

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

**Luiz Eduardo Di Braga da Fonseca**

**COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE PRÉ-  
ESCOLAS DO PROGRAMA PROINFÂNCIA NAS  
DIFERENTES ZONAS BIOCLIMÁTICAS BRASILEIRAS:  
ESTUDO DO PROJETO PADRÃO TIPO C E PROJETO  
CONFORME RECOMENDAÇÕES NORMATIVAS DE  
ENVOLTÓRIA**

Porto Alegre  
dezembro 2015

**Luiz Eduardo Di Braga da Fonseca**

**COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE PRÉ-  
ESCOLAS DO PROGRAMA PROINFÂNCIA NAS  
DIFERENTES ZONAS BIOCLIMÁTICAS BRASILEIRAS:  
ESTUDO DO PROJETO PADRÃO TIPO C E PROJETO  
CONFORME RECOMENDAÇÕES NORMATIVAS DE  
ENVOLTÓRIA**

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

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

Porto Alegre  
dezembro 2015

**Luiz Eduardo Di Braga da Fonseca**

**COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE PRÉ-  
ESCOLAS DO PROGRAMA PROINFÂNCIA NAS  
DIFERENTES ZONAS BIOCLIMÁTICAS BRASILEIRAS:  
ESTUDO DO PROJETO PADRÃO TIPO C E PROJETO  
CONFORME RECOMENDAÇÕES NORMATIVAS DE  
ENVOLTÓRIA**

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/a Professor/a Orientador/a e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, outubro de 2015

Prof. Maurício Carvalho Ayres Torres  
Dr. pela Universidad Politécnica de Cataluña  
Orientador

Prof,a Ana Paula Kirchheim  
Dra. pela UFRGS  
Orientadora

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Maurício Carvalho Ayres Torres**  
**(SUSTENTATIVA)**  
Dr. pela Universidad Politécnica de Cataluña

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

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

**Gustavo Longaray Moraga**  
**(UFRGS)**  
Bel. Pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a meus pais, Luiz Alberto da Fonseca e Maria da Graça Braga da Fonseca, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, Luiz Alberto da Fonseca e Maria da Graça Braga da Fonseca pelo amor incondicional, pelos conselhos e por serem sempre meu porto seguro.

Agradeço ao Prof. Mauricio Carvalho Ayres Torres e a Prof. Ana Paula Kirchheim, orientadores deste trabalho, pelo esforço e dedicação muito acima da média desde o primeiro contato.

Agradeço a minha namorada, Mariana Klein, que com seu amor e companheirismo sempre esteve ao meu lado, comemorando minhas vitórias e me ajudando a levantar nas derrotas, fazendo com que eu sempre levantasse mais forte.

Agradeço a colega Victória Milan, pela parceria durante todo o trabalho.

Agradeço a todos colegas de faculdade, em especial ao Keiny Soares Rilho e ao Leonardo Ucha Bianchi, que fizeram com que a travessia pela faculdade fosse menos árdua e feita de momentos inesquecíveis.

“A diferença entre um mestre e um iniciante é que o mestre já falhou mais vezes do que sequer o iniciante tenha tentado.”

*Autor Desconhecido*

## RESUMO

Este trabalho versa sobre a comparação de desempenho térmico entre o Projeto original tipo C, do Programa Proinfância e o projeto com alterações na envoltória seguindo recomendações Normativas vigente para as oito Zonas Bioclimáticas brasileiras. As Normas utilizadas para o estudo foram as NBR 15.575 e 15.220, além do RTQ-C do PBE Edifica. As oito Zonas Bioclimáticas foram definidas conforme expõe a NBR 15.220-3, sendo que para cada zona utilizou-se uma cidade representativa. As cidades escolhidas para cada Zona Bioclimática, da primeira até a oitava, respectivamente foram: Curitiba, Santa Maria, Porto Alegre, Brasília, Niterói, Campo Grande, Teresina e Manaus. Os modelos geométricos foram criados com o Plug-in Open Studio para Sketchup e simulados com o Software Energy Plus, que atende padrões nacionais e internacionais para a simulação de desempenho térmico em edificações. Os critérios utilizados para avaliar os resultados foram os de mínimo, intermediário e superior dos dias típicos de inverno e verão segundo a NBR 15.575 e, também, os Graus-Hora de Aquecimento e Refrigeração para os dias típicos de inverno e verão. Com os resultados da pesquisa, verificou-se que o projeto de Referência obteve pelo menos nível de Desempenho mínimo em todas as zonas bioclimáticas brasileiras tanto no dia típico de verão quanto no dia típico de inverno. Já, o projeto com alterações sugeridas pelas Normativas conseguiu reduzir os Graus-Hora de Desconforto nos ambientes em praticamente todas as zonas, nos dias típicos de inverno e verão. Essa redução nos Graus-Hora de Desconforto chegou à 85% para o caso do dia típico de verão em Brasília.

Palavras-chave: NBR 15.220. NBR 15.575. PBE Edifica. Desempenho Térmico. Proinfância. Tipo C. EnergyPlus. Open Studio. Zonas Bioclimáticas.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de etapas de trabalho.....	21
Figura 2 – Esquema de transferências por radiação .....	25
Figura 3 – Translação da Terra e localização dos trópicos .....	25
Figura 4 – Trocas térmicas em fechamentos opacos.....	31
Figura 5 – Trocas térmicas em fechamentos translúcidos .....	32
Figura 6 – Diagrama de Givoni original .....	32
Figura 7 – Mapa bioclimático brasileiro .....	33
Figura 8 – Mapa zona bioclimática 1 .....	34
Figura 9 – Mapa zona bioclimática 2 .....	34
Figura 10 – Mapa zona bioclimática 3 .....	35
Figura 11 – Mapa zona bioclimática 4 .....	36
Figura 12 – Mapa zona bioclimática 5 .....	36
Figura 13 – Mapa zona bioclimática 6 .....	37
Figura 14 – Mapa zona bioclimática 7 .....	38
Figura 15 – Mapa zona bioclimática 8 .....	38
Figura 16 – Carta bioclimática adaptada para o Brasil .....	39
Figura 17 – Pré-Escola Tipo C .....	43
Figura 18 – Componente original e equivalente .....	43
Figura 19 – Método de escolha dos parâmetros Normativos conflitantes .....	46
Figura 20 – Graus-Hora de Aquecimento para dias típicos de Inverno .....	47
Figura 21 – Graus-Hora de Refrigeração para dias típicos de Verão .....	48

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Taxas metabólicas para algumas atividades .....	26
Quadro 2 – Potência nominal de aparelhos comumente utilizados .....	27
Quadro 3 – Áreas dos ambientes de permanência prolongada .....	27
Quadro 4 – Espessura e propriedades térmicas de componentes equivalente para materiais referidos na NBR 15.220 .....	50
Quadro 5 – Temperaturas mensais do solo para as oito cidades brasileiras estudadas ....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Critérios de desempenho térmico para condições de verão.....	40
Tabela 2 – Critérios de desempenho térmico para condições de inverno.....	41
Tabela 3 – Características Modelo Referência ZB 1 .....	55
Tabela 4 – Características Modelo com Alterações Normativas ZB 1.....	56
Tabela 5 – Resultados dia típico de Inverno ZB 1 .....	57
Tabela 6 – Resultados dia típico de Verão ZB 1.....	57
Tabela 7 – Características Modelo Referência ZB 2 .....	58
Tabela 8 – Características Modelo com Alterações Normativas ZB 2.....	59
Tabela 9 – Resultados dia típico de Inverno ZB 2 .....	60
Tabela 10 – Resultados dia típico de Verão ZB 2 .....	60
Tabela 11 – Características Modelo Referência ZB 3 .....	61
Tabela 12 – Características Modelo com Alterações Normativas ZB 3 .....	62
Tabela 13 – Resultados dia típico de Inverno ZB 3 .....	63
Tabela 14 – Resultados dia típico de Verão ZB 3 .....	64
Tabela 15 – Características Modelo Referência ZB 4 e 6 .....	65
Tabela 16 – Características Modelo com Alterações Normativas ZB 4 e 6 .....	66
Tabela 17 – Resultados dia típico de Inverno ZB 4 .....	67
Tabela 18 – Resultados dia típico de verão ZB 4 .....	67
Tabela 19 – Resultados dia típico de verão ZB 6 .....	68
Tabela 20 – Características Modelo Referência ZB 5 .....	69
Tabela 21 – Características Modelo Referência ZB 5 .....	70
Tabela 22 – Resultados dia típico de Inverno ZB 5 .....	71
Tabela 23 – Resultados dia típico de Verão ZB 5 .....	71
Tabela 24 – Características Modelo Referência ZB 7 .....	73
Tabela 25 – Características Modelo com Alterações Normativas ZB 7 .....	74
Tabela 26 – Resultados dia típico de Verão ZB 7 .....	75
Tabela 27 – Características Modelo Referência 8 .....	76
Tabela 28 – Características Modelo com Alterações Normativas ZB 8 .....	77
Tabela 29 – Resultado dia típico e Verão ZB 8 .....	78
Tabela 30 – Resultados das simulações em Grau-Hora de Aquecimento e Refrigeração para os dias típicos de Inverno e Verão nas oito Zonas Bioclimáticas .....	79

