, citados pelas bibliografias de referência deste trabalho, que podem ser utilizados quando se deseja garantir e/ou projetar espaços termicamente confortáveis.

### 3.2.1 *Analysis BIO*

Segundo o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, o LabEEE, ([2003], p. 1) esse “[...] [programa computacional] auxilia no processo de adequação de edificações ao clima local.”. Através do uso da carta bioclimática adotada para o Brasil e de dados climáticos do lugar onde a estrutura está ou será inserida, fornecidos pelo usuário, o Programa apresenta uma estimativa da porcentagem de tempo em que a combinação das variáveis do clima gera sensações de conforto e desconforto térmico, considerando intervalos de temperatura que garantem satisfação térmica entre 21 e 28 °C para o verão, e 19 e 29 °C para o inverno.

A partir dessa estimativa e da diferenciação do fator gerador de desconforto, o *Analysis BIO* propõe estratégias bioclimáticas a serem utilizadas para garantir um bom desempenho térmico da edificação. Entre as técnicas sugeridas pelo programa estão: a alta inércia térmica solar, o aquecimento solar passivo, o aquecimento artificial e a umidificação, quando os problemas de conforto forem oriundos do frio; e ventilação, alta inércia para resfriamento, resfriamento evaporativo e uso de ar condicionado, quando a causa de desconforto for o calor.

Essas estratégias são enunciadas de forma a maximizar o aproveitamento das condições naturais do ambiente e reduzir ao mínimo o uso de tecnologias ativas de conforto térmico. A

caracterização bioclimática, através do *Analysis BIO*, apesar de rápida e simples, pode gerar grandes incrementos na melhoria dos níveis térmicos e energéticos da edificação.

### 3.2.2 *Google SketchUp Pro e Legacy OpenStudio SketchUp Plug-in*

O *Google SketchUp Pro* é um software de modelagem 3D que utiliza uma interface gráfica simples e funcional. Através da inclusão de *plug-ins* ao sistema operacional, o Programa amplia suas funções, podendo ter seus dados exportados para programas CAD BIM ou de simulação lumínica e térmica, por exemplo.

O *Legacy OpenStudio SketchUp Plug-in* é uma dessas ferramentas que adiciona funções, ao SketchUp, que permitem uma ligação entre o modelo tridimensional e o programa de simulação EnergyPlus. Segundo o Laboratório Nacional de Energia Renovável do Departamento de Energia dos Estados Unidos (*National Renewable Energy Laboratory for the U.S. Department of Energy*, [2015]) o *plug-in* facilita a inserção de dados de geometria para os arquivos de simulação, que costumavam ser difíceis e demoradas antes de sua criação.

A partir do uso integrado dessas ferramentas computacionais cria-se o modelo 3D a partir da definição de zonas térmicas e de elementos de sombreamento. Cada zona térmica representará, no programa de simulação, um ambiente onde os sistemas de circulação de ar e os níveis de temperatura são uniformes, enquanto os elementos de sombreamento serão interpretados como dispositivos anexados ao edifício que geram impactos significativos na temperatura das zonas térmicas (BOARD OF TRUSTEES OF THE UNIVERSITY OF ILLINOIS; REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA, 2013a).

Concluído o modelo, o *Legacy OpenStudio* gera, automaticamente, um arquivo com linguagem computacional compatível com o EnergyPlus. Esse documento serve como arquivo base para viabilizar as simulações térmicas de uma edificação.

### 3.2.3 *EnergyPlus*

Validado pela *Standard 140*<sup>4</sup> (ASHRAE, 2001, *apud* ABNT, 2013a) e recomendado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, o *EnergyPlus* é um programa computacional

---

<sup>4</sup> AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC. **Standard 140**: Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy. Atlanta, 2001.

renomado de simulação de consumo energético e de comportamento térmico das edificações. Criado a partir dos programas BLAST e DOE-2, o *EnergyPlus* apresenta características de um sistema integrado e modular de simulação (BOARD OF TRUSTEES OF THE UNIVERSITY OF ILLINOIS; REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA, 2013a).

Através de equações matemáticas de equilíbrio térmico, de transferência de calor e de massa, e de parâmetros mínimos fornecidos pelo usuário o Programa estima as variáveis térmicas do ambiente construído, proporcionando uma melhor compreensão de como o edifício responde termicamente aos fatores ambientais e aos sistemas artificiais empregados. Entre os dados necessário para viabilizar o processo de simulação podem ser citados: os climáticos; os de localização; os de geometria, comumente exportados de programas de interface gráfica, como o *Google SketchUp Pro*; os de materiais e composição construtiva; e, até, os que definem a própria simulação, como o período de avaliação e as variáveis de saída, por exemplo.

Além dessas, a possibilidade de inclusão de informações acerca das rotinas de ocupação, das cargas térmicas internas e do tipo de condicionamento de ar, por exemplo, garantem que os resultados obtidos se aproximem mais dos valores reais registrados na edificação. Cabe destacar, aqui, que a qualidade e precisão das informações produzidas pelo *software* esta condicionada a construção de um modelo fidedigno e coerente por parte do projetista.

O *EnergyPlus* permite ainda fazer correto dimensionamento de sistemas artificiais de condicionamento, caso seja necessário. Sua utilização na melhoria do desempenho térmico das edificações tem se mostrado como uma alternativa eficiente e de baixo custo, visto que, além da simulação permitir a construção de inúmeros cenários e alternativas para os sistemas em estudo, todo o trabalho pode ser feito gratuitamente através do uso de um computador.

### 3.3 PROGRAMA PROINFÂNCIA

Há décadas, os déficits de vagas nas escolas públicas brasileiras têm levado a adoção de projetos educacionais com maior enfoque nas necessidades de ampliação da rede a baixos custos do que na oferta de prédios escolares com altos níveis de desempenho (AZEVEDO et al., 2007). Projetos históricos, como os Centros Integrados de Educação Pública, os CIEPs, seguiram essa linha ao replicar edificações de ensino baseadas em modelos em várias

localidades do território nacional, sem levar em consideração os impactos das variáveis locais do sítio de implantação no conforto dos ambientes.

Atualmente, o Proinfância, principal programa nacional de educação infantil, é o que tem feito o uso de projetos padronizados para ampliar a rede de ensino. Neste capítulo, será feita uma breve apresentação do Programa e de seus projetos padrão.

### **3.3.1 O Programa**

Criado no primeiro semestre de 2007, o Programa Nacional de Reestruturação e Aquisição de Equipamentos para a Rede Escolar Pública de Educação Infantil (Proinfância) é um programa governamental voltado para a importância da ambiência escolar no desenvolvimento de crianças de até 5 anos e 11 meses. O FNDE ([2015]a, p. 1) afirma que “Seu principal objetivo é prestar assistência financeira ao Distrito Federal e aos municípios visando garantir o acesso de crianças a creches e escolas de educação infantil da rede pública.”.

Os municípios prioritários a serem beneficiados são definidos a partir de critérios populacionais, educacionais e sociais. Quando preenchidos esses critérios, a garantia de ampliação de acesso à educação proposta pelo Proinfância fica condicionada a existência de terrenos de propriedade da prefeitura com dimensões suficientes para receber os projetos padronizados, de utilização obrigatória.

Conforme o FNDE ([2015]b, p. 1), “Para habilitação na ação de construção de escolas de educação infantil, [somente] poderão ser adotados projetos-padrão, fornecidos pelo FNDE [...]”. Atualmente, estão disponíveis quatro tipologias de estruturas educacionais nomeadas como ‘Tipo B’, ‘Tipo C’, ‘Tipo 1’ e ‘Tipo 2’.

### **3.3.2 Os projetos padrão**

Segundo Godoi (2010, p. [1]) “[...] o projeto padrão se insere como uma edificação escolar com vantagens de racionalização construtiva e de economia [...]”, que, no entanto apresenta condições desfavoráveis principalmente no conforto térmico, devido à falta de “[...] flexibilidade de adaptação às características climáticas e do terreno onde poderá ser construído.”. Os quatro projetos padrão Proinfância representam essas edificações escolares e

diferenciam-se principalmente pela área e pela demanda atendida, conforme detalhado na tabela 1.

Tabela 1 – Projetos Padrão Proinfância: tipos, exigências e características

Tipologia	Dimensões Mínimas do Terreno	Área Construída + Projeção da Cobertura	Área de Localização do Terreno	Demanda Atendida	
				Período Integral	Dois
<b>Tipo B</b>	40 m x 70 m	1323,58 m <sup>2</sup>	urbana	120 alunos	240
<b>Tipo C</b>	45 m x 35 m	781,26 m <sup>2</sup>	urbana/rural	60 alunos	120
<b>Tipo 1</b>	45 m x 35 m	1513,16 m <sup>2</sup>	urbana	188 alunos	376
<b>Tipo 2</b>	40 m x 70 m	859,3 m <sup>2</sup>	urbana/rural	94 alunos	188

(fonte: adaptada de FNDE, 2015b, p. 1)

As tipologia 1 e 2, foram lançadas em 2015. Os projetos do tipo B e C (figura 5) existem desde 2007 e passaram por uma revisão em 2013. Apesar de até o momento não terem sido encontrados, na bibliografia, registros estatísticos sobre as quantidades relativas ao emprego de cada tipologia, a data de criação e as exigências mais acessíveis do tipo C, tendem a indicar uma prevalência da implantação desse projeto padrão nos municípios nacionais.

A partir da leitura dos memoriais, percebe-se que a liberdade de adaptação existente nessas tipologias esta na simples definição da orientação solar, quando as dimensões e disposição do terreno permitirem, e na adoção de alguns materiais e sistemas com maiores desempenhos térmicos para regiões frias, quando previstos no processo de licitação inicial. No entanto, o FNDE (2012c), insiste em destacar em seus textos, de forma contraditória, que os projetos levam em consideração as grandes diversidades existentes no país e que, portanto, devem cumprir naturalmente com suas múltiplas funções, entre as quais estão a garantia de conforto ambiental e de eficiência energética.

Além disso, segundo o FNDE([2012]b), todos os projetos preveem o uso de sistemas construtivos convencionais e elementos construtivos que evitem gastos futuros com manutenção, como rufos, beirais e calhas, por exemplo. A disposição dos espaços é feita por setorização etária e funcional e o programa arquitetônico foi concebido de forma a atender todas as necessidades operacionais cotidianas da creche.

Figura 5 – Vista externa do projeto Proinfância tipo C

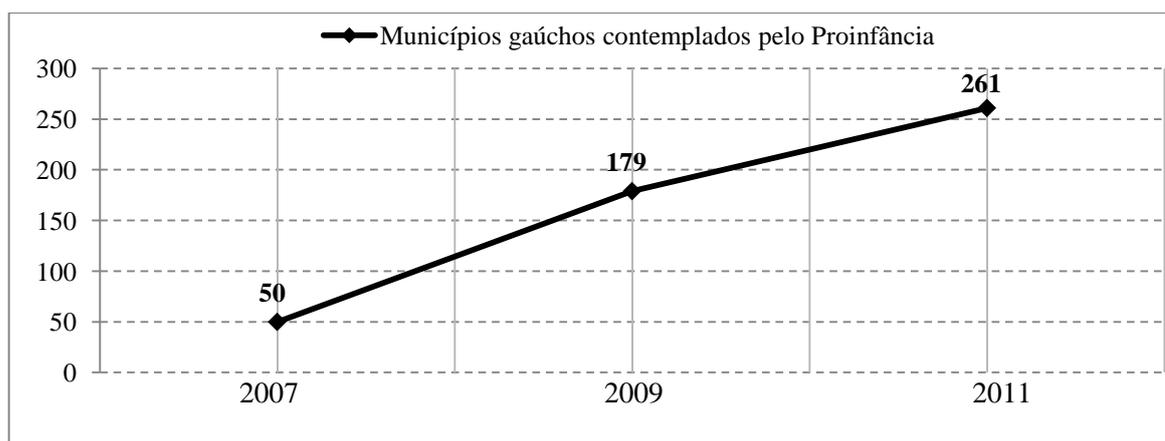


(fonte: FNDE, 2012b)

### 3.3.3 Proinfância no Rio Grande do Sul

O Rio Grande do Sul é um dos estados brasileiros que mais tem se beneficiado com a implementação das creches Proinfância. Só entre os anos de 2007 e 2011, cerca de 53% dos municípios gaúchos já haviam recebido recursos do FNDE para a construção de novas escolas infantis (SCHABBACH; RAMOS, 2013, p. 9). A figura 6 demonstra dados do avanço do Proinfância no Estado.

Figura 6 – Aumento do número de municípios gaúchos contemplados pelo Proinfância entre 2007 e 2011



(fonte: adaptado de FLORES; MELLO, 2012; SCHABBACH; RAMOS, 2013;)

O aumento do número de creches nesse período colaborou para que o Rio Grande do Sul apresentasse, entre 2008 e 2013, uma taxa de acréscimo de vagas na educação infantil (30,81%) superior à taxa nacional (12,12%) (TCE/RS, 2015, p. [4]). No entanto, esse alto

incremento não foi suficiente para resolver o grave problema de déficits de vagas de educação infantil do Estado.

Em recente estudo, o Tribunal de Contas do Estado do Rio Grande do Sul (2015) comparou as taxas de atendimento de educação infantil e a necessidade de criação de vagas, em 2013, das 27 unidades federativas do Brasil e dos 496 municípios gaúchos. Na análise nacional, o Estado ocupou o 13º lugar, sendo o último colocado da região Sul, com uma taxa de atendimento de, apenas, 41,86%. No âmbito estadual a análise dos dados demonstrou que, de maneira geral, as cidades ao sul do Estado concentram piores índices de atendimento de educação infantil do que as da região norte.

Apesar de se esperar que o Proinfância atue mais intensivamente nos municípios que precisam da maior ampliação de vagas ou que ainda não foram beneficiados, estudos de Schabbach e Ramos (2013) destacam que adoção do Programa por parte das Prefeituras não é tão intuitiva e nem está simplesmente condicionada ao cumprimento das exigências do FNDE. As autoras afirmam que existem outros fatores externos, como a posição ideológica do partido do prefeito, que condicionam a implementação das novas creches, tornando complexa a previsão das principais localidades a serem contempladas futuramente.

Ainda sim, independentemente de onde os projetos Proinfância forem implementados haverá uma ampliação de acesso à educação infantil, restando apenas incertezas, sobre a qualidade dos novos ambientes escolares oferecidos.

## 4 METODOLOGIA

A cidade de Camaquã foi escolhida por representar um município gaúcho da região sul do Estado com altos déficits nas taxas de atendimento de educação infantil (74,18%) (TCU/RS, 2015) e por ter recebido 3 creches do Programa Proinfância (uma tipo B e duas tipo C) entre os anos de 2012 e 2015. Além disso, a facilidade de acesso às escolas da cidade e a informações das edificações foi fator determinante para que esta fosse eleita como a área de estudo da pesquisa.

A opção pela análise do projeto tipo C foi baseada na crença de que essa seja a tipologia mais aplicada em território nacional, assim como ocorre na cidade em estudo.

Para a verificação do desempenho térmico do projeto padrão tipo C implantado na cidade de Camaquã, desenvolveu-se uma metodologia dividida em cinco etapas: caracterização bioclimática da área em estudo; caracterização da edificação em estudo; definição dos requisitos e critérios de avaliação do conforto térmico; avaliação do desempenho térmico; estimativa do aumento no consumo energético. Todas essas etapas serão descritas e detalhadas nos itens abaixo.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO BIOCLIMÁTICA DA ÁREA EM ESTUDO

A caracterização bioclimática foi feita por meio do programa *Analysis Bio* e do arquivo climático da cidade de Camaquã, elaborado por Roriz (2012a). A avaliação bioclimática foi realizada em 12 etapas, uma para cada mês, e objetivou tanto a análise das possibilidades de obtenção de conforto térmico em cada período, segundo o item 3.2.1, quanto a avaliação dos possíveis incrementos nos níveis de conforto da Escola, caso tivesse sido adotado um projeto bioclimático no lugar do projeto padrão.

### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO EM ESTUDO

A Escola Municipal de Ensino Infantil Nossa Senhora Aparecida localiza-se no Estado do Rio Grande do Sul, na região Sul, no município de Camaquã, na Rua Amaro Lopes, nº 362, em

zona urbana, na latitude 30° 48' sul e na longitude 51° 49 oeste. O prédio escolar representa a materialização do projeto padrão Proinfância tipo C (2012) convencional, sem adaptações para regiões frias.

Neste item, serão abordadas as características relevantes para avaliação do desempenho térmico desta edificação: sítio de implantação; geometria e forma; elementos e materiais construtivos; orientação solar; e perfil de ocupação.