Tabela 31 – Resultado das simulações em Graus-Hora de Desconforto nas oito Zonas Bioclimáticas .....
--

80

## **LISTA DE SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

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

ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

NBR – Norma Brasileira

FNDE – Fundo Nacional de Desenvolvimento e Educação

PBE Edifica – Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações

RTQ-C – Regulamento Técnico da Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços Públicos

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\alpha$  – coeficiente da absorção solar

$\tau$  – transmissividade térmica

$\rho$  – coeficiente de reflexão solar

$\lambda$  – condutividade térmica [W/mK]

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

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

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

$t_e$  – temperatura do ar externo [°C]

$t_i$  – temperatura do ar interno [°C]

$I_g$  – intensidade de radiação solar incidente global [W/m<sup>2</sup>]

$h_e$  – coeficiente de condutância térmica superficial externa [W/m<sup>2</sup>.°K]

$T_{i,máx}$  – 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]

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

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

°C – graus Celsius [°C]

K – Kelvin [K]

$\phi$  – atraso térmico

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>2 DIRETRIZES DA PESQUISA</b> .....	19
2.1 QUESTÃO DA PESQUISA .....	19
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA .....	19
<b>2.2.1 Objetivo Principal</b> .....	19
<b>2.2.2 Objetivos Secundários</b> .....	19
2.3 HIPÓTESES .....	20
2.4 PRESSUPOSTO .....	20
2.5 PREMISSA .....	20
2.6 DELIMITAÇÕES .....	20
2.7 LIMITAÇÕES .....	20
2.8 DELINEAMENTO .....	21
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	23
3.1 TRANSMISSÃO DE CALOR .....	23
<b>3.1.1 Trocas Térmicas</b> .....	23
3.1.1.1 Condução .....	23
3.1.1.2 Convecção .....	24
3.1.1.3 Radiação .....	24
<b>3.1.2 Fontes de Calor Interna da Edificação</b> .....	26
<b>3.1.3 Propriedades Térmicas dos Materiais</b> .....	27
3.1.3.1 Absortividade, emissividade, refletividade e transmissividade .....	27
3.1.3.2 Condutividade, resistência, transmitância e capacidade térmica .....	28
3.1.3.3 Fator Solar Opaco .....	28
<b>3.1.4 Transmissão de Calor em Edificações</b> .....	29
3.2 CONFORTO E DESEMPENHO TÉRMICO .....	31
<b>3.2.1 Zoneamento bioclimático brasileiro</b> .....	32
3.2.1.1 Zona bioclimática 1 .....	33
3.2.1.2 Zona bioclimática 2 .....	34
3.2.1.3 Zona bioclimática 3 .....	35
3.2.1.4 Zona bioclimática 4 .....	35
3.2.1.5 Zona bioclimática 5 .....	36
3.2.1.6 Zona bioclimática 6 .....	37
3.2.1.7 Zona bioclimática 7 .....	37

3.2.1.8 Zona bioclimática 8 .....	38
<b>3.2.2 Desempenho térmico .....</b>	<b>39</b>
<b>3.2.3 PBE Edifica .....</b>	<b>41</b>
<b>3.2.4 Graus-Hora de Aquecimento/Refrigeração .....</b>	<b>41</b>
3 3 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL .....	43
3.3.1 Sketchup .....	44
3.3.2 OpenStudio .....	44
3.3.3. EnergyPlus .....	44
<b>4.0 METODOLOGIA .....</b>	<b>45</b>
4.1 PROJETO DE ESTUDO .....	45
4.2. CARACTERÍSTICAS E METODOLOGIA DA MODELAGEM DA EDIFICAÇÃO .....	46
<b>4.2.1 Materiais e Sistemas Construtivos .....</b>	<b>48</b>
<b>4.2.2 Temperatura do Solo .....</b>	<b>50</b>
<b>4.2.3 Arquivos Climáticos .....</b>	<b>51</b>
<b>4.2.4 Schedules (Padrões de Uso e Operações) .....</b>	<b>51</b>
<b>4.2.5 Parâmetros Utilizados na Análise dos Resultados .....</b>	<b>53</b>
<b>5.0 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>54</b>
5.1 ZONA BIOCLIMÁTICA 1 .....	54
5. 2 ZONA BIOCLIMÁTICA 2 .....	57
5.3 ZONA BIOCLIMÁTICA 3 .....	60
5.4 ZONA BIOCLIMÁTICA 4 E 6 .....	64
5.5 ZONA BIOCLIMÁTICA 5 .....	68
5.6 ZONA BIOCLIMÁTICA 7 .....	72
5.7 ZONA BIOCLIMÁTICA 8 .....	75
5.8 ANÁLISE GLOBAL .....	78
<b>6.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>81</b>
6.1 CONCLUSÕES .....	81
6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	84

REFERÊNCIAS .....	85
ANEXO A .....	87
ANEXO B .....	89
ANEXO C .....	91
APÊNDICE A .....	93
APÊNDICE B .....	95
APÊNDICE C .....	97
APÊNDICE D .....	99
APÊNDICE E .....	101

## 1 INTRODUÇÃO

Visando garantir o acesso de crianças a escolas de educação infantil da rede pública, o governo federal criou o programa Proinfância, em 2007, cujo principal objetivo é prestar assistência financeira aos municípios para criação de novas creches, para crianças de 0 até 6 anos. Estas, podem seguir os modelos de projetos padrão do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) ou ainda serem elaboradas pelo próprio proponente. No caso de seguirem os projetos padrão, estes podem ser do “Tipo B”, “Tipo C”, “Tipo 1” ou “Tipo 2” com capacidade para atender, respectivamente até 240, 120, 188 e 94 crianças. Se forem elaborados pelo próprio proponente, estes não têm limite de capacidade de atendimento e são designados projetos do “Tipo A”. Diversas pré-escolas padrão já foram construídas, e muitas outras ainda serão implantadas nas mais diversas zonas bioclimáticas do País.

A NBR 15.220-1 (ABNT, 2005c) define zonas bioclimatológicas como sendo regiões geográficas homogêneas quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano. Esta mesma Norma propõe que no Brasil existem oito zonas, tendo cada uma delas características e necessidades diferentes. Logo, é compreensível que diferentes estratégias arquitetônicas sejam adotadas, para obtenção de melhores desempenhos térmicos nessas diferentes regiões. Dessa maneira, fica evidente que um projeto padrão pode não ser a estratégia mais adequada para atender as diferentes necessidades dos diversos locais.

Neste contexto, Lamberts et al. ([2014]) afirmam que há um aumento no consumo de ar condicionado nos últimos anos devido, entre outros fatores, a não adequação das edificações à zona climática na qual elas estão situadas. Segundo a Empresa de Pesquisa em Energia (2014), em 2013, as edificações foram responsáveis por 41,1% do consumo de energia elétrica no País.

Em 2013 entrou em vigor no Brasil a Norma de Desempenho em Edificações, a NBR 15.575, que tem como objetivo garantir pelo menos condições de desempenho mínimas nas edificações, em diversas áreas da engenharia como na parte térmica, acústica, lumínica entre outros quesitos. Da mesma forma, como em 2014, começou a ser obrigatório ENCE Geral Nível A em Eficiência Energética do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE Edifica) em prédios

públicos federais com área maior ou igual a 500m<sup>2</sup>. Dessa maneira, este trabalho visa avaliar o desempenho térmico do projeto de pré-escolas padrão do governo federal, o Programa Proinfância, nas diferentes zonas bioclimáticas brasileiras e comparar com projetos dessas pré-escolas caso elas seguissem as diretrizes das Normas: NBR 15.220 - Desempenho Térmico em edificações, NBR 15.57 - Edificações Habitacionais – Desempenho, além do PBE Edifica.

## **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 a variação de desempenho térmico da tipologia C de pré-escolas padrão do programa Proinfância, frente sua configuração padrão e quando se segue os requisitos de desempenho da Norma de Desempenho Térmico em Edificações (NBR 15.220), da Norma de Desempenho em edificações (NBR 15.575) e do PBE Edifica, nas diferentes zonas bioclimáticas brasileiras?

### **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 comparação do desempenho térmico das pré-escolas de tipologia C do programa Proinfância, seguindo o projeto padrão do governo federal e seguindo os requisitos de desempenho das Normas 15.575, 15.220 e do PBE Edifica, para as oito zonas bioclimáticas brasileiras.

#### **2.2.2 Objetivos secundários**

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) a determinação do desempenho térmico da pré-escola de tipologia C do programa Proinfância, seguindo o projeto padrão do governo federal para as oito zonas bioclimáticas brasileiras;
- b) a determinação do desempenho térmico da pré-escola de tipologia C do programa Proinfância, seguindo as recomendações construtivas das Normas 15.220, 15.575 e do PBE Edifica, para as oito zonas bioclimáticas brasileiras;

- c) comparação entre resultados pelas diretrizes da NBR 15.575 e Graus-Hora de aquecimento/resfriamento.

## 2.3 HIPÓTESE

A hipótese do trabalho é que haverá um aumento de desempenho térmico em todas as zonas bioclimáticas, elevando pelo menos um nível de desempenho pela NBR 15.575 e que haverá uma redução de pelo menos 20% de graus hora de aquecimento/resfriamento em todas as zonas bioclimáticas brasileiras, quando seguindo as recomendações Normativas.

## 2.4 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que as cidades pertencentes a uma mesma zona bioclimática, conforme definido pela NBR 15.220-3, apresentam condições climáticas semelhantes, e que as informações contidas nos arquivos climáticos destas cidades trazem dados condizentes com a região.

## 2.5 PREMISSA

O trabalho tem por premissa que a simplificação de um projeto, sendo ele o mesmo para todas as zonas bioclimáticas brasileiras, conduzirá a um menor desempenho térmico e maiores despesas de custo energético ao longo de sua vida útil, pela sua não adequação à região climática na qual se encontra.

## 2.6 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se ao estudo da tipologia C do projeto padrão do programa Proinfância do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação.

## 2.7 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) a edificação foi posicionada conforme o memorial descritivo do projeto recomenda: com o Solário das creches I e II recebendo o sol da manhã;

- b) foi estudado apenas os ambientes de sala de aula;
- c) não foi considerado nenhum elemento de sombreamento no entorno da edificação, como árvores e prédios;
- d) foi seguido instruções de simulação da NBR 15.575;
- e) as limitações de simulação do software EnergyPlus.

## 2.8 DELINEAMENTO

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

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) modelagem da edificação;
- c) simulações computacionais;
- d) análise dos resultados;
- e) conclusões.

Figura 1 – Diagrama de etapas de trabalho



(fonte: elaborado pelo autor)

Primeiramente será realizado uma **pesquisa bibliográfica** visando o embasamento necessário para a realização do trabalho, aprimorando e adquirindo conceitos e técnicas sobre climatologia, desempenho térmico e simulação computacional.

A **modelagem tridimensional** e propriedades dos materiais da edificação será realizada com o Plug-in Open Studio para o SketchUp. A Pré-Escola será modelada conforme projetos e memorial descritivo da mesma, em escala e com a maior proximidade da realidade possível.

As cidades de Curitiba, Santa Maria, Porto Alegre, Brasília, Niterói, Campo Grande, Teresina e Manaus serão as representantes das oito zonas bioclimáticas. Para cada cidade serão realizadas mudanças de elementos construtivos conforme recomendações Normativas.

Com todos os modelos prontos, serão realizadas as **simulações computacionais** com a ferramenta EnergyPlus. Os desempenhos térmicos de cada edificação serão simulados, e a partir dos resultados gerados pelo software, será feita uma **análise dos resultados** e na sequência as **conclusões finais** sobre as variações de desempenho térmico das Pré-Escolas, bem como sugestões para futuros trabalhos.

a

### **3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Neste capítulo será feita a revisão de literatura sobre transmissão de calor, fontes de calor interna das edificações, propriedades térmicas, conforto e desempenho térmico e simulações computacionais.

#### **3.1 TRANSMISSÃO DE CALOR**

A transmissão de calor acontece pelas trocas térmicas, estas trocas ocorrem por condução, convecção e radiação. Além disso, a intensidade e velocidade na qual a transmissão de calor sucede, difere em materiais diferentes, de acordo com suas propriedades térmicas. As trocas de calor, propriedades térmicas mais importantes dos materiais serão abordadas a seguir.

##### **3.1.1 Trocas térmicas**

Segundo Frota e Schiffer (2001) as trocas térmicas ocorrem em duas situações: em função de uma mudança de estado de agregação da água ou quando existe uma diferença de temperatura entre dois corpos. No primeiro caso, no qual a temperatura é constante, as trocas térmicas acontecem devido a mudança de estado físico da água, como por exemplo a evaporação com a passagem da água do estado líquido para o gasoso, estas trocas são denominadas trocas úmidas. E no segundo caso, no qual a temperatura é constante, o corpo mais “quente” perde calor para o corpo menos “quente”, estas trocas são denominadas de trocas secas. Os mecanismos de trocas secas são condução, convecção e radiação e serão abordadas a seguir.

###### **3.1.1.1 Condução**

As trocas térmicas por condução são as causadoras do fluxo térmico no interior dos elementos construtivos, sendo ele um corpo homogêneo ou entre camadas distintas. O “trânsito” de calor varia em função da diferença de temperatura, densidade do material (a matéria é sempre muito mais condutora que o ar contido nos poros), da natureza química do material (materiais amorfos são, geralmente, menos sujeitos a condução do que os cristalinos) e de sua taxa de umidade (água conduz melhor o calor do que o ar) (BARROSO-KRAUSE, 2011).

Em uma edificação, por exemplo, a radiação solar esquentando a parede externa, que sofre um incremento de temperatura. Sendo a parede um sistema que busca o equilíbrio térmico, haverá condução de calor da parte externa da parede para a parte interna, até que o conjunto entre em equilíbrio térmico (BARROSO-KRAUSE, 2011). O tempo transcorrido para a condução de uma variação térmica de um meio para sua superfície oposta denomina-se atraso térmico ( $\phi$ ).

### 3.1.1.2 Convecção

A convecção acontece naturalmente quando há uma diferença de pressão entre dois fluidos ou uma diferença de temperatura entre um sólido e um fluido (BARROSO-KRAUSE, 2011). Quando se trata de uma superfície vertical, a movimentação da massa de ar é responsável pelo início das trocas de calor por convecção e o sentido de deslocamento do ar não interfere. Porém, quando a superfície é horizontal, o sentido do fluxo pode estar coincidente ao sentido do fluxo natural de deslocamento do ar ou não. Quando ele está no sentido contrário, ou seja, com fluxo descendente, o ar natural age como uma barreira a sua trajetória, dificultando assim a convecção. (FROTA E SCHIFFER, 2001).