#### 4.2.1 Sítio de Implantação

O terreno em que foi implantada a Escola tem área de 2752,57 m<sup>2</sup> - 33,65 m de largura e 81,8 m de comprimento (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMAQUÃ, [2012]). O local é cercado por habitações térreas e por áreas arborizadas, apresentando geomorfologia bastante uniforme e densidade urbana reduzida (figura 7). A planta de implantação da edificação pode ser encontrada no anexo A.

Figura 7 – Vista superior do sítio de implantação



(fonte: adaptada de GOOGLE EARTH, 2011)

No entorno imediato da Escola não foram identificados elementos capazes de alterar os níveis naturais de radiação solar e de circulação de ar disponíveis à edificação. O revestimento do solo tem características naturais, sendo composto, basicamente, por areia e vegetação.

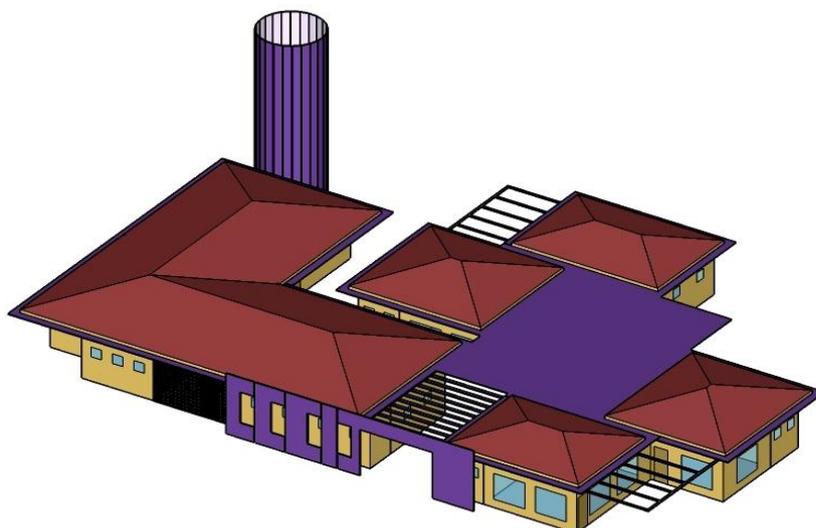
O microclima mantém características do clima subtropical predominante na região, o qual se caracteriza por manter temperaturas médias abaixo dos 20 °C e chuvas fartas e bem

distribuídas (LAMBERTS et al., 2013, p. 82). Segundo a ABNT (2005c), a região faz parte da zona bioclimática 2.

#### 4.2.2 Geometria e Forma Arquitetônica

A Escola tem quatro blocos térreos (um administrativo, dois pedagógicos e um de serviço) um pátio e um refeitório cobertos e um playground e um anfiteatro descobertos. Essas estruturas independentes estão dispostas de forma compacta e são articuladas por meio de circulações cobertas (figura 8).

Figura 8 – Esquema da disposição dos espaços da edificação



(fonte: elaborada pela autora)

Quanto ao tamanho, o bloco de serviços tem maiores dimensões, seguido pelos dois blocos pedagógicos e pelo bloco administrativo, respectivamente. Todos esses elementos possuem uma geometria regular e são compostos, basicamente, por salas quadradas e retangulares. A planta baixa (anexo B) apresenta de forma detalhada essas características.

O pátio retangular tem 87,86 m<sup>2</sup> e representa uma espécie de núcleo do conjunto arquitetônico. O refeitório tem área de aproximadamente 28,00 m<sup>2</sup> e localiza-se entre o bloco de serviços e o administrativo. O playground e o anfiteatro são áreas externas complementares que promovem a integração do prédio com o meio externo.

### 4.2.3 Elementos e Materiais Construtivos

A estrutura escolar foi executada por meio de sistemas construtivos convencionais e materiais padronizados. Ela é composta, basicamente, por pisos, vedações verticais, aberturas, coberturas e elementos de sombreamento. Além desses sistemas foi verificado, ainda, a presença de peças como beirais, calhas e pingadeiras que, segundo o FNDE (2012c, p. 10), tem “o objetivo de evitar custos futuros com manutenção, protegendo as paredes contra infiltrações e reduzindo a área de repintura anual.”.

Os **pisos** da edificação podem ser subdivididos, de acordo com os materiais empregados, em internos e externos. Os pisos internos são constituídos pela sobreposição de camadas de concreto armado, contrapiso e granitina. Os pisos externos, por sua vez, apresentam uma diversidade maior de materiais, no anfiteatro foram utilizados blocos de concreto intertravado, no playground forração em areia filtrada e nas áreas de acesso concreto desempenado.

A maioria das **vedações verticais** opacas são compostas por blocos cerâmicos (19x19x10 cm) 8 furos revestidos por reboco de argamassa pintado em cor branca, externamente, e em cor amarela, internamente. As faces externas apresentam, ainda, detalhes em cerâmica próximos ao piso e no entorno das aberturas que compõem essas estruturas.

Os **caixilhos das janelas** são de ferro revestido por tinta esmaltada azul. As **portas** principais são de madeira revestida por tinta esmaltada branca. Os **vidros** utilizados têm 6 mm de espessura e são do tipo liso incolor. O mapa das esquadrias pode ser encontrado no anexo D.

A **cobertura** com platibanda (paredes em concreto nos limites externos das calhas) foi executada com telhas de barro tipo capa/canal e com inclinação de 30%. Além disso, lajes pré-moldadas de 12 cm, com vigotas de concreto armado, tabelas cerâmicas e capeamento em concreto de 4 cm, foram incluídas entre a cobertura e os ambientes internos.

Por fim, os beirais, pergolados, cobogós e uma estrutura vertical, implantada na fachada principal, representam os **elementos de sombreamento** instalados na edificação (figuras 9 e 10). Todos esses componentes, salvo o último, executado com blocos cerâmicos revestidos por cerâmica, são de concreto.

Figura 9 – Elementos de sombreamento: cobogós e estrutura vertical



(fonte: foto da autora)

Figura 10 – Elementos de sombreamento: pergolado e beirais

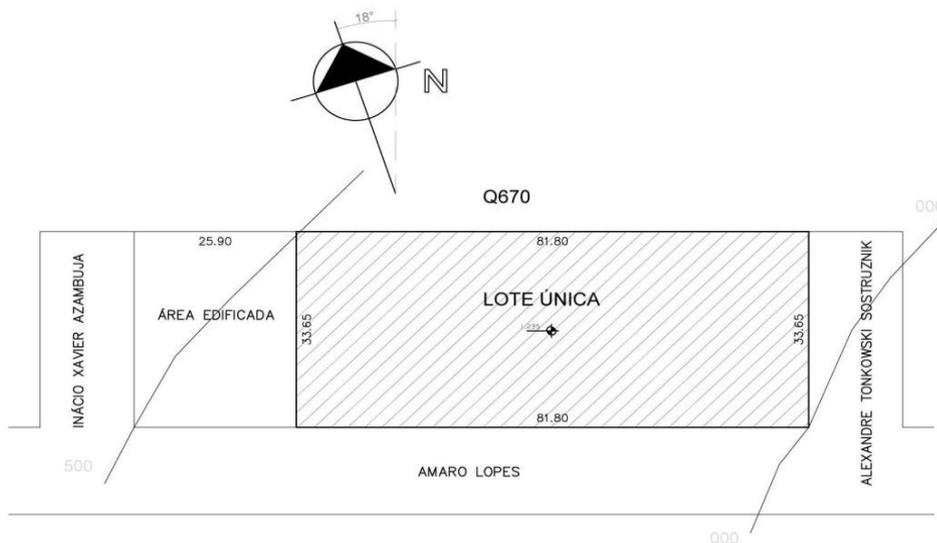


(fonte: foto da autora)

#### 4.2.4 Orientação Solar

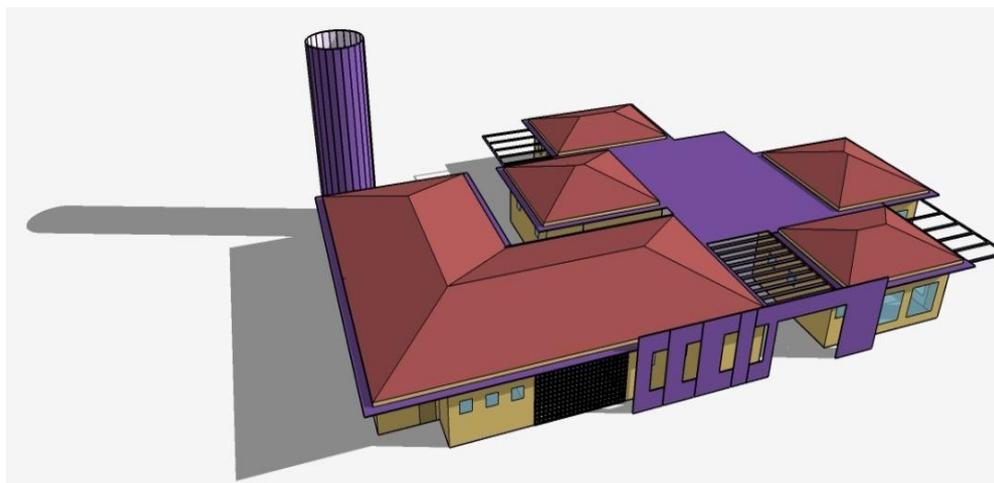
Segundo a planta de implantação, encontrada no anexo A, o projeto foi executado com uma inclinação de aproximadamente  $18^\circ$  para oeste (figura 11). Além disso, a incidência solar não é uniforme para toda edificação, uma vez que os blocos estão dispostos em posições diferenciadas no terreno (figura 12).

Figura 11 – Orientação solar da edificação.



(fonte: adaptada de PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMAQUÃ, [2012])

Figura 12 – Incidência dos raios solares no dia 20 de janeiro às 8hrs da manhã



(fonte:elaborada pela autora)

Os blocos pedagógicos (a direita da figura 12) possuem grandes áreas de aberturas e são os mais privilegiados quanto à orientação solar, de modo que, boa parte de suas fachadas estão voltadas para o nordeste e o noroeste. Essa orientação solar das aberturas maximiza os benefícios da radiação durante o inverno, devido ao menor ângulo do Sol com a superfície nessa estação, sem gerar prejuízos térmicos durante o verão. O bloco pedagógico da creche III e da pré-escola (anexo B) é atingido, predominantemente, pelos raios solares do período da manhã; enquanto o prédio da creche I e II é atingido durante os dois turnos diurnos.

O bloco de serviços (a esquerda da figura 12) possui sua maior dimensão e fachada principal voltada para o sudoeste. Devido a essa característica, esse bloco acaba recebendo maiores níveis de radiação durante a tarde, quando o prédio já possui temperaturas internas mais elevadas, tornando-se o bloco mais prejudicado termicamente pela radiação solar no verão. Esse espaço não apresenta grandes áreas de aberturas e sua área de exposição solar a nordeste é reduzida devido à existência de elementos de sombreamento.

A parcela do bloco administrativo que recebe radiação direta está voltada, essencialmente, para o sudeste, recebendo baixíssimos níveis de radiação solar durante o ano inteiro. Dessa forma, as salas administrativas tendem a ser mais frias e úmidas pela ausência do sol no inverno, mas também serão naturalmente mais frescas e agradáveis no verão.

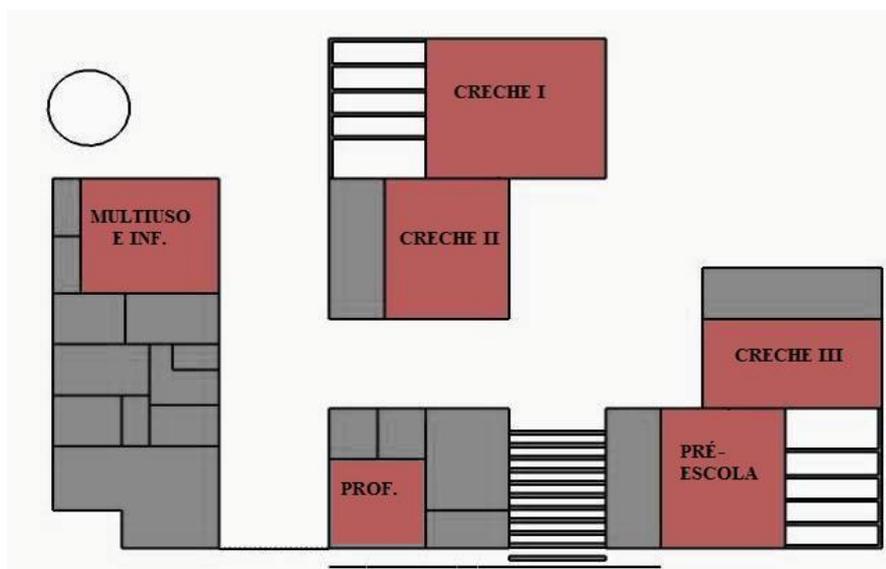
#### 4.2.5 Perfil de Ocupação

A Escola funciona de fevereiro a dezembro, de segunda a sexta-feira, exceto em feriados, em dois turnos: manhã, das 07 horas e 30 minutos às 11 horas e 30 minutos; e tarde, das 13 horas e 30 minutos às 17 horas e 30 minutos (informação verbal)<sup>5</sup>. Sua ocupação é feita, majoritariamente, por crianças na faixa etária de 0 a 5 anos e 11 meses e por um grupo de mulheres com idades entre 20 e 50 anos.

Os usuários, de forma geral, utilizam vestuário adequado à estação e realizam atividades com taxas metabólicas mais altas nos ambientes externos, mantendo níveis médios e baixos de metabolismo nos ambientes internos. As principais atividades executadas internamente exigem que as crianças permaneçam sentadas e as mulheres de pé.

O projeto padrão contém quatro salas com setorização por faixa etária destinadas a atividades pedagógicas contínuas (pré-escola, creche I, II e III), e uma sala multiuso informática destinada a atividades de apoio, incluindo leitura, acesso à tecnologia, etc. (figura 13). No entanto, na Escola em estudo houve um rearranjo de alguns ambientes devido à grande demanda de alunos da região.

Figura 13 – Salas pedagógicas de permanência prolongada



(fonte:elaborada pela autora)

<sup>5</sup> Informação obtida em visita a EMEI Nossa Senhora Aparecida, ocorrida no dia 02/04/2015, em Camaquã/RS, proferida pela, diretora da escola, Sr.<sup>a</sup> Maria Elizabeth Mendes Danelon.

A sala multiuso e informática esta sendo usada como a pré-escola, a sala pré-escola passou a abrigar uma turma extra de creche III e a sala dos professores assumiu algumas funções que na origem seriam, de certa forma, da sala multiuso e informática, tornando-se uma biblioteca (anexo B). Cabe ressaltar, que essas salas são mais ocupadas durante à tarde do que durante à manhã devido a diferenças de assiduidade das turmas (informação verbal)<sup>6</sup>. O quadro 3, apresenta um detalhamento da ocupação das principais salas da edificação durante os dois turnos.

Sobre as cargas de iluminação e de equipamentos, detalhadas no quadro 4, foram verificadas, apenas, a existência de lâmpadas e de um ventilador de parede na grande maioria das salas de uso integral. Foi identificado, ainda, a existência de um aparelho condicionador de ar na creche I, até então nunca utilizado (informação verbal)<sup>7</sup>, e de uma televisão na sala dos professores.

Quadro 4 – Perfil de ocupação das principais salas de permanência prolongada

Sala	Número de Ocupantes		Cargas térmicas [W]	
	Crianças	Professoras	Equipamentos Elétricos	Iluminação
<b>Multiuso e Informática</b>	15	1	147	320
<b>Professores</b>	12	1	225	160
<b>Pré-escola</b>	14	1	147	320
<b>Creche III</b>	8	1	147	160
<b>Creche II</b>	12	1	147	320
<b>Creche I</b>	9	3	147	400

(fonte: elaborado pela autora)

### 4.3 DEFINIÇÃO DOS REQUISITOS E CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO

Para determinação do desempenho térmico da edificação, foi necessário estabelecer quesitos e critérios que viabilizassem essa análise. Foi verificada na bibliografia nacional, a existência de um caderno de diretrizes técnicas de desempenho direcionadas especialmente para

<sup>6</sup> Informação obtida em visita a EMEI Nossa Senhora Aparecida, ocorrida no dia 02/04/2015, em Camaquã/RS, proferida pela, diretora da escola, Sr.<sup>a</sup> Maria Elizabeth Mendes Danelon.

<sup>7</sup> Idem.

estabelecimentos brasileiros de ensino público – Diretrizes Técnicas para Apresentação de Projetos e Construção de Estabelecimentos de Ensino Público (FNDE, 2012a).