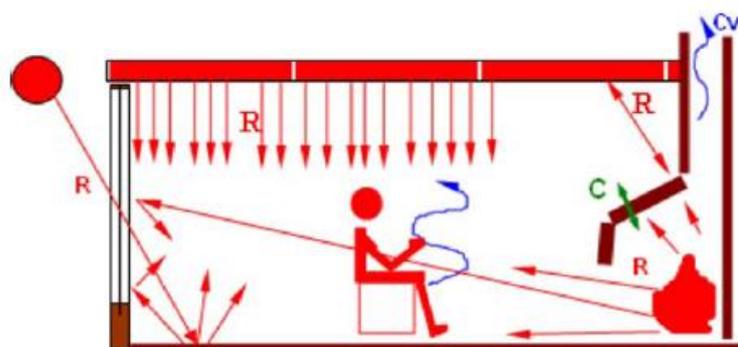
### 3.1.1.3 Radiação

A radiação solar é a principal fonte de energia do planeta, tanto como fonte de calor como de luz (LAMBERTS, [2014]). Frota e Schiffer (2001, p.33) afirmam que a “radiação é o mecanismo de troca de calor entre dois corpos, que guardam entre si uma distância qualquer, através de sua capacidade de emitir e absorver energia térmica. ”. Essa energia, por ser de origem eletromagnética, não necessita de um meio para propagação, ocorrendo até mesmo no vácuo. Barroso-Krause (2011) ressalta que a radiação não esquentando o ar diretamente, por se tratar de uma onda eletromagnética ela primeiramente deve ser absorvida por um corpo sólido, para então, por convecção aquecer o ar. Esse fenômeno pode ser observado na Figura 3. Dessa forma o ar é aquecido indiretamente por convecção. Além da ação da radiação ser independente da temperatura do ar, esta ocorre até mesmo em ambientes refrigerados. Frota e Schiffer (2001) ainda complementam que o sol incidindo sobre o edifício, vai representar, em maior ou menor escala, um ganho térmico que será função da intensidade da radiação incidente e dos materiais utilizados no prédio.

A capacidade de um elemento absorver a radiação solar varia de um material construtivo para outro. Alguns materiais como vidro são capazes de deixar a radiação solar atravessá-los,

permitindo que este alcance o interior, retendo o calor no ambiente (BARROSO-KRAUSE, 2011). Vale ressaltar que as ondas eletromagnéticas da radiação solar são ondas curtas, que se subdividem em visíveis, infravermelho e ultravioleta, as quais transportam grande energia, já a radiação irradiada dos corpos aquecidos, são ondas longas, ou seja, ondas com grande comprimento de ondas e que transportam menos energia. Vidros são materiais que são transparentes a ondas curtas e opacos a ondas longas. (LAMBERTS et al., [2014])

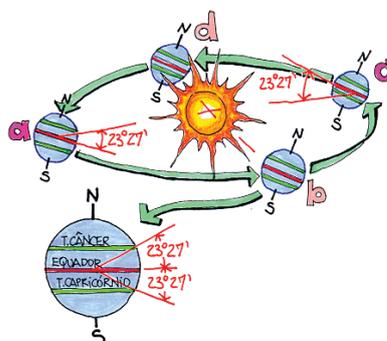
Figura 2 – Esquema de transferências por radiação



(fonte: BARROSO-KRAUSE, 2011)

O planeta Terra, em seu movimento de translação, gira em torno de um plano inclinado de  $23^{\circ} 27'$  em relação ao plano do equador, como mostra a figura 10. Essa inclinação é responsável pela radiação solar ao longo do ano ser diferente nos dois hemisférios, caracterizando as estações pelos solstícios de inverno e verão e pelos equinócios de primavera e outono. luz (LAMBERTS, [2014]) A figura 3 mostra as trajetórias do sol para região dos trópicos, nos solstícios e equinócios.

Figura 3 – Translação da Terra e localização dos trópicos



(fonte: LAMBERTS et al., [2014])

### 3.1.2. Fontes de Calor Interna da Edificação

Frota e Schiffer (2001) afirmam que as cargas térmicas no interior de um edifício podem ser advindas de pessoas, iluminação ou equipamentos. No caso do calor dissipado pelo corpo humano, a quantidade de calor liberado para o ambiente é essencialmente dependente da atividade exercida. O Quadro 01 mostra alguns valores de energia dissipada em função da atividade realizada pelo indivíduo.

Quadro 1 – Taxas metabólicas para algumas atividades

Atividade	Nível de Atividade W/Pessoa	Nível de Atividade W/m <sup>2</sup>	met [1 met = 58.1W/m <sup>2</sup> ]
<i>Descansando</i>			
Dormindo	72	40	0.7
Sentado (Quieto)	108	60	1
De Pé (relaxando)	126	70	1.2
<i>Atividades de Escritório</i>			
Lendo (sentado)	99	55	1
Escrevendo	108	60	1
Digitando	117	65	1.1
Arquivando (sentado)	126	70	1.2
Arquivando (de pé)	144	80	1.4
Caminhando	180	100	1.7
Empacotando	216	120	2.1

(fonte: ENERGYPLUS, 2013)

A conversão de energia elétrica em luz gera calor. Esse calor é dissipado por radiação, condução e convecção para o ar. Dependendo do tipo de lâmpada, a porcentagem da potência elétrica convertida em luz varia. Por exemplo uma lâmpada incandescente converte apenas 10% de sua potência em luz. Todavia, como a luz também se transforma em calor depois de absorvida pelos materiais, utiliza-se como parâmetro de cálculo de carga térmica 100% da potência elétrica para lâmpadas incandescentes e 125% no caso de fluorescentes, pois neste caso os reatores contribuem com aproximadamente 25% da potência nominal da lâmpada sob forma de calor para o ambiente (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Frota e Schiffer (2001) indicam que para equipamentos, igualmente como na iluminação, o calor dissipado depende da potência do aparelho, com a diferença para parâmetros de cálculo de carga térmica, neste caso, adota-se 60% da potência nominal do aparelho, devido ao rendimento do motor, salvo se estes forem equipamentos com função de aquecer, como os

aquecedores. O Quadro 2 fornece alguns dados relativos à potência de equipamentos normalmente utilizados.

Quadro 2 – Potência nominal de aparelhos comumente utilizados

<b>Aparelhos</b>	<b>Potência [W]</b>
Aquecedor Elétrico (tipo residencial)	1000 a 1500
Aquecedor Elétrico (tipo comercial)	2000 a 6000
Ar Condicionado Portátil (1 HP)	1200
Ar Condicionado Portátil (2 HP)	2400
Aspirador de Pó	250 a 800
Barbeador	8 a 12
Cafeteira	500 a 2000
Chuveiro Elétrico	1500 a 4000
Exaustor	200 a 500
Ferro Elétrico	400 a 850
Ferro elétrico à vapor	660 a 1200
Fogão Elétrico	4000 a 6000
Geladeiras Comerciais (1/2 HP a 1 HP)	450 a 1000
Geladeiras Domésticas	150 a 300
Irradiador de Calor	500 a 1000
Lavadora de Pratos	600 a 1000
Lavadora de Roupas	600 a 800
Liquidificador	120 a 250
Máquina de Costura	60 a 90
Rádio	40 a 150
Secador de Cabelos	350 a 1200
Secadora de Roupas	4000 a 5000
Televisão	200 a 400
Torradeira	500 a 1200
Ventilador Portátil	50 a 200

(fonte: FROTA; SCHIFFER, 2001)

### 3.1.3 Propriedades Térmicas dos Materiais

As propriedades térmicas, mais importantes, dos materiais são: absorvidade, emissividade, refletividade, transmissividade, condutividade térmica, resistência térmica, e transmitância térmica. E serão conceituadas a seguir.