No entanto, os requisitos e critérios estabelecidos neste documento foram baseados em uma versão antiga da NBR 15.575 e são limitados quanto à classificação dos níveis de desempenho, indicando apenas os níveis mínimos a serem cumpridos. Dessa forma, os valores propostos pela NBR 15.575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c) se mostraram mais adequados para a avaliação do desempenho térmico deste trabalho.

Além disso, com intuito de enriquecer essa pesquisa e dar maior credibilidade aos resultados, foram utilizados, também, os requisitos e critérios de uma norma internacional, a *Standard 55* (ASHRAE, 2010).

#### **4.3.1 NBR 15.575: 2013**

Como abordado no item 3.1.4.1 da revisão bibliográfica, a NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a, p. 21) propõe dois métodos normativos com parâmetros diferentes, para a avaliação do desempenho térmico das edificações. Ambos impõem seus limites baseados na classificação bioclimática da edificação.

Os critérios utilizados no método simplificado estão apresentados no quadro 5. Os requisitos do método de simulação estão expostos no quadro 6, já os critérios, temperaturas máximas e mínimas dos dias típicos, foram estimados através dos dados climáticos de Camaquã (RORIZ, 2012a), durante o processo de simulação.

Cabe lembrar, que a NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a, p 21) declara que apenas nos casos em que qualquer um dos parâmetros do método simplificado não seja atendido, a verificação do atendimento ou não do desempenho térmico da edificação como um todo deve ser realizada por simulação computacional. No entanto, achou-se conveniente, para as análises deste trabalho, adotar, também, o método de simulação, independentemente dos resultados obtidos pelo método simplificado.

Quadro 5 – Método simplificado NBR 15.575-1: critérios de avaliação para o sistema de coberturas e paredes externas.

Nível de desempenho		Critério
		Zona 2
<b>Mínimo</b>	Paredes externas	$U \leq 2,5$ e $CT \geq 130$
	Sistemas de cobertura	$U \leq 2,3$
<b>Intermediário</b>	Sistemas de cobertura	$U \leq 1,5$
<b>Superior</b>	Sistemas de cobertura	$U \leq 1,0$
Onde: U é a transmitância térmica, em $W/m^2.K$ ; e CT é a capacidade térmica, em $kJ/m^2.K$ .		

(fonte: adaptado de ABNT, 2013b, p. 27 e 2013c, p. 52)

Quadro 6 – Método de simulação NBR 15.575-1: requisitos de avaliação de desempenho térmico para condições de verão e de inverno.

Nível de desempenho	Critério	
	Dia típico de verão	Dia típico de inverno
<b>Mínimo</b>	$T_{i,máx} \leq T_{e,máx}$	$T_{i,mín} \leq (T_{e,mín} + 3^{\circ}C)$
<b>Intermediário</b>	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} - 2^{\circ}C)$	$T_{i,mín} \leq (T_{e,mín} + 5^{\circ}C)$
<b>Superior</b>	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} - 4^{\circ}C)$	$T_{i,mín} \leq (T_{e,mín} + 7^{\circ}C)$
Onde: $T_{i,máx}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,máx}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius; $T_{i,mín}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,mín}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.		

(fonte: adaptado de ABNT, 2013a, p.66-67)

### 4.3.2 ASHRAE *Standard 55: 2010*

Considerando que a Escola é um ambiente naturalmente condicionado, achou-se melhor opção adotar o método opcional, que utiliza o modelo adaptativo, proposto pela *Standard 55* (ASHRAE, 2010, p. 11). Como indicado no item 3.1.4.1 deste trabalho, o parâmetro de avaliação utilizado por este modelo é temperatura operativa.

As temperaturas operativas de conforto para o ano todo, bem como seus limites superior e inferior para que 80 ou 90% dos usuários estejam satisfeitos com o ambiente térmico da edificação, foram determinadas durante o processo de simulação, através do arquivo climático de Camaquã e da fórmula 3 (p. 35).

Com base nos textos da *Standard 55* (ASHARE, 2010), optou-se por adotar uma nomenclatura em que o desempenho é dito mínimo, quando a temperatura operativa está dentro do intervalo de 80% de aceitabilidade, e superior, quando contido no intervalo de 90% (quadro 7). Essa determinação foi feita com o intuito de facilitar as comparações com a norma nacional.

Quadro 7 – Método opcional para ambientes naturalmente ventilados *Standard 55*: critério de avaliação de desempenho térmico para condições anuais.

Nível de desempenho	Critério
<b>Superior</b>	$(T_{oc} - 2,5^{\circ}\text{C}) \leq T_{oi} \leq (T_{oc} + 2,5^{\circ}\text{C})$
<b>Mínimo</b>	$(T_{oc} - 3,5^{\circ}\text{C}) \leq T_{oi} \leq (T_{oc} + 3,5^{\circ}\text{C})$
Onde: Toc é o valor de temperatura operativa de conforto mensal, em graus Celsius; Toi é o valor de temperatura operativa interna horária, em graus Celsius.	

(fonte: elaborado pela autora)

#### 4.4 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO

Para avaliação do desempenho térmico pelos requisitos da NBR 15.575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013 c), foram adotadas as duas metodologias normativas indicadas, a simplificada e a de simulação computacional. Já para a avaliação pelos parâmetros da *Standard 55* (ASHRAE, 2010), achou-se lógico e conveniente adotar a metodologia de simulação, dada a complexidade de estimar o controle das aberturas pelos usuários e as implicações disso na temperatura operativa dos ambientes.

Além disso, a partir dos dados de ocupação da edificação, foi decidido avaliar apenas as salas destinadas à atividades pedagógicas (multiuso e informática, professores, pré-escola, creche I, II e III), pois esses são os recintos de permanência prolongada da edificação e, portanto, os que precisam garantir maiores níveis de desempenho térmico.

##### 4.4.1 Método Simplificado

Como a NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c) apresenta os valores dos critérios de desempenho a serem calculados para as vedações verticais utilizadas nesta edificação, estes dados foram considerados válidos e adotados no processo de avaliação.

No caso do sistema de coberturas com telhas cerâmicas e laje pré-moldada, os critérios foram encontrados por meio de cálculos manuais baseados, também, nas orientações da NBR 15.220-2 (ABNT, 2005b). Foram adotados valores de propriedades térmicas e físicas de alguns materiais e elementos construtivos indicados pela mesma norma, devido à inexistência de valores de medições baseadas em ensaios normalizados dos materiais utilizados.

#### **4.4.2 Método de Simulação**

A partir dos dados da edificação, foram definidas as características do modelo base para a simulação, almejando a maior aproximação possível na representação da edificação real. Deste modo, embora apenas seis salas tenham sido avaliadas, todas as áreas da edificação foram modeladas com o intuito de obter a maior aproximação possível das condições térmicas em análise.

As simulações para o estudo do desempenho térmico foram realizadas a partir do programa *EnergyPlus*, versão 8.1 de 2013, apoiado pela interface gráfica do programa *Google SketchUp Pro*, versão 15.0 de 2015, e pelo *Legacy OpenStudio SketchUp Plug-in*, versão 1.0 de 2011, responsável por promover a ligação entre esta interface e o simulador.

O modelo tridimensional e as zonas térmicas, definidas na interface gráfica, foram as variáveis iniciais que geraram o arquivo base de simulação, no qual foram definidos os demais aspectos pertinentes para simulação. Todos esses dados, bem como o processo de construção do arquivo de simulação deste trabalho, estão descritos nos itens abaixo.

##### **4.4.2.1 Modelo tridimensional e zonas térmicas**

O modelo tridimensional foi construído em quatro etapas: definição das zonas térmicas principais; inserção das aberturas; definição das zonas de cobertura e inserção dos elementos de sombreamento. Todas essas fases foram baseadas nas informações do item 4.1 deste trabalho e nos projetos apresentados nos anexos A, B, C e D.

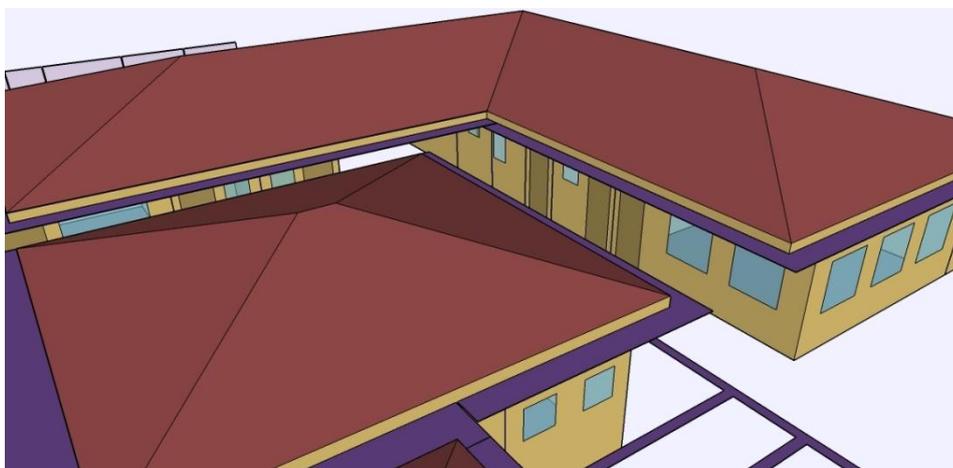
Inicialmente, foram definidas 24 zonas térmicas, para os 26 ambientes internos existentes no prédio, todas desenhadas a partir das linhas médias de suas paredes, respeitando o pé direito de 3m da edificação. As únicas áreas que não foram setorizadas conforme o projeto padrão

foram a de repouso e de banho da creche I (anexo B). Isto se deve ao fato de esses ambientes possuírem comportamento térmico único por não serem completamente compartimentados.

Na segunda fase, foram inseridas todas as aberturas opacas e transparentes no modelo. Nesta etapa, no entanto, elas ainda foram representadas apenas como áreas inteiras de janelas e de portas, não sendo feita nenhuma especificação sobre materiais, caixilhos e modelos adotados. Estas especificações foram lançadas no modelo posteriormente.

A terceira etapa, de definição das zonas de cobertura, foi necessária por dois motivos: para possibilitar a inserção de uma altura de 30 cm, existente, entre a laje e a estrutura do telhado; e para representar o telhado conjugado do bloco administrativo e do bloco de serviços. Foi conveniente, ainda que com aproximações, considerar essas duas características (figura 14), visto que ambas podem ter impacto direto no desempenho térmico da edificação. A primeira por representar uma camada de isolamento térmico, e a segunda por possuir maior área de exposição direta ao sol.

Figura 14 – Vista do detalhe da modelagem da cobertura como zona térmica



(fonte: elaborada pela autora)

Devido a limitações do programa, uma estrutura de telhado aparente, que articula as circulações entre os dois blocos pedagógicos e o administrativo, teve de ser considerada apenas como um elemento de sombreamento. A estrutura do castelo d'água (Anexo B), também, foi declarada no modelo como um elemento de projeção de sombra, dada sua grande dimensão e proximidade com os blocos. As demais peças de sombreamento foram inseridas, segundo às posições e dimensões detalhadas no projeto.

#### 4.4.2.2 Dados climáticos

A NBR 15.575-1 (ABNT, 2015a) não apresenta os dados climáticos correspondentes aos dias típicos de verão e inverno para a cidade de Camaquã. A norma, nesse caso, recomenda ou a utilização de dados climáticos de cidades com características climáticas semelhantes ou de arquivos climáticos locais gerados por universidades ou instituições de ensino.

Dessa forma, foi utilizado o arquivo climático de Camaquã (RORIZ, 2012a), disponibilizado pela Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, tanto para determinar os dias de temperaturas extremas, considerados como os dias típicos neste trabalho, quanto para realizar as simulações anuais preconizadas pela *Standard 55* (ASHRAE, 2010). Tal escolha visou à obtenção de dados mais próximos da realidade.

Esse arquivo climático é resultado de medições do Instituto Nacional de Meteorologia, de procedimentos de controle de qualidade e de alguns cálculos de conversão de dados climáticos, utilizados para estimar variáveis sem medição (RORIZ, 2012c). Para cidade em estudo, esse foi o único arquivo encontrado na bibliografia.

#### 4.4.2.3 Localização e período de simulação

Neste item, foram declarados os dados da localidade, bem como foi selecionado o arquivo climático RS\_Camaquã.epw (RORIZ, 2012a), inserido na etapa anterior. O período de simulação adotado para todas as simulações foi o anual, de onde foram extraídos todos os dados anuais ou apenas os dados dos dias típicos.

Cabe explicar aqui que o período anual de simulação foi mantido para avaliação dos dias típicos, pois se entendeu que considerar o impacto das temperaturas dos dias anteriores na avaliação geraria resultados mais próximos da realidade.

#### 4.4.2.4 Temperatura do solo

Considerando que toda a edificação é térrea, optou-se por considerar, ainda que de maneira simplificada, as trocas térmicas por condução entre o piso e o solo. Dessa forma, nesta etapa foram inseridos no modelo os dados de temperatura do solo a uma profundidade de 0,5 m, para os doze meses do ano típico. Esses dados foram extraídos do arquivo climático,

RS\_Camaquã.stat (RORIZ, 2012b), e a profundidade escolhida baseou-se em indicação didática (informação verbal)<sup>8</sup>.

#### 4.4.2.5 Dados construtivos

Para a caracterização construtiva do modelo, inicialmente, foram declarados todos os materiais utilizados na construção, bem como suas propriedades térmicas e físicas. Como não foram encontrados registros sobre a marca e os fabricantes dos materiais utilizados, foram adotados, essencialmente, valores de propriedades disponibilizados na NBR 15.220-2 (ABNT, 2005b) e na biblioteca do *EnergyPlus* (UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY, 2013). Os valores adotados estão expostos na tabela 2, abaixo. Além desses, foram considerados, ainda, valores de absorvância e emissividade baseados nas cores aparentes dos materiais.

Tabela 2 – Propriedades dos materiais adotadas no modelo

Material	Propriedades térmicas e físicas		
	Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]	Condutividade térmica [W/m.K]	Calor específico [kJ/kg.K]
<b>Composição de solo</b>	1361	0,87	0,837
<b>Concreto</b>	2200	1,75	1,000
<b>Bloco cerâmico</b>	1103	0,90	0,920
<b>Tabela cerâmica</b>	2252	0,90	0,920
<b>Telha de barro</b>	2000	1,05	0,920
<b>Argamassa de reboco</b>	2000	1,15	1,000
<b>Granitina</b>	2400	1,75	1,000
<b>Madeira compensada</b>	450	0,12	2,300

(fonte: adaptada de ABNT, 2005; ENERGYPLUS, 2013)

No caso específico dos blocos e tabelas cerâmicas, os valores foram retirados do trabalho de Ordenes et al. (2003), em que, por meio de cálculos baseados nas orientações da NBR 15.220 (ABNT, 2005b), os autores adequaram essas propriedades de modo a tornar mais precisa a consideração das camadas de ar internas, existentes nesses componentes, no processo de simulação.

<sup>8</sup> Informação obtida na disciplina Análise de Energia em Edificações, assistida no segundo semestre de 2015, no prédio da Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em Porto Alegre/RS, proferida pelo professor Sr. Paulo Otto Beyer.

Em seguida, a partir do banco de dados de materiais, foram criadas composições simplificadas de cada elemento construtivo da edificação. Cabe ressaltar aqui, a composição do piso, das vedações verticais opacas e da laje de cobertura utilizadas neste trabalho.

Como as medidas de temperatura do solo foram extraídas a uma profundidade de 0,5 m, foi necessária a inserção de uma camada de solo de 38 cm na composição do piso, que, somada a outras camadas (2 cm de granitina e 10 cm de concreto e contrapiso) é capaz de proporcionar à simulação maior capacidade de estimar a temperatura real da superfície do piso.

Nas vedações verticais, a utilização de blocos cerâmicos foi declarada ao programa com a inclusão de uma camada de ar de fluxo horizontal, com resistência térmica de  $0,16 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$  (ABNT, 2005b) entre espessuras equivalentes de material cerâmico, sugeridas por Ordenes et al. (2003). Foram consideradas, ainda, as camadas externas de 2,5 cm de argamassa de revestimento pintada.

Além das telhas cerâmicas a laje pré-moldada da cobertura, com tabelas cerâmicas e capeamento em concreto, foi modelada de forma semelhante às vedações verticais. Foi considerada uma camada de 4,0 cm de concreto, duas camadas de espessura equivalente de cerâmica, também sugeridas por Ordenes et al. (2003), entre as quais foi posta uma camada de ar de fluxo descendente, simulando os septos das tabelas, com resistência térmica de  $0,18 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$  (ABNT, 2005b), e por fim uma camada de acabamento de reboco pintado.

Por fim, foram inseridos no modelo os detalhes relativos aos caixilhos da edificação. Devido à falta de informações de projeto, para esses elementos foi adotado um valor de transmitância térmica de  $5,9 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$  baseado nos estudos de Mendes (2011, p. 78). Para as demais propriedades térmicas destes materiais, utilizaram-se os valores da NBR 15.220-2 (ABNT, 2005b).

#### 4.4.2.6 Cargas térmicas

Foram declaradas as cargas referentes a pessoas, equipamentos e iluminação para as salas em análise, item 4.1.5. Com base em orientações da *Standard 55* (ASHRAE, 2010), a fração radiante considerada foi de: 0,5 para pessoas; 0,37 para iluminação; 0,3 para equipamentos elétricos, visto que, em geral, só são representados por um ventilador.

Cabe ressaltar que, ao contrário da *Standard 55* (ASHRAE, 2010), a NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a) não considera as cargas térmicas de ocupação na determinação da temperatura do ar interna. Com intuito de avaliar se essa desconsideração é significativa nos resultados, foi proposta uma simulação onde tais valores foram considerados.

#### 4.4.2.7 Esquemas de densidades de ocupação e uso

No programa *EnergyPlus* todas as variações de ocupação, uso ou situação de funcionamento são controladas por uma *schedule*. As *schedules* representam os “cronogramas” dos ambientes. Para esse estudo foram criadas três *schedules* base, uma para iluminação, uma para equipamentos e uma para ocupação. A de ocupação, por exemplo, declara ao programa que existe uma variação de assiduidade dos alunos da tarde com os da manhã, além do período de funcionamento da escola.

#### 4.4.2.8 Infiltração e ventilação natural

A infiltração por meio de frestas, existente em todas as edificações, foi considerada no modelo de simulação. Foram adotados valores de 1 ren/h para as simulações em geral.

A ventilação natural, utilizada apenas no método opcional de avaliação de ambientes naturalmente condicionados, foi inserida por meio do módulo *AirflowNetwork Simulation*, do *EnergyPlus*, que controla a ventilação através das aberturas de cada zona térmica. Neste módulo, foi necessária, portanto, a definição dos tipos e do funcionamento de janelas, portas e o modo de controle das aberturas.

Foram definidos os detalhes de operação de cada tipo de esquadria das salas em estudo. O modelo de controle adotado foi o *ASHRAE55Adaptive*, fornecido pelo próprio *EnergyPlus* (2013). Nesse modelo, todas as portas e janelas operáveis da zona são abertas se a temperatura operativa é maior do que a temperatura de conforto, calculada a partir do método opcional para ambientes naturalmente ventilados da *Standard 55* (ASHRAE, 2010).

## 4.5 ESTIMAÇÃO DO AUMENTO NO CONSUMO ENERGÉTICO

A estimativa do aumento no consumo energético para elevar os níveis insuficientes de conforto térmico, segundo a avaliação pela *Standard 55* (ASHRAE, 2010), foi feita por meio de simulações computacionais no programa *EnergyPlus*, versão 8.1 de 2013.

Inicialmente foi necessária uma avaliação do local e dos tipos de condicionadores de ar disponíveis no mercado visando definir o tipo de equipamento a ser empregado no estudo. Os tipos janela e *split* foram eleitos como os mais adequados, pois são indicados para ambientes termicamente independentes e de pequenas proporções.

Uma vez que o ar-condicionado tipo janela necessita que a estrutura seja danificada para sua instalação e, além disso, gera muitos ruídos, foi empregado nas simulações o sistema *packaged terminal heat pump* (PTHP), mais semelhante ao de um *split* (informação verbal<sup>9</sup>). Para cada sala em análise foi definido um condicionador de ar controlado por *schedules* de temperatura.

Para o controle do sistema foram criados dois *schedules* anuais de temperatura, uma para ar quente e um para o ar frio. Ambos respeitam os horários de ocupação das salas e os limites mínimos de temperaturas de conforto, para cada mês do ano, estabelecidos segundo os cálculos da ASHRAE (2010). Ainda que a escola em estudo não funcione em janeiro, esse período foi considerado na simulação, apenas para exposição de resultados, não sendo considerado no cálculo final de consumo energético.

A fim de apresentar, também, o impacto econômico direto ao orçamento público devido a esse aumento no consumo, foram utilizados dados de custo por kWh fornecidos pela Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica (Rio Grande do Sul) (2015) para o mês de outubro (R\$ 0,7136/kWh).

---

<sup>9</sup> Informação obtida na disciplina Análise de Energia em Edificações, assistida no segundo semestre de 2015, no prédio da Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em Porto Alegre/RS, proferida pelo professor Sr. Paulo Otto Beyer.

## 5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Esta seção apresenta os dados obtidos ao longo do estudo e uma breve análise, efetuada em função dos objetivos propostos. Primeiramente, será apresentada a caracterização bioclimática da região e, na sequência os resultados de avaliação do desempenho térmico e o valor estimado de aumento no consumo energético para elevar os níveis de desempenho insuficientes encontrados.

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO BIOCLIMÁTICA DA ÁREA EM ESTUDO

Com a inclusão do arquivo climático no banco de dados do *AnalysisBio*, foram obtidos os níveis de conforto e desconforto térmico, segundo as condições naturais, para o ano típico de Camaquã. A tabela 3 apresenta esses dados para cada mês do ano.

Tabela 3 – Porcentagem de horas anuais de conforto e desconforto térmico em condições climáticas naturais

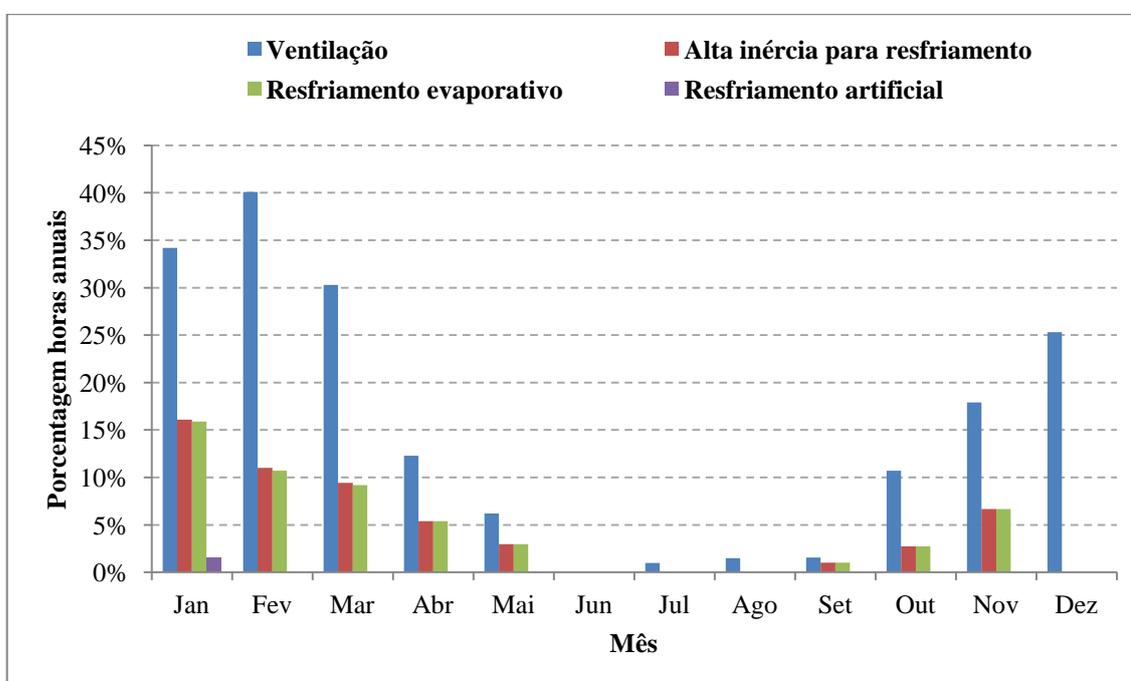
Mês	Conforto	Desconforto	
		Frio	Calor
<b>Janeiro</b>	54,3%	6,2%	39,5%
<b>Fevereiro</b>	47,8%	10,7%	41,3%
<b>Março</b>	56,3%	12,2%	40,8%
<b>Abril</b>	41,3%	45,3%	12,8%
<b>Maio</b>	32,2%	61,2%	6,2%
<b>Junho</b>	5,9%	94,1%	0,0%
<b>Julho</b>	20,4%	78,1%	0,9%
<b>Agosto</b>	16,9%	81,4%	1,5%
<b>Setembro</b>	25,4%	73,1%	1,5%
<b>Outubro</b>	39,1%	49,5%	10,6%
<b>Novembro</b>	67,2%	14,8%	17,7%
<b>Dezembro</b>	61,0%	9,7%	29,0%
<b>TOTAL</b>	<b>39,0%</b>	<b>61,0%</b>	

(fonte: elaborada pela autora)

Os resultados demonstram que, em cerca de 60% do ano, as combinações das condições climáticas locais geram problemas de desconforto térmico na edificação. Dessa porcentagem, 44% são causados por incômodo devido ao frio e 16% devido ao calor. Cabe ressaltar aqui, que boa parte das horas de desconforto ao frio costuma ocorrer à noite.

As porcentagens do uso de estratégias bioclimáticas que deveriam ter sido adotadas na edificação, durante os períodos de desconforto ao calor, estão expostas no gráfico da figura 15. Os dados demonstram que apenas o uso de ventilação natural nos ambientes edificados seria praticamente suficiente para garantir a satisfação térmica dos usuários.

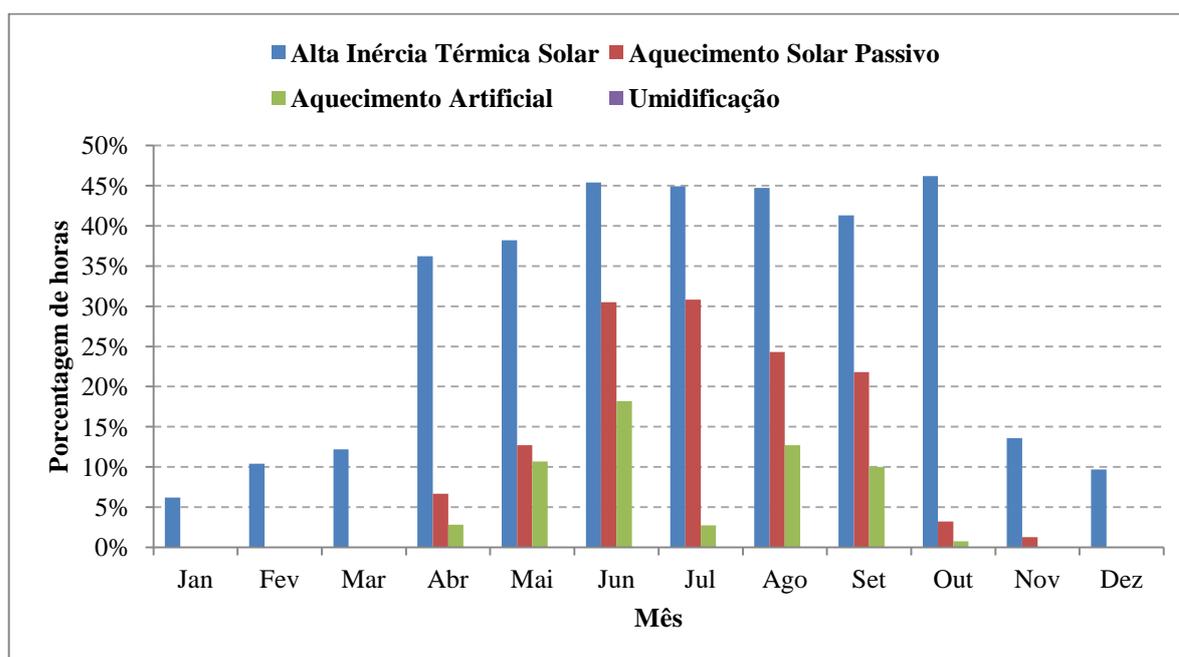
Figura 15 – Distribuição anual das estratégias bioclimáticas para o calor



(fonte: elaborada pela autora)

As porcentagens do uso de estratégias bioclimáticas que deveriam ter sido adotadas na edificação, durante os períodos de desconforto ao frio, estão expostas no gráfico da figura 16. Os dados demonstraram que a estratégia de umidificação não deve ser utilizada e que as demais deveriam ser adotadas de forma conjunta para elevar o desempenho térmico da edificação com os menores acréscimos de consumo de energia. Ainda assim, a caracterização deixa claro que, durante três meses do ano, o uso de aquecimento artificial será necessário para garantir o conforto térmico dos usuários de qualquer edificação que venha a ser implantada na região.

Figura 16 – Distribuição anual das estratégias bioclimáticas para o frio



(fonte: elaborada pela autora)

## 5.2 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO

Os resultados de avaliação segundo a NBR 15.575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c) e a Standard 55 (ASHRAE, 2010) estão apresentados separadamente nos itens abaixo. Ainda assim, muitas das análises apresentadas são relativas à edificação e devem ser consideradas comuns às duas verificações.

### 5.2.1 NBR 15.575: 2013

Os itens a seguir apresentam os resultados de avaliação do desempenho térmico a partir do método simplificado e do método de simulação computacional propostos pelo NBR 15.575-1 (ABNT, 2015a, p. 21). Além desses, é exposto ainda, o resultado do dia típico estimado, específico para a cidade de Camaquã, e uma avaliação de desempenho térmico a partir do método de simulação adaptado, em que são consideradas as cargas internas.

#### 5.2.1.1 Método Simplificado

Como explicado na metodologia, foram adotados os valores de transmitância e capacidade térmica das paredes propostas pela NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c, p. 24): 2,24 W/(m<sup>2</sup>.K) e 167 kJ/(m<sup>2</sup>.K), respectivamente. Esses resultados demonstram que as paredes de blocos

cerâmicos de 8 furos, com reboco de 2,5 cm satisfazem os níveis mínimos de desempenho. O quadro 8, abaixo, apresenta um resumo dos critérios adotados e dos resultados obtidos.

Quadro 8 – Critérios e nível de desempenho segundo o método simplificado da NBR 15.575

Sistema Construtivo	Critério			Desempenho
	Propriedade	Mínimo	Calculado	
Paredes externas	Capacitância térmica [kJ/(m <sup>2</sup> .K)]	≥ 130	167	MÍNIMO
	Transmitância térmica [W/(m <sup>2</sup> .K)]	≤ 2,5	1,38	MÍNIMO
Cobertura		≤ 2,3	2,48	INSUFICIENTE

(fonte: adaptado de ABNT, 2013b, p. 27 e 2013c, p. 52; elaborado pela autora)

O cálculo dos critérios referentes ao sistema de coberturas com laje pré-moldada estão apresentados no apêndice A deste trabalho. Os resultados de transmitância térmica obtidos para o verão (fluxo descendente) e para o inverno (fluxo ascendente) foram de 1,38 W/(m<sup>2</sup>.K) e 2,48 W/(m<sup>2</sup>.K), respectivamente. Como o valor de transmitância da cobertura no inverno não cumpre o critério mínimo de desempenho (quadro 7), o desempenho térmico da edificação deve ser obrigatoriamente reavaliado pelo método de simulação.