#### 3.1.3.1 Absorvidade, emissividade, refletividade, transmissividade

“Os elementos construtivos podem ter desempenhos diferentes em relação à radiação térmica incidente...” dependendo do valor de suas propriedades ópticas de refletividade ( $\rho$ ), absorvidade ( $\alpha$ ) e transmissividade ( $\tau$ ) à radiação solar. Parte da radiação incidente será

refletida, outra absorvida, e se for um material transparente, terá também, uma parcela transmitida diretamente para o interior. O somatório dessas parcelas resulta em 100% da radiação térmica incidente (LAMBERTS et al., [2014], p.208).

Os materiais de construção civil absorvem de forma diferente à radiação solar e a sua cor superficial é a característica prevalecte para sua determinação. Materiais escuros terão uma parcela de absorção muito maior do que materiais de cores claras. O corpo ao absorver a radiação térmica irá aquecer e parte dessa radiação será emitida ao ambiente externo e parte emitida para o ambiente interno. A emissividade ( $\epsilon$ ) é a propriedade física, da camada superficial do material emissor, que diz a quantidade de energia térmica que é emitida para o interior (LAMBERTS et al. [2014]).

### 3.1.3.2 Condutividade, resistência e transmitância e capacidade térmica

Lamberts et al. ([2014]) definem a condutividade térmica ( $\lambda$ ) como a capacidade de um material conduzir maior ou menor quantidade de calor por unidade de tempo, essa propriedade depende da densidade do material. Conforme a densidade diminui, reduz sua condutividade térmica.

A resistência térmica (RT) é a propriedade em resistir à passagem do calor, e é o quociente da espessura do material pela condutividade térmica. Ela pode ser calculada tanto em série, para diversas camadas de materiais homogêneos, ou em paralelo, caso em alguma camada exista um material heterogêneo (LAMBERTS et al., [2014]).

Já a transmitância térmica (U), que é a variável mais importante para avaliação do desempenho de fechamentos opacos, é definida pela NBR 15.220-1 (ABNT, 2005c, p. 2) como sendo “O inverso da resistência térmica.”

A capacidade térmica (CT) de um material indica a capacidade que o mesmo tem em reter calor. Quando maior a capacidade térmica de um material, maior a quantidade de calor necessária para variar um grau de temperatura de seus componentes por unidade de área (LAMBERTS et al., [2014]).

### 3.1.3.3 Fator Solar Opaco

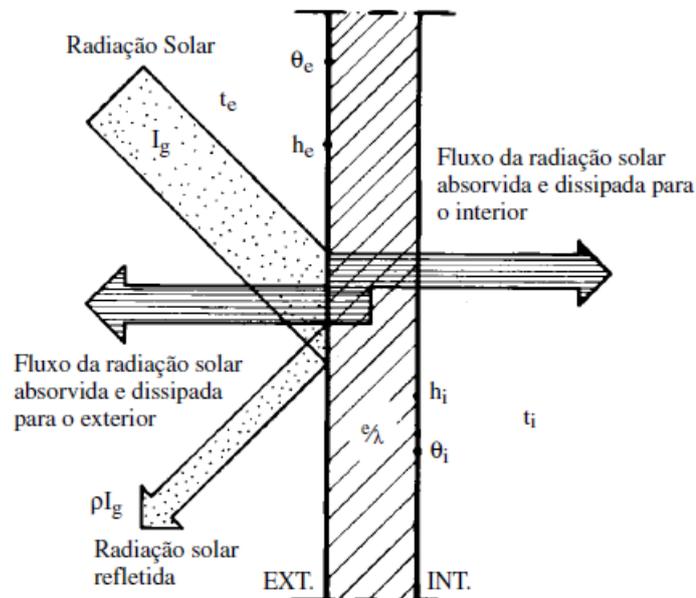
O Fator Solar de elementos opacos (FS<sub>o</sub>) pode ser definido, segundo a NBR 15.220-1 (ABNT, 2005b). como o “quociente da taxa de radiação solar transmitida através de um componente opaco pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo.” O Fator

Solar de elementos opacos também pode ser chamado de fator de ganho de calor de elementos opacos e seu valor é diretamente proporcional a absorvância e transmitância do material.

### 3.1.4 TRANSMISSÃO DE CALOR EM EDIFICAÇÕES

Os materiais e os elementos construtivos se comportam termicamente em função de suas propriedades térmicas. Em um fechamento opaco a transmissão de calor acontece quando há uma diferença de temperatura entre as superfícies externa e interna da edificação, ocorrendo fluxo de calor conforme a figura 4 (LAMBERTS et al., [2014]).

Figura 4 – Trocas térmicas em fechamentos opacos



(fonte: FROTA; SCHIFFER, 2001)

Frota e Schiffer (2001) quantificam a intensidade de fluxo de calor térmico ( $q$ ) que atravessa um fechamento opaco, por efeito da radiação solar incidente e a diferença de temperatura do ar, como sendo:

$$q = \frac{U \cdot \alpha \cdot I_g}{h_e} + U(t_e - t_i) \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

U – coeficiente global de transmissão térmica [W/m<sup>2</sup>.°C]

t<sub>e</sub> – temperatura do ar externo [°C]

α – coeficiente da absorção solar

I<sub>g</sub> – intensidade de radiação solar incidente global [W/m<sup>2</sup>]

h<sub>e</sub> – coeficiente de condutância térmica superficial externa [W/m<sup>2</sup>.°C]

t<sub>i</sub> – temperatura do ar interno [°C]

As principais trocas térmicas em uma edificação acontecem nos fechamentos transparentes, nestes ocorrem três tipos de trocas básicas, conforme a figura 5, sendo o processo de condução e convecção semelhantes aos dos fechamentos opacos, tornando-se a radiação o principal fator neste processo devido a sua parcela diretamente transmitida para o interior, que depende da transmissividade (τ) do vidro. “O principal problema, nos períodos quentes, é controlar as parcelas transmitidas diretamente e às absorvidas e reemitidas para o interior pelos fechamentos translúcidos” (LAMBERTS et al., [2014], p.198).

Assim como para os fechamentos opacos, Frota e Schiffer (2001) quantificam a intensidade de fluxo de calor térmico (q) que atravessa os fechamentos translúcidos ou transparentes, sendo este determinado por:

$$q = \frac{U \cdot \alpha \cdot I_g}{h_e} + \tau \cdot I_g + U(t_e - t_i) \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

U – coeficiente global de transmissão térmica [W/m<sup>2</sup>.°C]

t<sub>e</sub> – temperatura do ar externo [°C]

α – coeficiente da absorção solar

I<sub>g</sub> – intensidade de radiação solar incidente global [W/m<sup>2</sup>]

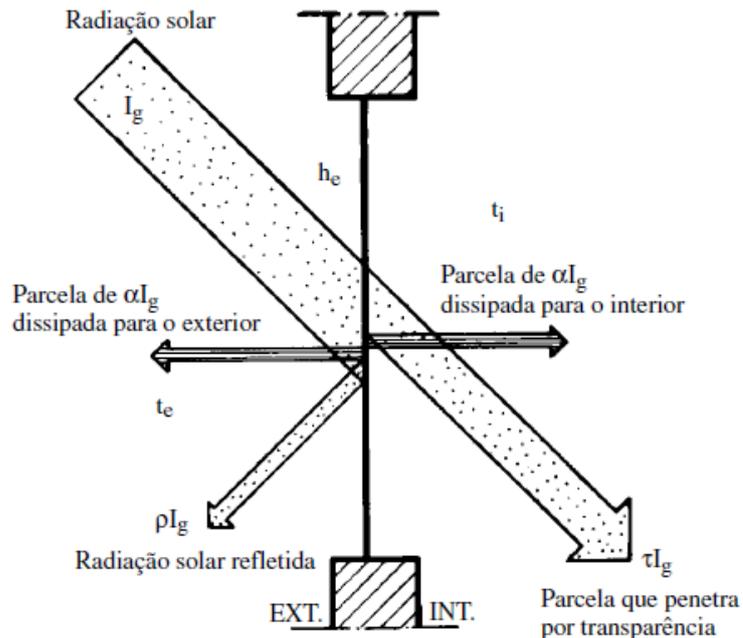
h<sub>e</sub> – coeficiente de condutância térmica superficial externa [W/m<sup>2</sup>.°C]

t<sub>i</sub> – temperatura do ar interno [°C]