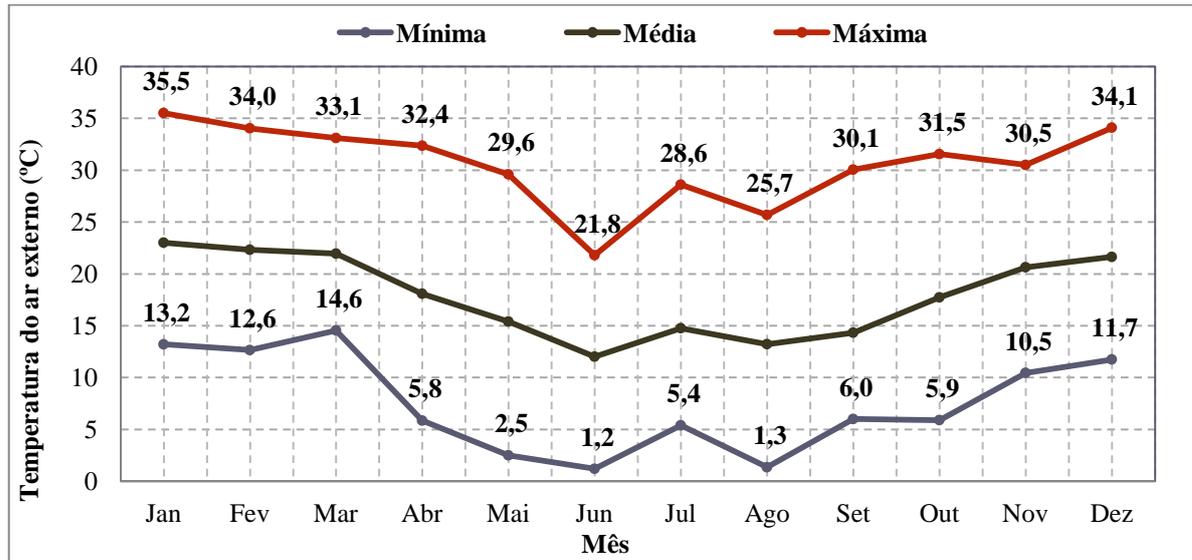
### 5.2.1.2 Método da Simulação Computacional

#### 5.2.1.2.1 Determinação dos “dias típicos”

O gráfico da figura 17 demonstra os valores de temperatura mínima, média e máxima mensal para o ano típico segundo o arquivo climático de Camaquã. A partir de uma análise mais refinada desses dados, identifica-se que a temperatura externa máxima anual (35,5 °C) ocorre às 13 h do dia 10 de janeiro, ao passo que a mínima anual (1,2 °C) ocorre às 6 h do dia 17 de junho.

O quadro 9 apresenta os detalhes desses dias típicos que foram utilizados na avaliação do desempenho térmico pela NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a). Os valores de amplitudes térmicas encontrados são, relativamente, altos e a diferença entre a temperatura de bulbo seco e de bulbo úmido é maior no verão do que no inverno, características comuns ao clima subtropical da região.

Figura 17 – Temperaturas mínimas, médias e máximas para cada mês do ano



(fonte: elaborada pela autora)

Quadro 9 – Dias típicos de Camaquã estimados por meio do arquivo climático

Dia típico		Arquivo Climático de Camaquã
<b>Verão</b>	Te,máx de bulbo seco	35,5 °C
	Te,máx de bulbo úmido	26,0 °C
	Amplitude térmica	14,7 °C
<b>Inverno</b>	Te,mín de bulbo seco	1,2 °C
	Te,mín de bulbo úmido	9,5 °C
	Amplitude térmica	14,5 °C

Onde:  
 Te,mín é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;  
 Te,máx é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.

(fonte: elaborado pela autora)

### 5.2.1.2.2 Desempenho térmico sem cargas internas

Pela avaliação do dia típico de verão, a escola pode ser classificada como um edifício termicamente confortável, já que a temperatura interna máxima dos seus ambientes está abaixo do valor das temperaturas máximas verificadas externamente, conforme mostra o quadro abaixo.

Quadro 10 – Critério e nível de desempenho das salas de permanência prolongada segundo o método de simulação da NBR 15.575 para o dia típico de verão

Sala	Critério calculado	Nível de desempenho
	Máxima temperatura interna	
<b>Multiuso e Informática</b>	32,2	INTERMEDIÁRIO
<b>Professores</b>	31,1	SUPERIOR
<b>Pré-escola</b>	34,3	MÍNIMO
<b>Creche I</b>	33,6	MÍNIMO
<b>Creche II</b>	33,0	INTERMEDIÁRIO
<b>Creche III</b>	32,7	INTERMEDIÁRIO

Onde:  
 INSUFICIENTE quando a máxima temperatura interna > 35,51°C;  
 MÍNIMO quando a máxima temperatura interna ≤ 35,51°C;  
 INTERMEDIÁRIO quando a máxima temperatura interna ≤ 33,51°C;  
 SUPERIOR quando a máxima temperatura interna ≤ 31,51°C.

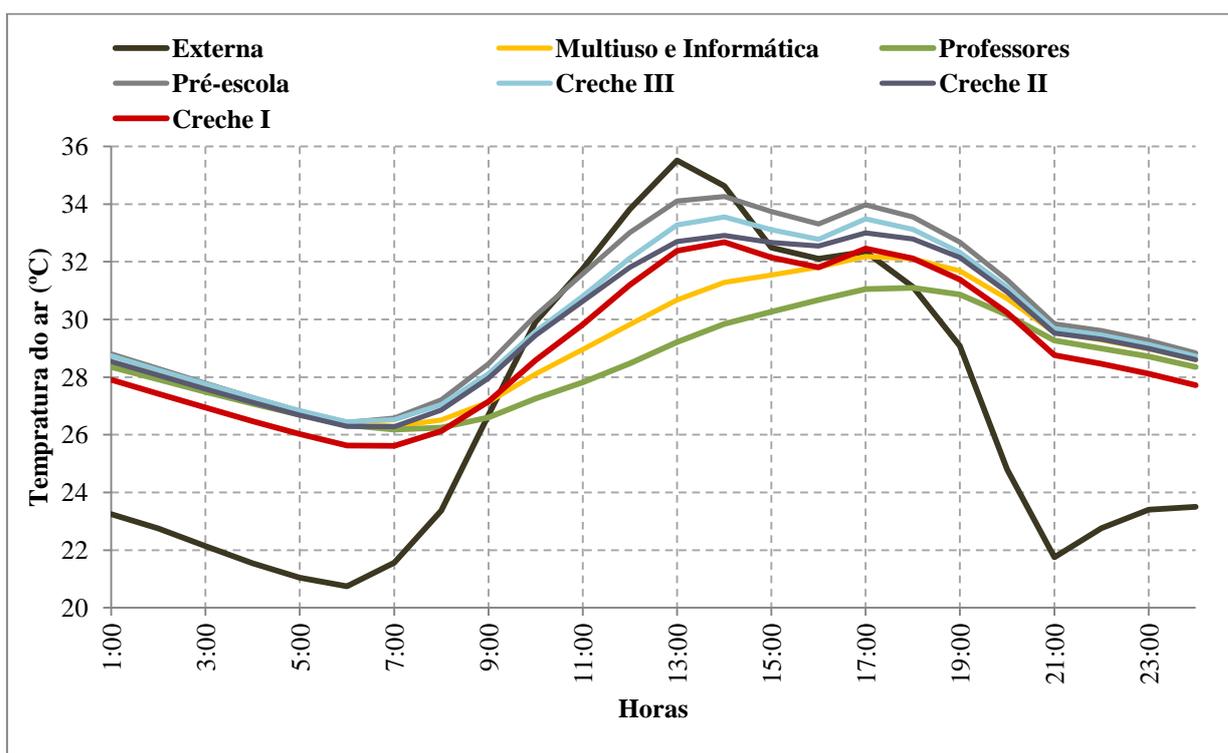
(fonte: elaborado pela autora)

Como visto, das seis salas analisadas, duas apresentaram desempenho mínimo, três apresentaram desempenho intermediário e uma apresentou um desempenho superior. Essas diferenças são consequência, principalmente, das características de volumetria, quantidade de área envidraçada e de orientação solar, dado que todas as salas são compostas pelos mesmos materiais e elementos construtivos.

Os resultados para as salas de desempenho mínimo, pré-escola e creche III, localizadas no mesmo bloco pedagógico, à nordeste, podem ser explicadas pela presença das maiores áreas envidraçadas, com alta transmissividade, expostas à radiação solar direta no verão. Durante a manhã, os raios solares invadem essas salas, gerando ganhos térmicos excessivos que prejudicam o conforto térmico no ambiente, como mostra a figura 18.

As creches I e II, apesar de serem semelhantes às citadas anteriormente, apresentaram um desempenho térmico intermediário. A redução do pico de temperatura dessas dependências é resultado da iteração desses ambientes com elementos de sombreamento da edificação, que bloqueiam parte da radiação solar direta, tanto nas vedações opacas como nas translúcidas.

Figura 18 – Distribuição de temperaturas ao longo do dia típico de verão



(fonte: elaborada pela autora)

No caso da sala multiuso e informática, também classificada em nível intermediário de desempenho, o atraso térmico foi maior do que o das salas dos blocos pedagógicos, mantendo as temperaturas mais amenas durante boa parte do dia. Esse fato se fundamenta na disposição volumétrica e na orientação solar da dependência, que apresenta poucas paredes externas voltadas para nordeste e noroeste.

Sem vedações verticais expostas ao sol e com reduzida área de aberturas, a sala dos professores é a que menos sofre com os efeitos da radiação solar, o que justifica seu desempenho superior no verão, frente aos demais ambientes da edificação. Os ganhos térmicos nesse ambiente advêm, principalmente, de trocas térmicas com a cobertura.

Quando a avaliação é feita para o dia típico de inverno, todas as salas avaliadas da edificação apresentaram temperaturas mínimas, ao menos, 2 °C maiores do que a temperatura de desempenho mínimo (2°C superior a mínima externa), sendo classificadas em nível intermediário de desempenho térmico, conforme mostra o quadro 11.

Quadro 11 – Critério e nível de desempenho das salas de permanência prolongada segundo o método de simulação da NBR 15.575 para o dia típico de inverno

Sala	Critério calculado	Nível de desempenho
	Mínima temperatura interna	
<b>Multiuso e Informática</b>	7,06	INTERMEDIÁRIO
<b>Professores</b>	6,76	INTERMEDIÁRIO
<b>Pré-escola</b>	6,33	INTERMEDIÁRIO
<b>Creche I</b>	6,48	INTERMEDIÁRIO
<b>Creche II</b>	6,61	INTERMEDIÁRIO
<b>Creche III</b>	6,20	INTERMEDIÁRIO

Onde:  
 INSUFICIENTE quando a mínima temperatura interna  $< 4,20^{\circ}\text{C}$ ;  
 MÍNIMO quando a mínima temperatura interna  $\geq 4,20^{\circ}\text{C}$ ;  
 INTERMEDIÁRIO quando a mínima temperatura interna  $\geq 6,20^{\circ}\text{C}$ ;  
 SUPERIOR quando a mínima temperatura interna  $\geq 8,20^{\circ}\text{C}$ .

(fonte: elaborado pela autora)

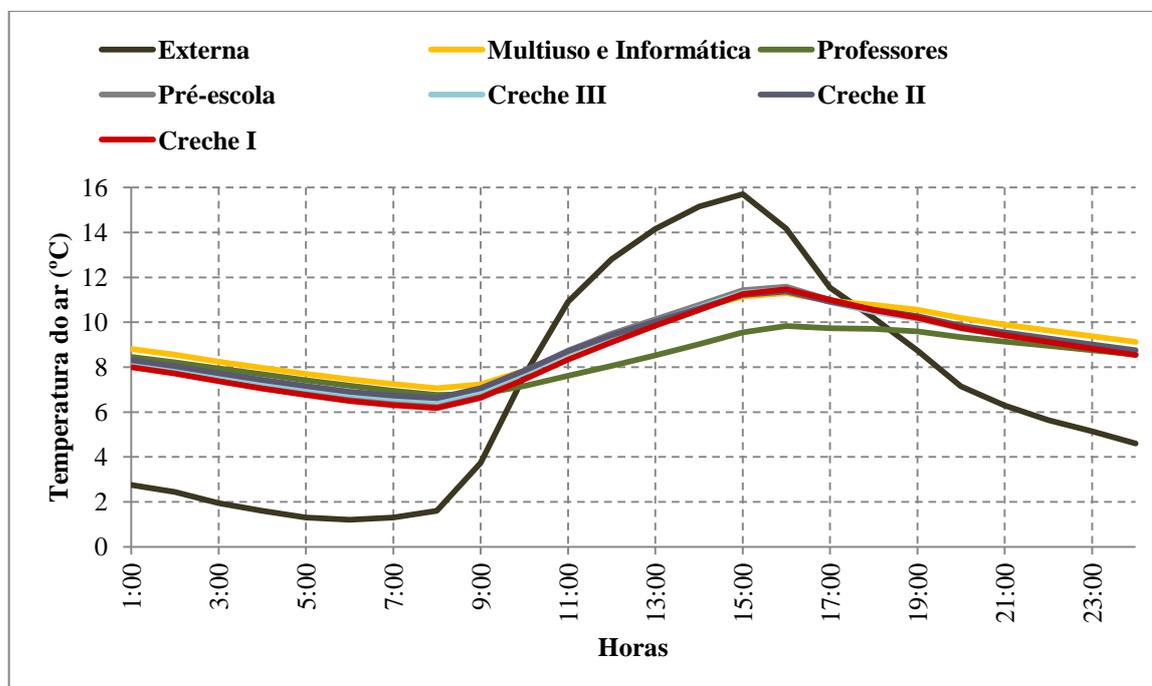
A sala multiuso e informática e a sala dos professores representam as salas que detêm as maiores temperaturas mínimas durante o dia mais rigoroso do inverno. No entanto, essas salas são extremamente diferentes das demais e apresentam um desempenho semelhante entre si devido à combinação de dois fatores: área envidraçada e exposição à radiação solar.

O ambiente de multiuso e informática recebe altos níveis radiação solar direta e indireta durante boa parte do dia e possui elevada área de aberturas, isso faz com que ele absorva muito calor durante o período diurno e perca boa parte desse calor no período noturno devido ao alto coeficiente de transmissão de calor do vidro utilizado na edificação. Já a sala dos professores, recebe apenas níveis de radiação solar indireta e possui uma reduzida área envidraçada, mantendo as temperaturas internas mais estáveis, mesmo com a alta amplitude térmica externa. A figura 19 ilustra o comportamento das temperaturas destas e das demais salas da edificação ao longo do dia típico de inverno.

A creche I, por sua vez, não apenas recebe os maiores níveis de radiação solar, como também apresenta a maior área de aberturas de toda a edificação. Em consequência disso, registra a temperatura mais fria durante o dia típico de inverno.

A pré-escola, a creche III e a creche II têm comportamento térmico semelhante, sendo a primeira e a última, a de menor e a de maior desempenho térmico, respectivamente.

Figura 19 – Distribuição de temperaturas ao longo do dia típico de inverno



(fonte: elaborada pela autora)

### 5.2.1.2.3 Desempenho térmico com cargas internas

Quando consideradas cargas internas na edificação, as temperaturas internas máximas no dia típico de verão sofrem acréscimos entre 1,1 e 1,8 °C, conforme mostra o quadro 12. O maior incremento de temperatura ocorre na sala dos professores, sendo decorrente da presença de equipamento de televisão. As demais diferenças nos acréscimos são resultantes das diferentes cargas de iluminação entre as salas.

Das seis salas analisadas, cinco tiveram queda de desempenho, a creche III foi a única que se manteve com desempenho mínimo, por apresentar temperatura interna muito próxima do limite intermediário na classificação sem a consideração de cargas. A pré-escola tornou-se um ambiente desconfortável termicamente; as salas multiuso e informática, creche II e creche I, passaram a apresentar um desempenho térmico mínimo; e a sala dos professores alcançou o nível intermediário de classificação.

Quadro 12 – Critério e nível de desempenho das salas de permanência prolongada segundo o método adaptado de simulação da NBR 15.575 para o dia típico de verão

Sala	Critério calculado	Nível de desempenho
	Máxima temperatura interna	
<b>Multiuso e Informática</b>	33,8	MÍNIMO
<b>Professores</b>	32,9	INTERMEDIÁRIO
<b>Pré-escola</b>	35,7	INSUFICIENTE
<b>Creche I</b>	34,7	MÍNIMO
<b>Creche II</b>	34,4	MÍNIMO
<b>Creche III</b>	33,9	MÍNIMO

Onde:  
 INSUFICIENTE quando a máxima temperatura interna > 35,51°C;  
 MÍNIMO quando a máxima temperatura interna ≤ 35,51°C;  
 INTERMEDIÁRIO quando a máxima temperatura interna ≤ 33,51°C;  
 SUPERIOR quando a máxima temperatura interna ≤ 31,51°C.

(fonte: elaborado pela autora)

A consideração das cargas térmicas no dia típico de inverno não foi suficiente para elevar o desempenho térmico da edificação, que manteve os resultados obtidos anteriormente. Foram verificados acréscimos entre 0,4 e 1 °C, conforme mostra o quadro 13.

Quadro 13 – Critério e nível de desempenho das salas de permanência prolongada segundo o método adaptado de simulação da NBR 15.575 para o dia típico de inverno

Sala	Critério calculado	Nível de desempenho
	Máxima temperatura interna	
<b>Multiuso e Informática</b>	7,73	INTERMEDIÁRIO
<b>Professores</b>	7,98	INTERMEDIÁRIO
<b>Pré-escola</b>	6,88	INTERMEDIÁRIO
<b>Creche I</b>	6,88	INTERMEDIÁRIO
<b>Creche II</b>	7,14	INTERMEDIÁRIO
<b>Creche III</b>	6,59	INTERMEDIÁRIO

Onde:  
 INSUFICIENTE quando a mínima temperatura interna < 4,20°C;  
 MÍNIMO quando a mínima temperatura interna ≥ 4,20°C;  
 INTERMEDIÁRIO quando a mínima temperatura interna ≥ 6,20°C;  
 SUPERIOR quando a mínima temperatura interna ≥ 8,20°C.

(fonte: elaborado pela autora)

Os menores acréscimos de temperatura devido a utilização de equipamentos elétricos no dia típico de inverno, quando comparado ao de verão (1 °C contra 1,8 °C), é decorrente da utilização dos ventiladores na época quente do ano. Além disso, de maneira geral, os acréscimos verificados em ambos os dias não são tão significativos devido à baixa utilização de equipamentos elétricos no ambiente escolar infantil.

### 5.2.2 ASHRAE Standard 55: 2013

Na tabela 4 estão expostos os resultados das temperaturas de conforto mensais, calculadas a partir da fórmula 3 (item 3.1.4.2, p. 43), bem como os limites dos intervalos adotados, como o de desempenho mínimo (temperatura de conforto  $\pm 2,5$  °C) e superior (temperatura de conforto  $\pm 2,5$  °C). O método e a justificativa utilizados na determinação desses intervalos esta descrito no item 4.3.2, página 58, deste trabalho.

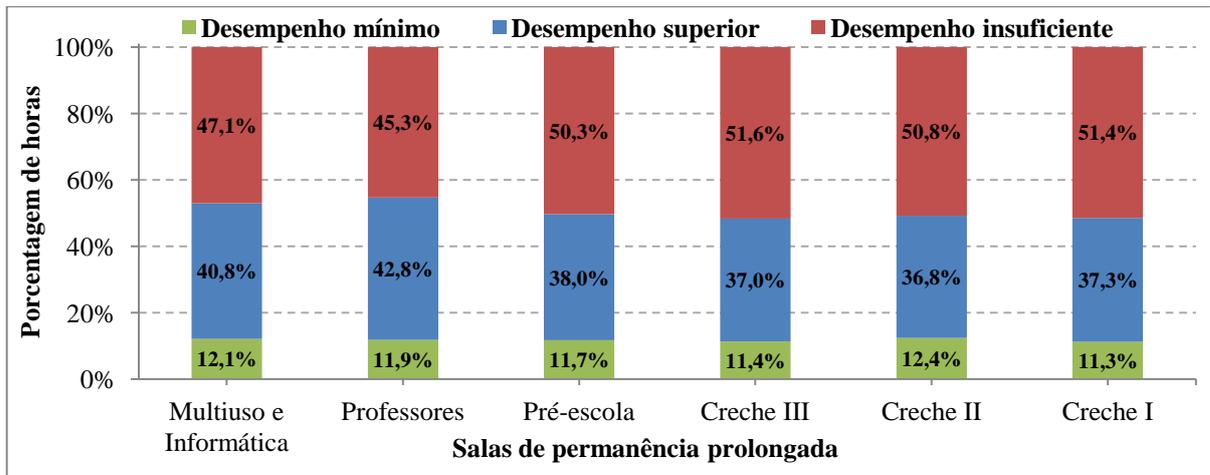
Tabela 4 – Temperatura e limites de intervalos de conforto mensais

Mês	Limite inferior		Temperatura de Conforto	Limite superior	
	Desempenho Mínimo	Desempenho Superior		Desempenho Superior	Desempenho Mínimo
<b>Janeiro</b>	21,43	22,43	24,93	27,43	28,43
<b>Fevereiro</b>	21,22	22,22	24,72	27,22	28,22
<b>Março</b>	21,10	22,10	24,60	27,10	28,10
<b>Abril</b>	19,91	20,91	23,41	25,91	26,91
<b>Mai</b>	19,07	20,07	22,57	25,07	26,07
<b>Junho</b>	18,02	19,02	21,52	24,02	25,02
<b>Julho</b>	18,87	19,87	22,37	24,87	25,87
<b>Agosto</b>	18,40	19,40	21,90	24,40	25,40
<b>Setembro</b>	18,74	19,74	22,24	24,74	25,74
<b>Outubro</b>	19,80	20,80	23,30	25,80	26,80
<b>Novembro</b>	20,70	21,70	24,20	26,70	27,70
<b>Dezembro</b>	21,01	22,01	24,51	27,01	28,01

(fonte: elaborada pela autora)

Com base nos limites de temperatura operativa determinados, todas as salas apresentam níveis de desempenho térmico semelhante (figura 20). Em média, durante 49% do ano típico o ambiente escolar apresenta desempenho insuficiente; em 39% do período, mantém desempenho superior; e nos 13% de tempo restante, tem nível de desempenho mínimo.

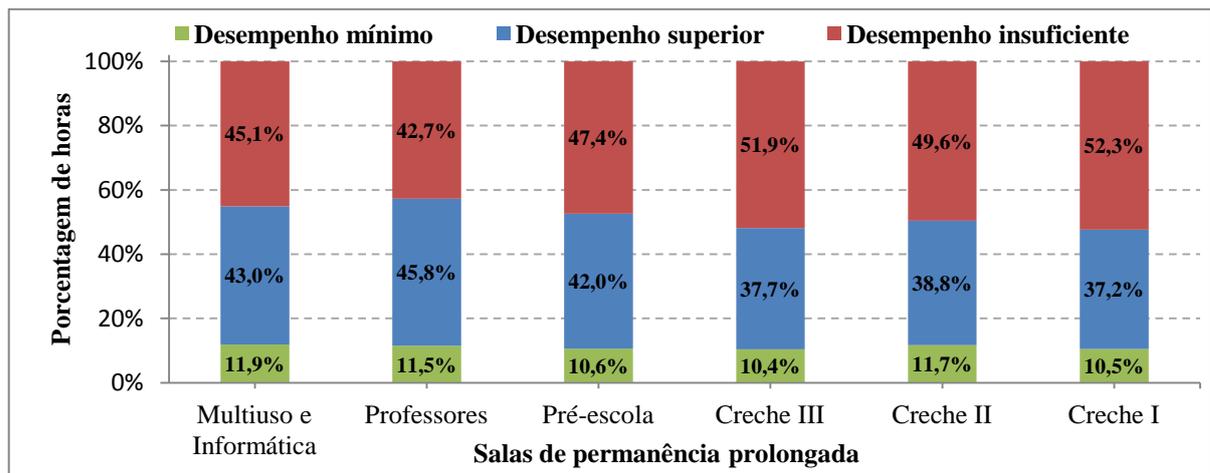
Figura 20 – Desempenho térmico das salas de permanência prolongada da edificação ao longo do ano típico



(fonte: elaborada pela autora)

Quando analisado apenas o período em que a escola é ocupada (de fevereiro a dezembro, das 07h30min às 11h30min e das 13h30min às 17h30min, exceto em finais de semana e feriados), constata-se que as alterações nos níveis de desempenho são mínimas, quando comparadas aos resultados anteriores: o superior subiu 2%, o mínimo caiu 2% e o insuficiente, também, teve queda de 1% (figura 21). Isso demonstra que o horário em que ocorrem as atividades escolares coincide com muitas das horas de desconforto térmico.

Figura 21 – Desempenho térmico das salas de permanência prolongada da edificação ao longo do ano típico em período de ocupação

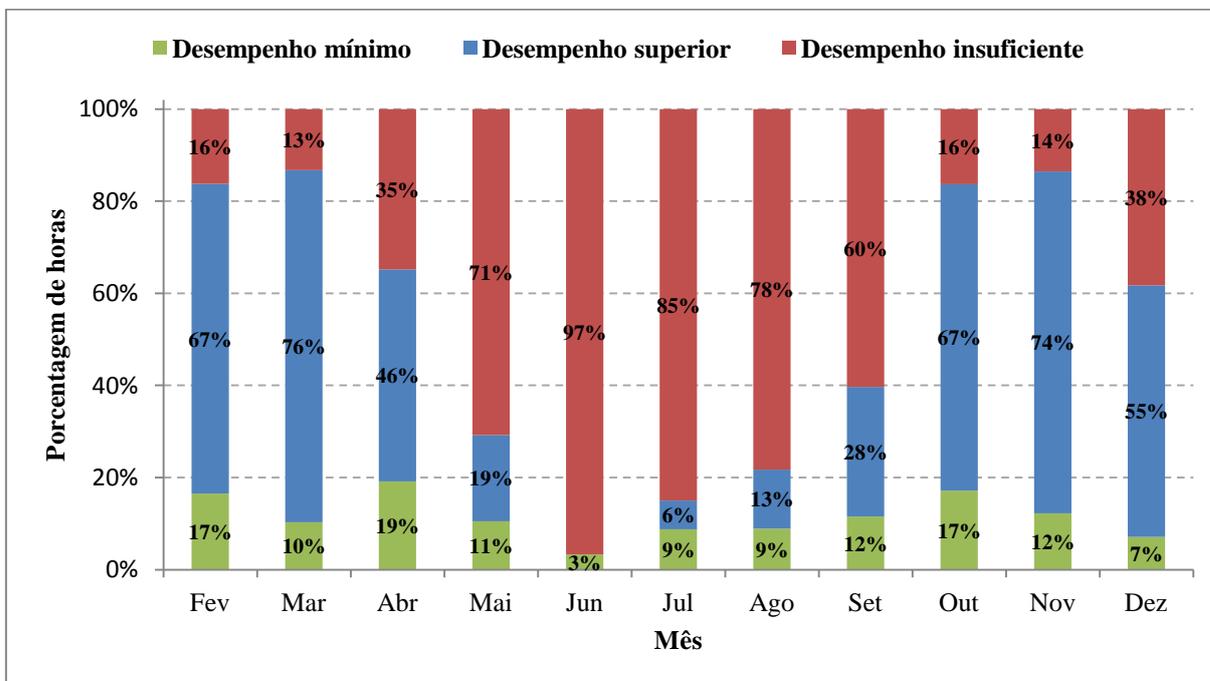


(fonte: elaborada pela autora)

Os resultados também revelaram que as baixas temperaturas representam em média 88% das horas de desconforto da edificação durante os períodos de ocupação. A figura 22 apresenta a

distribuição dos desempenhos térmicos ao longo dos meses do ano, mostrando os graves problemas de conforto ambiental na estação de inverno.

Figura 22 – Distribuição do desempenho térmico das salas de permanência prolongada da edificação ao longo do ano típico em período de ocupação.



(fonte: elaborada pela autora)

Entre as causas para a predominância dos problemas com o frio, podemos citar: a maior severidade das temperaturas de inverno do ano típico, quando comparadas as do verão; a baixa inércia térmica da edificação, já comentada no item 5.1.1.2.2; e a possibilidade de uso de ventilação natural para aumentar o conforto térmico no verão. A tabela 5 exibe a porcentagem de acréscimos de horas de conforto mensais obtidas no modelo, por meio da abertura das janelas dos ambientes.

Os meses de outubro, janeiro e novembro apresentaram maiores ganhos nos níveis de conforto térmico a partir do uso de ventilação natural. Há uma grande relação desse resultado com o modelo de controle de aberturas utilizado neste trabalho, em que as janelas se abrem, sem considerar a temperatura externa, sempre que a temperatura operativa é maior que a temperatura de conforto de desempenho mínimo superior.

Tabela 5 – Porcentagem do aumento de horas de conforto térmico obtidas com o uso de ventilação natural

Mês	Salas de permanência prolongada					
	Multiuso e Inf.	Professores	Pré-escola	Creche III	Creche II	Creche I
<b>Janeiro</b>	2%	1%	9%	7%	8%	5%
<b>Fevereiro</b>	3%	2%	6%	6%	4%	6%
<b>Março</b>	2%	-	4%	2%	4%	3%
<b>Abril</b>	5%	6%	5%	3%	5%	3%
<b>Mai</b>	2%	3%	1%	-	-	-
<b>Junho</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Julho</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Agosto</b>	2%	1%	1%	1%	2%	1%
<b>Setembro</b>	6%	4%	3%	3%	4%	3%
<b>Outubro</b>	8%	8%	5%	5%	6%	5%
<b>Novembro</b>	4%	2%	6%	5%	6%	4%
<b>Dezembro</b>	2%	-	7%	6%	4%	4%
<b>TOTAL</b>	<b>34%</b>	<b>28%</b>	<b>47%</b>	<b>38%</b>	<b>42%</b>	<b>33%</b>

(fonte: elaborada pela autora)

A abertura das janelas, ainda que mais frequente no verão, nem sempre eleva os níveis de conforto térmico dos ambientes, devido às altas temperaturas registradas nesse período. Por outro lado, em meses em que as temperaturas externas são mais amenas, como em outubro e novembro, as vezes em que as janelas são abertas tendem a gerar incrementos na satisfação térmica dos usuários.

### 5.3 ESTIMAÇÃO DO AUMENTO NO CONSUMO ENERGÉTICO

Os resultados no aumento do consumo energético devido ao uso de condicionadores de ar, para melhorar nível de conforto térmico dos ambientes, estão expostos na tabela 6, bem como uma estimativa do custo direto desse aumento no consumo energético. Os valores mais altos se concentram nos meses de junho e julho e a sala mais onerosa à edificação é creche I.

Tabela 6 – Consumo energético e custos para garantir que os limites de temperatura de conforto da *Standard 55* sejam respeitados

Mês	Consumo Energético nos ambientes de permanência prolongada (kWh)						TOTAL	
	Multiuso e Inf.	Prof.	Pré-escola	Creche III	Creche II	Creche I	kWh	reais
<b>Jan*</b>	83,5	54,0	107,1	85,1	83,7	99,5	<b>512,8</b>	<b>R\$ 365,84</b>
<b>Fev</b>	46,8	27,0	61,6	47,4	47,3	57,4	<b>287,5</b>	<b>R\$ 205,18</b>
<b>Mar</b>	45,7	24,7	58,4	44,9	48,2	56,0	<b>278,0</b>	<b>R\$ 198,42</b>
<b>Abr</b>	69,1	44,8	87,9	76,5	77,6	112,2	<b>468,0</b>	<b>R\$ 333,99</b>
<b>Mai</b>	123,7	78,2	149,4	164,8	150,3	236,0	<b>902,5</b>	<b>R\$644,03</b>
<b>Jun</b>	223,1	128,6	254,9	294,8	260,5	408,6	<b>1570,6</b>	<b>R\$ 1120,81</b>
<b>Jul</b>	174,3	90,7	198,7	228,6	200,6	314,4	<b>1207,3</b>	<b>R\$ 861,57</b>
<b>Ago</b>	148,2	87,3	167,9	202,5	175,8	292,1	<b>1073,8</b>	<b>R\$ 766,27</b>
<b>Set</b>	105,3	64,6	114,9	132,0	121,4	201,5	<b>739,6</b>	<b>R\$ 527,83</b>
<b>Out</b>	18,7	11,4	23,2	23,3	22,8	44,1	<b>143,5</b>	<b>R\$ 102,38</b>
<b>Nov</b>	41,7	22,0	55,5	41,9	41,6	50,6	<b>253,3</b>	<b>R\$ 180,77</b>
<b>Dez</b>	81,4	50,5	104,5	82,7	82,2	96,1	<b>497,4</b>	<b>R\$ 345,97</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1078,0</b>	<b>629,8</b>	<b>1277,0</b>	<b>1339,3</b>	<b>1228,3</b>	<b>1869,0</b>	<b>1078,0</b>	
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 769,30</b>	<b>R\$ 449,42</b>	<b>R\$ 911,33</b>	<b>R\$ 955,78</b>	<b>R\$ 876,59</b>	<b>R\$ 1333,80</b>		<b>R\$ 5296,22</b>

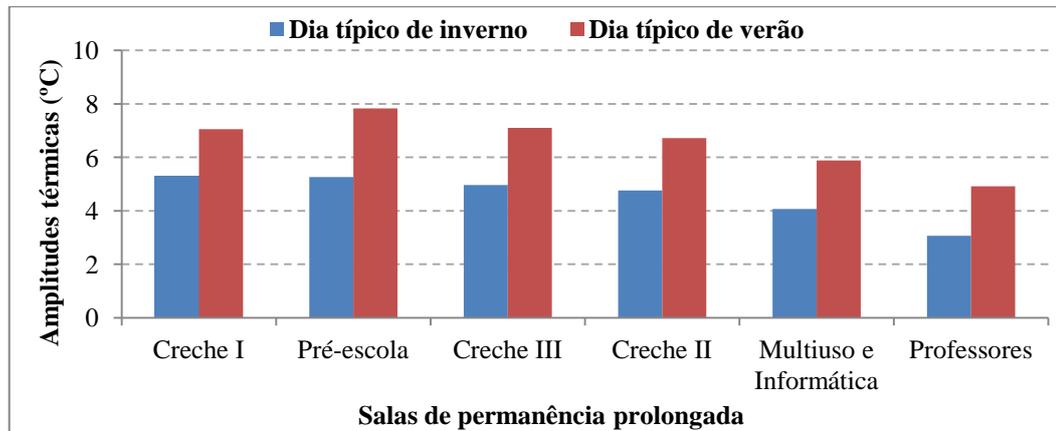
\*O mês de janeiro não foi considerado nos somatórios finais, por não ser um mês letivo .