τ – transmissividade do vidro

A parcela  $U(t_e-t_i)$ , tanto da equação de fechamentos transparentes quanto as de opaco, se referem às trocas de calor por diferença de temperatura, representando um ganho interno do ambiente quando  $t_e > t_i$  e uma perda, quando  $t_i > t_e$

Figura 5 – Trocas térmicas em fechamentos transparentes



(fonte: FROTA; SCHIFFER, 2001)

### 3.2 CONFORTO E DESEMPENHO TÉRMICO

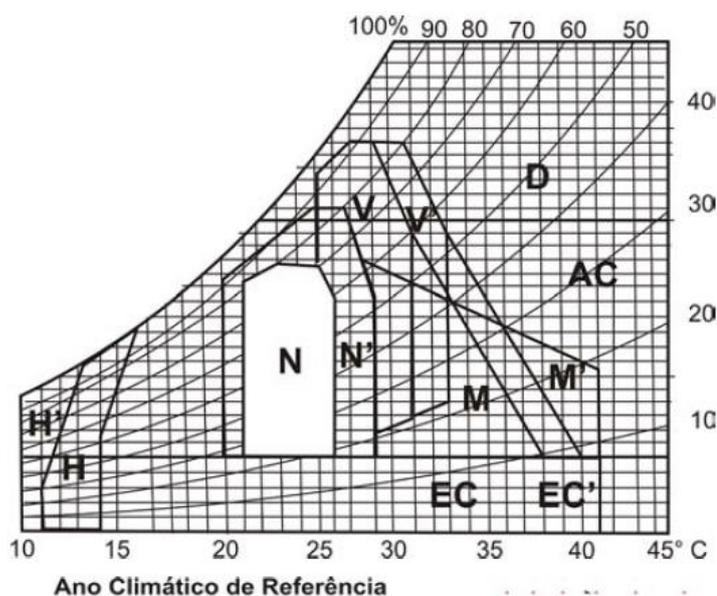
A temperatura corporal do ser humano é mantida a uma temperatura praticamente constante, de 37°C. Devido as diferentes condições termo-higrotérmicas, o corpo humano para conseguir manter esta temperatura constante necessita de mecanismos que façam com que haja reduções dos ganhos, ou aumento das perdas de calor no corpo. O aparelho responsável por estes mecanismos é o aparelho termorregulador. Por demandar um gasto de energia extra, a termorregulação representa uma diminuição da capacidade de trabalho (FROTA; SCHIFFER, 2001). Lamberts et al. ([2014]) citam alguns mecanismos termorreguladores como, a vasoconstrição, arrepio, aumento do metabolismo - para evitar perdas térmicas - e a vasodilatação, suor e a redução do metabolismo para a diminuição da temperatura corporal. De

acordo com a *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*<sup>1</sup> (ASHRAE) (2005 apud LAMBERTS et al. [2014], p. 46),

Conforto Térmico é um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa. Se o balanço de todas as trocas de calor a que está submetido o corpo for nulo e a temperatura da pele e suor estiverem dentro de certos limites, pode-se dizer que o homem sente conforto térmico.

Givoni (1992) explica que a variação do clima externo e a experiência de uso dos habitantes, ou seja, sua aclimatação ao meio, são as principais variáveis para a determinação do conforto térmico interno em edificações. Em sua carta psicrométrica, o autor apresenta os limites de zona de conforto para inverno e verão em função da temperatura de bulbo seco e umidade do ar, conforme figura 6.

Figura 6 – Diagrama de Givoni original



(fonte: BARROSO-KRAUSE, 2011)

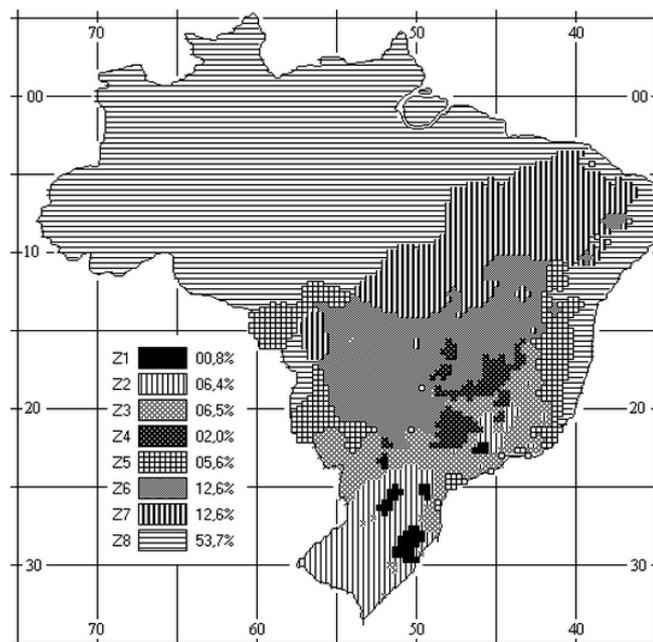
### 3.2.1 Zoneamento bioclimático brasileiro

O território brasileiro foi dividido em oito zonas bioclimáticas homogêneas quanto ao clima, como mostra a figura 7. Essas divisões foram feitas, pela NBR 15.220-3, baseadas nas médias mensais de temperaturas máximas e mínimas e umidades relativa do ar para 6500 células

<sup>1</sup> AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING, **Handbook of Fundamentals**, New York, 2005.

espalhadas pelo país, sendo que para 330 delas contou-se com dados de Normais Climatológicas de 30 anos de observação. (ABNT, 2005d).

Figura 7 – mapa bioclimático brasileiro



(fonte: ABNT, 2005b)

### 3.2.1.1 Zona bioclimática 1

Com região geográfica predominantemente na parte sul país, como mostra a figura 8, pertencem à zona bioclimática 1 cidades como Curitiba-PR, Caxias do Sul-RS e São Joaquim-SC. A NBR 15.220 recomenda que haja um aquecimento solar da edificação como estratégias de condicionamento passivo dos ambientes, bem como uso de vedações internas pesadas para a obtenção de uma maior inércia térmica. (ABNT, 2005d)

Figura 8 – mapa zona bioclimática 1



(fonte: ABNT, 2005b)

### 3.2.1.2 Zona bioclimática 2

Com região geográfica predominantemente na parte sul do país, como mostra a figura 9, pertencem à zona bioclimática 2 cidades como Rio Negro - PR, Santa Maria - RS e Laguna - SC. A NBR 15.220 recomenda que haja um aquecimento solar da edificação como estratégia de condicionamento passivo dos ambientes, assim como o uso de vedações internas pesadas, além de indicar ventilação cruzada no verão. (ABNT, 2005d)

Figura 9 – mapa zona bioclimática 2

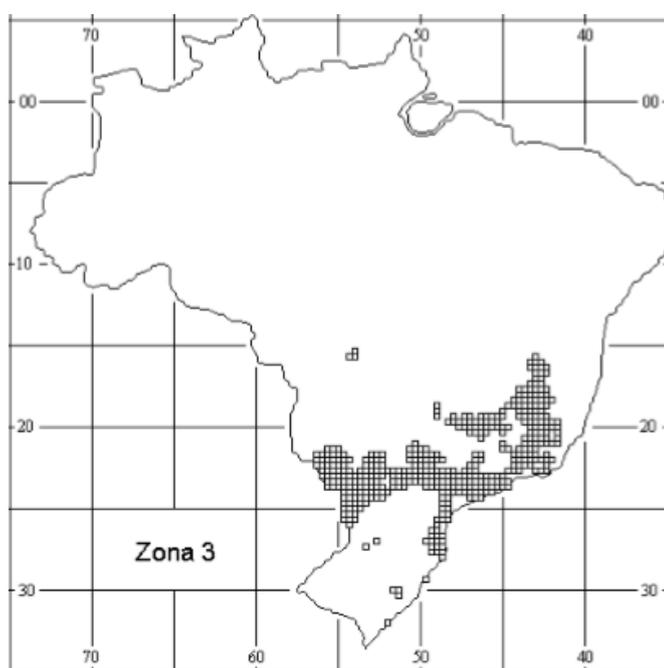


(fonte: ABNT, 2005b)