(fonte: elaborada pela autora)

Em geral os valores encontrados estão em concordância com os níveis de desempenho avaliados, ou seja, a maioria dos ambientes e meses que apresentam maiores horas de desconforto são os mesmos que consomem mais energia.

Entre as poucas divergências verificadas está o maior consumo energético da pré-escola com relação ao da creche II, ambiente menos confortável termicamente. A explicação para esse fato pode ser encontrada nas diferenças de amplitudes térmicas entre as salas (figura 23). As maiores variações de temperatura interna da pré-escola fazem com que o ar condicionado quando ligado tenha que compensar maiores cargas térmicas para garantir o conforto térmico, consumindo mais energia.

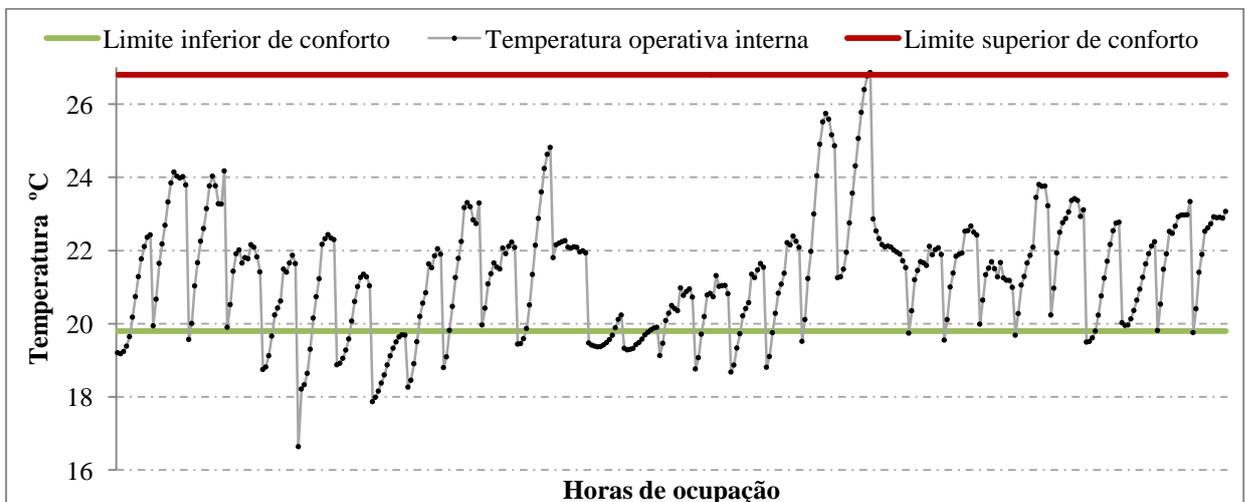
Figura 23 – Amplitudes térmicas das salas de permanência prolongada nos dias típicos



(fonte: elaborada pela autora)

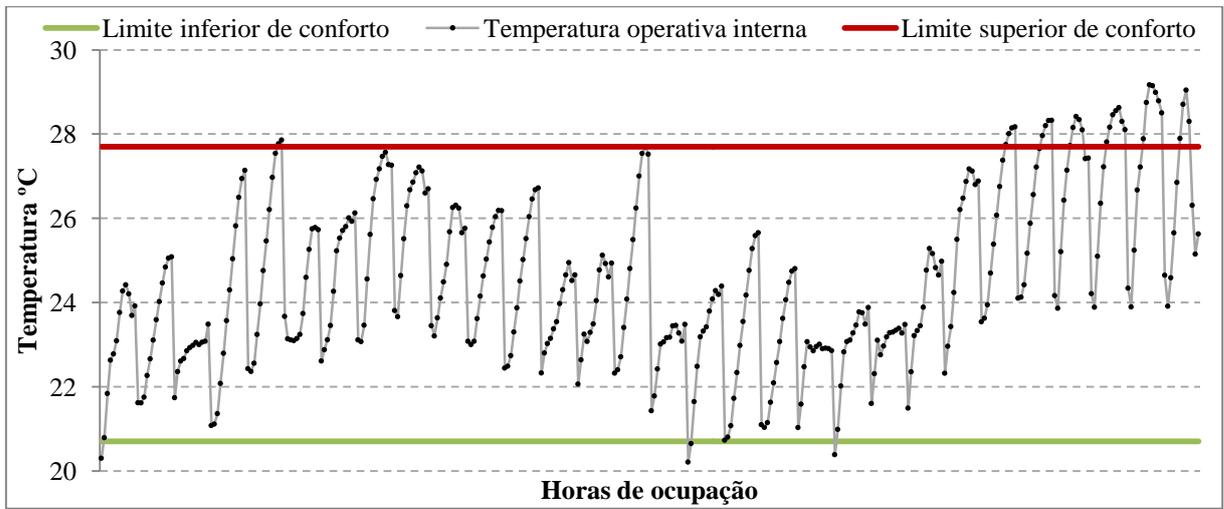
Outro resultado divergente é o consumo energético do mês de março ser superior ao dos meses de outubro e novembro que registram maiores horas de desconforto. Isto acontece porque apesar de outubro possuir mais horas uso de desconforto que março e novembro, essas horas geralmente acontecem no início da manhã e tem uma tendência natural, devido à radiação solar, a retornar para o limite de conforto, exigindo que o ar condicionado fique ligado durante menos tempo. Já em novembro as horas de desconforto tendem a ocorrer perto do meio dia, de forma que a radiação solar contribui negativamente para o conforto, exigindo que o ar-condicionado permaneça ligado boa parte do restante do dia. Os gráficos das figuras 24 e 25 demonstram esse comportamento.

Figura 24 – Comportamento das temperaturas operativas internas durante os períodos de ocupação em outubro



(fonte: elaborada pela autora)

Figura 25 – Comportamento das temperaturas operativas internas durante os períodos de ocupação em novembro



(fonte: elaborada pela autora)

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES DE PESQUISA

Este último capítulo traz as considerações finais a respeito deste trabalho e enumera algumas sugestões para pesquisas futuras.

### 6.1 CONSIDERAÇÃO FINAIS

O desempenho térmico satisfatório em uma edificação escolar infantil é condição imprescindível para garantia de um espaço de aprendizado saudável e eficiente. Edificações sustentáveis consideram-no como um critério de projeto, garantindo que ele seja alcançado, essencialmente, por meio do uso de tecnologias passivas e proativas.

Este trabalho teve como objetivo principal a determinação qualitativa do desempenho térmico de um projeto padrão Proinfância tipo C, implantado no município de Camaquã, segundo a NBR 15.575 (ABNT, 2013a, 2013b, 2013c) e a *Standard 55* (ASHRAE, 2010). Os resultados demonstraram divergências entre os resultados obtidos pelas duas normas, validando parte das hipóteses do trabalho, e respaldaram o pressuposto e a premissa inicial de que a utilização do projeto padrão tipo C não é adequado à zona bioclimática 2, segundo a avaliação pelos critérios da norma americana.

Os resultados obtidos pelos dois métodos da NBR 15.575 (ABNT, 2013a), em parte divergiram do que era esperado, de modo que, o método simplificado, inicialmente considerado não representativo, classificou a edificação em um desempenho térmico insuficiente, tornando obrigatória a avaliação pelo método de simulação. O resultado obtido com a utilização desse segundo método classificou, então, a edificação, de forma geral, em nível intermediário de desempenho no inverno e no verão.

No entanto, os limites de desempenho mínimo, estabelecidos pela norma nacional, estão condicionados apenas a diferenças de temperatura entre os ambientes internos e externos e parecem superestimar o intervalo de conforto térmico dos usuários, de modo que temperaturas internas de 34 e de 6 °C, durante os dias típicos de verão e de inverno, respectivamente, são tidas pela norma como satisfatórias. Isso explica, porque a classificação segundo a NBR

15.575 (ABNT, 2013a) foi bem superior à obtida pela norma americana, que apresenta intervalos de conforto mais coerentes, com mínimas aceitáveis de 18,02 °C em junho, e máximas aceitáveis de 28,43 °C em janeiro, por exemplo.

Essas análises de conforto térmico com base nos critérios da *Standard 55* (ASHRAE, 2010) evidenciaram graves problemas térmicos na edificação, concentrados, em sua maioria, durante o período de inverno. Esses problemas com o frio, de forma geral, demonstraram ter relação direta com a grande área de aberturas das salas de permanência prolongada. Essas aberturas são compostas por envidraçamento simples na sua parte translúcida, aumentando a velocidade das perdas térmicas para o ambiente externo. Os caixilhos de ferro também colaboram para o aumento dessas trocas indesejadas durante o inverno.

Além disso, comparando os resultados finais obtidos na avaliação pela norma americana com as estratégias bioclimáticas estimadas no item 5.1 (caracterização bioclimática), verifica-se uma grande necessidade de uso de condicionadores de ar e de um menor aproveitamento do potencial de ventilação natural na edificação. A adequação do projeto padrão usando preceitos de arquitetura bioclimática adequadas ao microclima local poderia, por exemplo, reduzir bastante o consumo energético para a climatização dos ambientes em fevereiro, novembro e dezembro e reduzir o consumo em até 27%, apenas, no mês de junho (mês de maior consumo).

Isso demonstra que a substituição dos projetos padrão por projetos bioclimáticos adequados geraria benefícios ambientais e econômicos à população, que, inevitavelmente, arca com os custos de funcionamento da escola e de aumento da rede de produção e distribuição de energia. Além disso, a inclusão de escolas mais sustentáveis por todo país, poderia servir para conscientizar a população local sobre a importância e os ganhos de adequar as edificações ao meio em que são inseridas.

Cabe mencionar, ainda, que foram identificados outros problemas referentes ao uso e a inflexibilidade de projetos padrão que não os de desempenho térmico. Dentre esses, podemos citar: rearranjo e o improvisado de salas; muitos espaços e equipamento inoperantes; algumas estruturas que perderam sua função construtiva; e problemas de acessibilidade do entorno.

Sobre a metodologia adotada, na fase de pesquisa bibliográfica houve dificuldade em encontrar material de qualidade sobre os ambientes escolares brasileiros, além da, já citada,

ausência de normas nacionais direcionadas a essas edificações, demonstrando a necessidade de expandir as pesquisas nesse campo. No mais, o uso do método de simulação e de cálculos manuais foi suficiente para o desenvolvimento dessa pesquisa, demonstrando ser uma alternativa econômica e prática para estimar os níveis de conforto térmico dos ambientes.

Por fim, o estudo desenvolvido permitiu concluir que apesar de o Proinfância ser muito importante para a ampliação da educação infantil, a adoção de projetos padrão escolares não demonstra ser a alternativa adequada a ser utilizada pelo Programa. As novas edificações escolares infantis, mais do que outros tipos de edificação, devem primar pela qualidade, ser confortáveis e possuir alto desempenho térmico e energético, fatores condicionados à existência de um projeto que considere todas as individualidades locais de onde será inserido, garantindo, assim, condições ótimas de saúde e aprendizado às futuras gerações de brasileiros.

## 6.2 SUGESTÕES DE PESQUISA

Este trabalho avaliou o desempenho de um projeto padrão Proinfância, com foco no desempenho térmico. Além disso, a análise por método de simulação foi restrita a uma única edificação do tipo C, implantada no município de Camaquã, Estado do Rio Grande do Sul.

Todas essas variáveis que foram limitadas para tornar possível a realização deste trabalho, quando alteradas abrem uma gama de possibilidades para estudos futuros, entre os quais são sugeridos:

- a) uso do método de avaliação pós-ocupação para análise do desempenho térmico da edificação em estudo;
- b) uso do método de medição para análise do desempenho térmico da edificação em estudo;
- c) avaliação do desempenho térmico do projeto padrão tipo C nas demais zonas bioclimáticas brasileiras, determinadas pela NBR 15.220-3( ABNT, 2005c);
- d) avaliação do desempenho térmico das demais tipologias do Proinfância (1,2 e B), apresentadas pelo FNDE ([2015]b) ;
- e) avaliação do desempenho acústico, lumínico e energético dos projetos padrão Proinfância, segundo a NBR 15.575-1 (ABNT; 2013a) e/ou segundo normas estrangeiras relevantes academicamente;
- f) levantamento de dados estatísticos do Proinfância referentes a quantidade de creches instaladas, segundo a localização e a tipologia.

## REFERÊNCIAS

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC. **Standard 55**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2010.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220-1**: desempenho térmico de edificações – parte 1: definição, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.220-2**: desempenho térmico de edificações – parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.220-3**: desempenho térmico de edificações – parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005c.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.575-1**: edificações habitacionais – desempenho – parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.575-4**: edificações habitacionais – desempenho – parte 4: sistemas de vedações verticais externas e internas. Rio de Janeiro, 2013b.

\_\_\_\_\_. **NBR 15.575-5**: edificações habitacionais – desempenho – parte 5: sistemas de cobertura. Rio de Janeiro, 2013c.

BRASIL. Presidência da República. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei n. 9.394**, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Brasília, DF, 1996. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9394.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9394.htm)>. Acesso em: 26 out. 2015.

\_\_\_\_\_. Proinfância investe na construção de creches e pré-escolas. **Portal Brasil**: educação, Brasília, v. 3, n. 19, p. 1-1, abr. 2015b. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/educacao/2015/03/proinfancia-investe-mais-de-r-10-bilhoes-na-construcao-de-creches>>. Acesso em: 4 abr. 2015.

AZEVEDO, G. A. N.; BASTOS, L. E. G. e BLOWER, H. S. Escolas de ontem, educação hoje: é possível atualizar usos em projetos padronizados? In: SEMINÁRIO PROJETAR, 3, 2007, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 2007. Não paginado. Disponível em: <[http://www.gae.fau.ufrj.br/arq\\_pdf/artigos/escola\\_ontem\\_edu\\_hj\\_gana\\_leo\\_hsb.pdf](http://www.gae.fau.ufrj.br/arq_pdf/artigos/escola_ontem_edu_hj_gana_leo_hsb.pdf)>. Acesso em: 14 jun. 2015.

BOARD OF TRUSTEES OF THE UNIVERSITY OF ILLINOIS; REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA. **Getting started with energyplus**: basic concepts manual. California, 2013a.

\_\_\_\_\_. **Input output reference**: the encyclopedic reference to EnergyPlus input and output. California, 2013b.

CALLISTER JUNIOR, W. D.; **Ciências e engenharia dos materiais: uma introdução.** 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

ÇENGEL, Y.; GHAJAR, A. **Transferência de calor e massa: uma abordagem prática.** 4 ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.

CHVATAL, K. M. S. Avaliação do procedimento simplificado da NBR 15575 para determinação do nível de desempenho térmico de habitações. **Ambiente Construído: edição especial avaliação de desempenho de produtos e sistemas construtivos inovadores**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 119-134, Out./Dez.. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/45677/32697>>. Acesso em: 13 de out. 2015.

COLABORATIVE FOR HIGH PERFORMANCE SCHOOLS. **Best Practices Manual.** California: CHPS, 2006. v. 3.

COMPANHIA ESTADUAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (Rio Grande do Sul). **Conta de luz:** outubro. Porto Alegre, 2015.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental.** 2ed. Rio de Janeiro: Revan, 2010.

ELETOBRAS; INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA; CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Manual para aplicação do RTQ-C: comercial, de serviços e público.** 2 ed. [S.I.],[2013]. Disponível em: <[http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/manualv02\\_1.pdf](http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/manualv02_1.pdf)>. Acesso em: 27 out. 2015.

ENERGYPLUS, version 8.1. [S. I.]: United States Department of Energy, 2013. Programa.

FLORES, M. L. R.; MELLO, D. T. Ampliação do acesso à educação infantil via Proinfância: análises de uma política pública em colaboração. In: CONGRESSO IBERO AMERICANO DE POLÍTICA E ADMINISTRAÇÃO DA EDUCAÇÃO, 3., 2012, Zaragoza. **Anais...** Goiânia: Associação Nacional de Política e Administração da Educação, 2012. Não paginado.