### 3.2.1.3 Zona bioclimática 3

Com região geográfica predominantemente na parte sul e sudeste do país, como mostra a figura 10, pertencem a zona bioclimática 3 cidades como Londrina - PR, Porto Alegre - RS e Petrópolis - RJ. A NBR 15.220 recomenda estratégias de condicionamento passivo dos ambientes, indicando o aquecimento solar da edificação, bem como vedações internas pesadas, e o uso da ventilação cruzada no verão. (ABNT, 2005d)

Figura 10 – mapa zona bioclimática 3

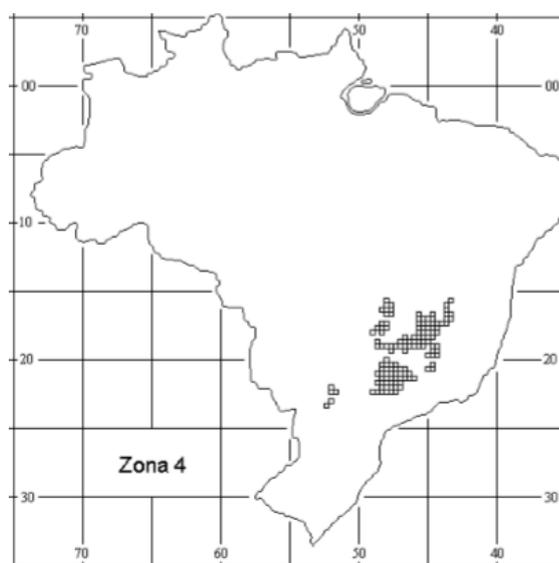


(fonte: ABNT, 2005b)

### 3.2.1.4 Zona bioclimática 4

Com região geográfica predominantemente na parte sudeste do país, como mostra a figura 11, pertencem a zona bioclimática 4 cidades como Brasília - DF, Ribeirão Preto - SP e Patos de Minas - MG. A NBR 15.220 recomenda estratégias de condicionamento passivo dos ambientes, fazendo uso de aquecimento solar da edificação, bem como vedações internas pesadas. Também indicam resfriamento evaporativo de maneira seletiva, ou seja, apenas quando a temperatura interna for maior que a externa. Além disso, aconselham o uso da massa térmica para resfriamento passivo. (ABNT, 2005d)

Figura 11 – mapa zona bioclimática 4



(fonte: ABNT, 2005b)

### 3.2.1.5 Zona bioclimática 5

Com região geográfica distribuída nas zonas centro-oeste, sudeste e nordeste do país, como mostra a figura 12, pertencem a zona bioclimática 5 cidades como Niterói - RJ, Morro do Chapéu - BA e Governador Valadares - MG. A NBR 15.220 recomenda que as vedações internas sejam pesadas e que no verão haja ventilação cruzada como estratégias de condicionamento passivo dos ambientes. (ABNT, 2005d)

Figura 12 – mapa zona bioclimática 5



(fonte: ABNT, 2005b)

### 3.2.1.6 Zona bioclimática 6

Com região geográfica distribuída nas zonas centro-oeste, sudeste e nordeste do país, como mostra a figura 13, pertencem a zona bioclimática 6 cidades como Campo Grande - MS, Goiania - GO e Triunfo - PE. A NBR 15.220 recomenda que as vedações internas sejam pesadas e que no verão haja resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento. Também indica a ventilação seletiva, ou seja, apenas quando a temperatura interna for maior que a externa como estratégias de condicionamento passivo dos ambientes. (ABNT, 2005d)

Figura 13 – mapa zona bioclimática 6

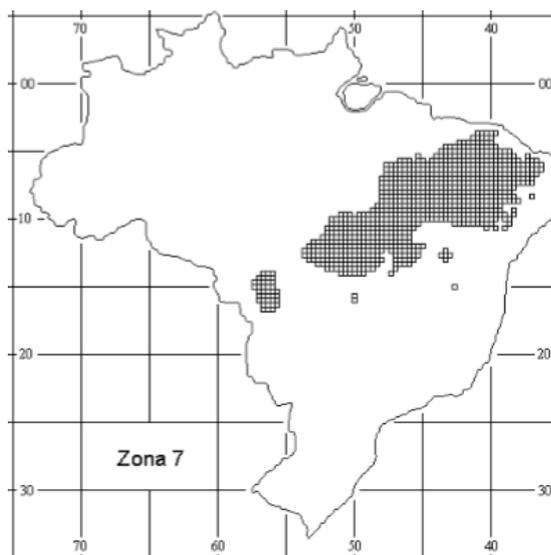


(fonte: ABNT, 2005b)

### 3.2.1.7 Zona bioclimática 7

Com região geográfica distribuída nas zonas centro-oeste, norte e nordeste do país, como mostra a figura 14, pertencem a zona bioclimática 7 cidades como Teresina - PI, Remanso – BA e Cuiabá - MT. A NBR 15.220 recomenda que haja resfriamento evaporativo e uso de massa térmica para resfriamento, bem como ventilação seletiva, ou seja, apenas quando a temperatura interna for maior que a externa. (ABNT, 2005d)

Figura 14 – mapa zona bioclimática 7

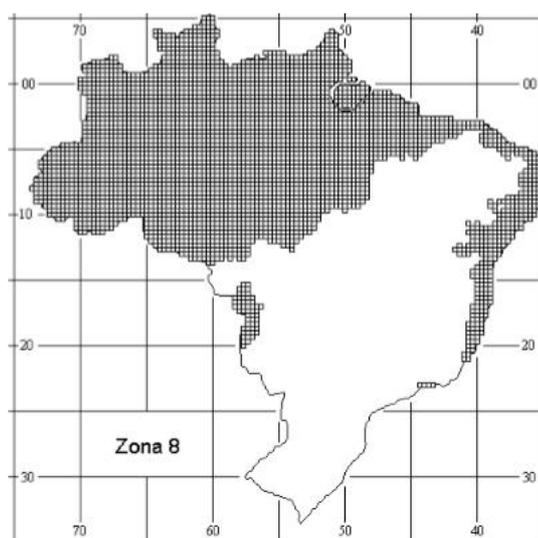


(fonte: ABNT, 2005b)

### 3.2.1.8 Zona bioclimática 8

Com região geográfica predominante no Norte do país, mas também distribuída nas zonas centro-oeste nordeste, como mostra a figura 15, pertencem a zona bioclimática 8 cidades como Manaus - AM, Fortaleza – CE e Belém – PA. A NBR 15.220 recomenda que para esta região haja ventilação cruzada permanente como estratégia de condicionamento passivo dos ambientes. (ABNT, 2005d)

Figura 15 – mapa zona bioclimática 8



(fonte: ABNT, 2005b)

### 3.2.2 Desempenho Térmico

A partir destes dados, a NBR 15.220 adotou uma carta psicrométrica, adaptada de Givoni (1992), conforme figura 16, e recomendou estratégias construtivas para a melhoria do desempenho térmico das edificações de acordo com o zoneamento bioclimático, no qual a construção se encontra (ABNT, 2005c).