FNDE - FUNDO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO. **Diretrizes técnicas para apresentação de projetos e construção de estabelecimentos de ensino público:** caderno de requisitos e critérios de desempenho para estabelecimentos de ensino público. Brasília, DF, 2012a. v. 1.

\_\_\_\_\_. **Maquetes eletrônicas do projeto:** vista externa. Brasília, DF, 2012b. Disponível em: <[http://www.fnde.gov.br/programas/proinfancia/proinfancia-projetos-arquitetonicos-para-construcao/proinfancia-tipoc<sup>10</sup>](http://www.fnde.gov.br/programas/proinfancia/proinfancia-projetos-arquitetonicos-para-construcao/proinfancia-tipoc<sup>10</sup)>. Acesso em: 14 jun. 2015.

\_\_\_\_\_. **Memorial descritivo:** projeto Proinfância tipo C. Brasília, DF, [2012]c. Disponível em: <[http://www.fnde.gov.br/programas/proinfancia/proinfancia-projetos-arquitetonicos-para-construcao/proinfancia-tipoc<sup>11</sup>](http://www.fnde.gov.br/programas/proinfancia/proinfancia-projetos-arquitetonicos-para-construcao/proinfancia-tipoc<sup>11</sup)>. Acesso em: 14 jun. 2015.

<sup>10</sup> No endereço eletrônico indicado clicar em “Maquetes eletrônicas do projeto”.

\_\_\_\_\_. **Projeto arquitetônico**: projeto Proinfância tipo C. Brasília, DF, [2012]d. Disponível em <[http://www.fnnde.gov.br/programas/proinfancia/proinfancia-projetos-arquiteticos-para-construcao/proinfancia-tipoc<sup>12</sup>](http://www.fnnde.gov.br/programas/proinfancia/proinfancia-projetos-arquiteticos-para-construcao/proinfancia-tipoc<sup>12</sup)>. Acesso em: 28 out. 2015.

\_\_\_\_\_. **Proinfância**: apresentação. Brasília, DF, [2015]a. Disponível em: <<http://www.fnnde.gov.br/programas/proinfancia/proinfancia-apresentacao>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

\_\_\_\_\_. **Proinfância**: funcionamento. Brasília, DF, [2015]b. Disponível em: <<http://www.fnnde.gov.br/programas/proinfancia/proinfancia-funcionamento>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 5 ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001. Disponível em: <<http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/143537/eaf0b434559808767fe436cdf6e6d708.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

GODOI, G. **Conforto térmico nas edificações escolares públicas**: análise de implantação do projeto padrão 023 da rede pública de ensino do estado do Paraná. 2010. 54 f. Monografia (Especialização em Construção de Obras Públicas) – Programa de Pós- Graduação em Construção de Obras Públicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/handle/1884/34343/GODOI,%20GISELE.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 25 abr. 2015.

GOOGLE EARTH virtual. [S.I.]: Google Inc., 2011. Programa. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/place/R.+Amaro+Lopes+-+Dona+Tereza,+Camaqu%C3%A3+-+RS,+96180-000/@-30.8431742,-51.8073392,518m/data=!3m2!1e3!4b1!4m2!3m1!1s0x951a76d950db831f:0x3945de7bdb5439b9>>. Acesso em: 27 out. 2015.

KALZ, D.; PFAFFEROTT, J. **Thermal comfort and energy**: efficient cooling of nonresidential buildings. New York: Springer, 2014.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Analysis BIO**. Florianópolis, [2003]. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/antigo/software/analysisBIO.html>>. Acesso em: 27 out. 2015.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2013.

\_\_\_\_\_.; XAVIER, A. A.; GOULART, S.; VECCHI, R. **Conforto e stress térmico**. Santa Catarina, 2014. (Apostila da disciplina ARQ1303 – Universidade Federal de Santa Catarina). Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Apostila%20Conforto%20T%C3%A9rmico%202014.pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2015.

---

<sup>11</sup> No endereço eletrônico indicado clicar em “Memorial Descritivo do Projeto”.

<sup>12</sup> No endereço eletrônico indicado clicar em “Projeto arquitetônico”.

MENDES, V. G. P. **Quantificação do coeficiente de transmissão de vãos envidraçados: modelo de cálculo.** 2011. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2011. Disponível em: < <http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59377/1/000147371.pdf> >. Acesso em: 03 out. 2015.

MUELLER, C. M. **Espaços de ensino-aprendizagem com qualidade ambiental: o processo metodológico para elaboração de um anteprojeto.** 2007. 258 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY FOR THE U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Open Studio Documentation.** Washington, [2015].

ORDENES, M.; PEDRINI, A.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulações no VisualDOE-3.1.** Relatório Interno – Departamento de Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2003.

PAES, R. F. S.; BASTOS, L. E. G. Qualidade ambiental na edificação: o caso das escolas públicas da cidade do Rio de Janeiro. **Conforto & Projeto: Edifícios**, Brasília, v. 12, p. 131-140, 2013. Disponível em: <<http://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/12302/8588>>. Acesso em: 08 jun. 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMAQUÃ. **Planta de implantação:** Escola Municipal de Ensino Infantil Nossa Senhora Aparecida. Camaquã, [2012].

ROAF, S.; CRICHTON, D.; NICOL, F.; **A adaptação de edificações e cidades às mudanças climáticas:** um guia de sobrevivência para o século XXI. 1 ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

ROMÉRO, M. A.; REIS, L. B. **Eficiência energética em edifícios.** 1 ed. São Paulo: Manole, 2012.

SATO, H.; RAMOS, I. M. L. **Física para edificação.** 1 ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.

SILVA, A. S.; SORGATO, M. J.; MAZZAFERRO, L.; MELO, A.P.; GHISI, E. Incerteza do método de simulação para a avaliação do desempenho térmico de habitações. **Ambiente Construído:** edição especial avaliação de desempenho de produtos e sistemas construtivos inovadores, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 103-117, Out./Dez.. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/45289/32573>>. Acesso em: 13 out. 2015.

RORIZ, M. **Camaquã-RS:** epw. São Paulo, 2012a. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw<sup>13</sup>](http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw<sup>13</sup)>. Acesso em: 13 out. 2015.

---

<sup>13</sup> No endereço eletrônico indicado clicar em “Camaquã - RS” e em “EPW”.

\_\_\_\_\_. **Camaquã-RS**: stat. São Paulo, 2012b. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw><sup>14</sup>>. Acesso em: 13 out. 2015.

\_\_\_\_\_. **Arquivos climáticos de municípios brasileiros**. São Paulo, 2012c. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/arquivos\\_climaticos/sobre\\_epw.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/arquivos_climaticos/sobre_epw.pdf)>. Acesso em: 27 out. 2015.

TCU/RS - TRIBUNAL DE CONTAS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.

**Radiografia da educação infantil no Estado do Rio Grande do Sul em 2013**: edição jan/2015. Porto Alegre, 2015. Disponível em:

<[http://www1.tce.rs.gov.br/portal/page/portal/noticias\\_internet/textos\\_diversos\\_pente\\_fino/educacaocapa2015.pdf](http://www1.tce.rs.gov.br/portal/page/portal/noticias_internet/textos_diversos_pente_fino/educacaocapa2015.pdf)>. Acesso em: 17 nov. 2015.

SCHABBACH, L. M.; RAMOS, M. P. Fatores determinantes para implementação do Proinfância no Rio Grande do Sul. In: ENCONTRO ANUAL DA ANPOCS (ST 37), 37., 2013, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ciências Sociais, 2013. Não paginado.

XU, Z.; ETZEL, R.; CUNRUIHUANG, H.; SHILUTONG, Y. Impact of ambient temperature on children's health: a systematic review. **Environmental Research**, v. 117, n. 16, p. 120-131, Ago. 2012. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935112001983>>. Acesso em: 26 out. 2015.

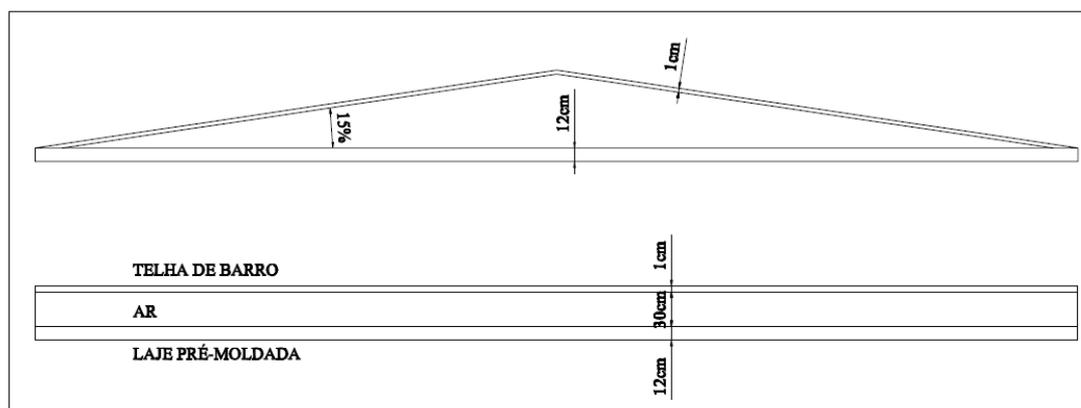
---

<sup>14</sup> No endereço eletrônico indicado clicar em "Camaquã - RS" e em "Stat".

**APÊNDICE A – Memória de cálculo: transmitância térmica do sistema de cobertura**

Telhado inclinado de telhas de barro com forro de concreto com enchimento de bloco cerâmico sem câmara de ar ventilada.

Figura 26 – Detalhe da cobertura



(fonte: elaborada pela autora)

Quadro 14 – Condutividade térmica dos materiais da cobertura

Material	$\lambda$ W/(m.K)
Telha de barro	1,05
Tabela cerâmica	0,9
Concreto	1,75
Argamassa	1,15

(fonte: adaptado de ABNT, 2005)

1) Cálculo da resistência térmica da laje:

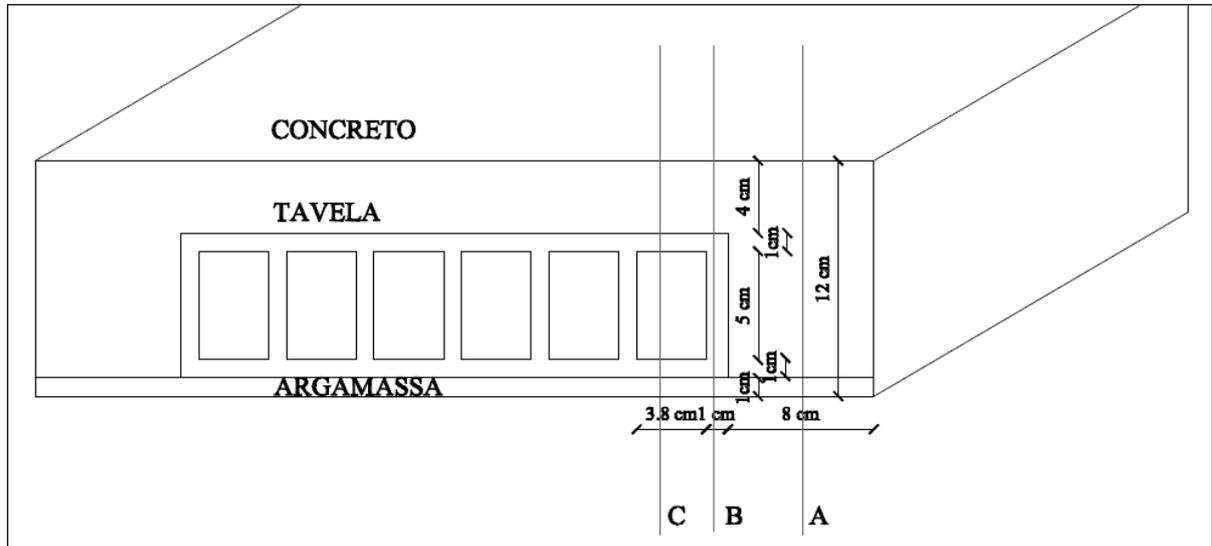
Para efeitos de cálculo foi considerada uma laje pré-moldada de 46 x 60 x 12 cm, utilizando tabelas cerâmicas de dimensões 30 x 60 x 7 cm, conforme a figura 27.

Camada A: concreto + argamassa (8 cm)

Camada B: concreto + cerâmica + argamassa (1 cm)

Camada C: concreto + cerâmica + ar + cerâmica + argamassa (3,8 cm)

Figura 27 – Detalhe da laje pré-moldada



(fonte: elaborada pela autora)

Camada A:

$$A_A = 0,08 \times 0,6 = 0,048 \text{ m}^2$$

$$R_A = \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}} + \frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} = \frac{0,11}{1,75} + \frac{0,01}{1,15} = 0,0715 \frac{(\text{m}^2 \cdot \text{K})}{\text{W}}$$

Camada B:

$$A_B = 0,01 \times 0,6 = 0,006 \text{ m}^2$$

$$R_B = \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + \frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} = \frac{0,04}{1,75} + \frac{0,07}{0,9} + \frac{0,01}{1,15} = 0,1093 \frac{(\text{m}^2 \cdot \text{K})}{\text{W}}$$

Camada C (verão):

$$A_C = 0,038 \times 0,6 = 0,0228 \text{ m}^2$$

$$R_C = \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + R_{ar} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + \frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}}$$

$$= \frac{0,04}{1,75} + \frac{0,01}{0,9} + 0,21 + \frac{0,01}{0,9} + \frac{0,01}{1,15} = 0,2638 \frac{(\text{m}^2 \cdot \text{K})}{\text{W}}$$

$$R_{t1,ver\tilde{a}o} = \frac{2.A_A + 7.A_B + 6.A_C}{\frac{2.A_A}{R_A} + \frac{7.A_B}{R_B} + \frac{6.A_C}{R_C}} = 0,1224 \frac{(m^2.K)}{W}$$

Camada C (inverno):

$$A_C = 0.038 \times 0.6 = 0.0228 m^2$$

$$R_C = \frac{e_{concreto}}{\lambda_{concreto}} + \frac{e_{cer\tilde{a}mica}}{\lambda_{cer\tilde{a}mica}} + R_{ar} + \frac{e_{cer\tilde{a}mica}}{\lambda_{cer\tilde{a}mica}} + \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}}$$

$$= \frac{0,04}{1,75} + \frac{0,01}{0,9} + 0,14 + \frac{0,01}{0,9} + \frac{0,01}{1,15} = 0,1938 \frac{(m^2.K)}{W}$$

$$R_{t1,inverno} = \frac{2.A_A + 7.A_B + 6.A_C}{\frac{2.A_A}{R_A} + \frac{7.A_B}{R_B} + \frac{6.A_C}{R_C}} = 0,1130 \frac{(m^2.K)}{W}$$

2) Cálculo da resistência térmica total:

$$R_{t2,ver\tilde{a}o} = \frac{e_{telha}}{\lambda_{telha}} + R_{ar} + R_{t1,ver\tilde{a}o} = \frac{0,01}{1,05} + 0,21 + 0,1224 = 0,3420 \frac{m^2.K}{W}$$

$$R_{T2,ver\tilde{a}o} = R_{SI} + R_{t2,ver\tilde{a}o} + R_{SE} = 0,17 + 0,3420 + 0,21 = 0,7220 \frac{m^2.K}{W}$$

$$R_{t2,inverno} = \frac{e_{telha}}{\lambda_{telha}} + R_{ar} + R_{t1,inverno} = \frac{0,01}{1,05} + 0,14 + 0,1130 = 0,2625 \frac{m^2.K}{W}$$

$$R_{T2,inverno} = R_{SI} + R_{t2,inverno} + R_{SE} = 0,10 + 0,2625 + 0,04 = 0,4025 \frac{m^2.K}{W}$$

3) Cálculo da transmitância térmica total:

$$U_{ver\tilde{a}o} = \frac{1}{R_{T2,ver\tilde{a}o}} = \frac{1}{0,715} = 1,385 \frac{W}{m^2.K} \leq 2,3 \frac{W}{m^2.K} \text{ (MÍNIMO!)}$$

$$U_{inverno} = \frac{1}{R_{T2,inverno}} = \frac{1}{0,426} = 2,484 \frac{W}{m^2.K} > 2,3 \frac{W}{m^2.K} \text{ (INSUFICIENTE!)}$$

## **ANEXO A – Planta de implantação**

**INSERIR PLANTA**

**ANEXO B – Planta baixa**

**INSERIR PLANTA**

**ANEXO C – Cortes**

**INSERIR PLANTA**

**INSERIR PLANTA**

## **ANEXO D – MAPA DE ESQUADRIAS**

**INSERIR PLANTA**