Figura 16 – carta bioclimática adaptada para o Brasil



(fonte: LAMBERTS et al., [2014])

Analisando estas cartas, Lamberts et al. ([2014], p. 86) percebem que “[...] o organismo humano pode estar em conforto mesmo em diversos limites de umidade relativa (entre 20 e 80%) e de temperatura (18 e 29°C), em países em desenvolvimento [...]”. Barroso-Krause (2011, p. 80) ressalta que o “[...] diagrama foi estabelecido considerando pessoas já aclimatadas, em situação de repouso ou em atividades mais ou menos sedentárias, vestidas com roupas leves [...]”, ou seja, se essas condições não forem satisfeitas, a extensão da zona de conforto se modifica.

Um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições térmicas e lumínicas que outro com menor consumo de energia. (LAMBERTS et al., [2014]). Barroso-Krause (2011) caracteriza a arquitetura do século XX pela exagerada importância à tecnologia, e a dependência de controles mecânicos para a satisfação de nossas exigências de conforto, em detrimento de uma exploração dos fenômenos naturais para bem satisfazer as mesmas.

Na tentativa de diminuir esses exageros, entraram em vigor às Normativas de desempenho e eficiência energética como a NBR 15.220: Desempenho Térmico de Edificações em 2005, a NBR 15.575: Edificações Habitacionais – Desempenho, em 2013 e a PBE Edifica em 2014. Segundo a NBR 15.575 (ABNT, 2013a) as normas de desempenho buscam atender as exigências dos usuários, no que se refere a edificação, trazendo requisitos e critérios considerados complementares às normas prescritivas, sem substituí-las. Havendo conflitos ou divergências entre as normas prescritivas e as de desempenho, deve-se atender todos os critérios de todas as normas.

As Normas brasileiras de desempenho propõem limites mínimos de desempenho para paredes, conforme tabelas dos Anexos A, B e C. A NBR 15.575, ainda, estipula níveis de desempenho (mínimo, intermediário e superior) para edificações, conforme a diferença de temperaturas externa e interna, em dias típicos de inverno e verão, conforme tabelas 1 e 2. Sendo que a NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a, p. xi) define dia típico de verão como “[...] um dia real, caracterizado pelas seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar incidente em superfície horizontal para o dia mais quente do ano segundo a média do período dos últimos dez anos. ”, e define dia típico de inverno como “[...] um dia real, caracterizado pelas seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar incidente em superfície horizontal para o dia mais frio do ano segundo a média do período dos últimos dez anos. ”.

Tabela 1 – Critérios de desempenho térmico para condições de verão

Níveis de Desempenho	Critérios de verão	
	Zonas de 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,máx} \leq T_{e,máx}$	$T_{i,máx} \leq T_{e,máx}$
I	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} - 2^{\circ}\text{C})$	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} - 1^{\circ}\text{C})$
S	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} - 4^{\circ}\text{C})$	$T_{i,máx} \leq (T_{e,máx} - 2^{\circ}\text{C})$
Ti,máx é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius		
Te,máx é o valor máximo diário da temperatura do ar no exterior da edificação, em graus Celsius		
NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15.220-3.		

(fonte: ABNT. 2013a, p. 62)

Tabela 2 – Critérios de desempenho térmico para condições de inverno

Níveis de Desempenho	Critérios de inverno	
	Zonas de 1 a 5	Zonas 6, 7 e 8
M	$T_{i,min} \leq (T_{e,min} + 3^{\circ}\text{C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser avaliado.
I	$T_{i,min} \leq (T_{e,min} + 5^{\circ}\text{C})$	
S	$T_{i,min} \leq (T_{e,min} + 7^{\circ}\text{C})$	
Ti,min é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius		
Te,min é o valor mínimo diário da temperatura do ar no exterior da edificação, em graus Celsius		
NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15.220-3.		

(fonte: ABNT. 2013a, p. 62)

Vale ressaltar que as normas estipulam estes níveis obrigatórios apenas para unidades habitacionais, não havendo uma norma específica para escolas. Porém, o Ministério da Educação desenvolveu um caderno com diretrizes técnicas para estabelecimentos de ensino públicos que utiliza como referência esta Norma. Contudo para as atividades desenvolvidas em salas de aula, este caderno técnico pondera que, o desempenho exigido no dia típico de verão deva satisfazer os critérios de nível Intermediário. Para o dia típico de inverno permanecem iguais aos da NBR 15.575. (FNDE, 2012)

### 3.2.3 PBE Edifica

Em junho de 2014 foi publicado no Diário Oficial a Instrução Normativa que tornou obrigatória o uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) do Programa Nacional de Etiquetagem (PBE) nos projetos e construções públicas federais, cuja área seja superior a 500m<sup>2</sup>. Sendo que o nível de desempenho exigido para estas edificações é o de ENCE nível “A”. (BOLETIM INFORMATIVO DO CBCS, 2014)

Com o objetivo de criar condições para etiquetagem do nível de eficiência energética o Regulamento Técnico da Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços Públicos (RTQ-C) apresenta a metodologia de avaliação da conformidade para obtenção do selo. A avaliação da edificação é dividida em 3 sistemas: envoltória, iluminação e sistema de ar condicionado. (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, [2013]).

Para obtenção da ENCE nível A no sistema de envoltória, a edificação deve atender a algumas pré-requisitos de Transmitância e absorvância térmicas nas paredes externas e coberturas, conforme mostra o Anexo C. (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, [2013]). Além destes, no caso de haver na edificação aberturas zenitais o PBE Edifica estipula, para determinados intervalos de Porcentagem de Aberturas Zenitais (PAZ) o Fator Solar máximo exigido.

### 3.2.4 Graus-Hora de Aquecimento/Refrigeração

“O parâmetro “graus-hora” é determinado como a somatória da diferença da temperatura horária, quando esta se encontra superior a temperatura de base, no caso de resfriamento; ou inferior a temperatura de base, para graus-hora de aquecimento” (SORGATTO, M. J., 2009). Os graus hora de refrigeração e aquecimento podem ser calculados conforme equações 3 e 4, respectivamente.

$${}^{\circ}\text{Ch}_{\text{Refrigeração}} = \sum_{h=1}^n (T_h - 26^{\circ}\text{C}) \quad (\text{equação 3})$$

$${}^{\circ}\text{Ch}_{\text{Aquecimento}} = \sum_{h=1}^n (18^{\circ}\text{C} - T_h) \quad (\text{equação 4})$$

Onde:

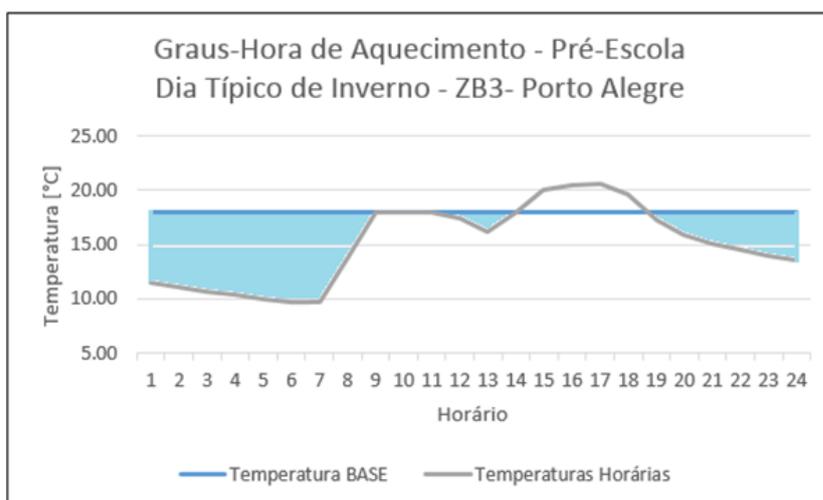
${}^{\circ}\text{Ch}_{\text{Refrigeração}}$  – graus-hora de Refrigeração;

${}^{\circ}\text{Ch}_{\text{Aquecimento}}$  – graus-hora de Aquecimento;

$T_h$  – Temperatura horária [ $^{\circ}\text{C}$ ]

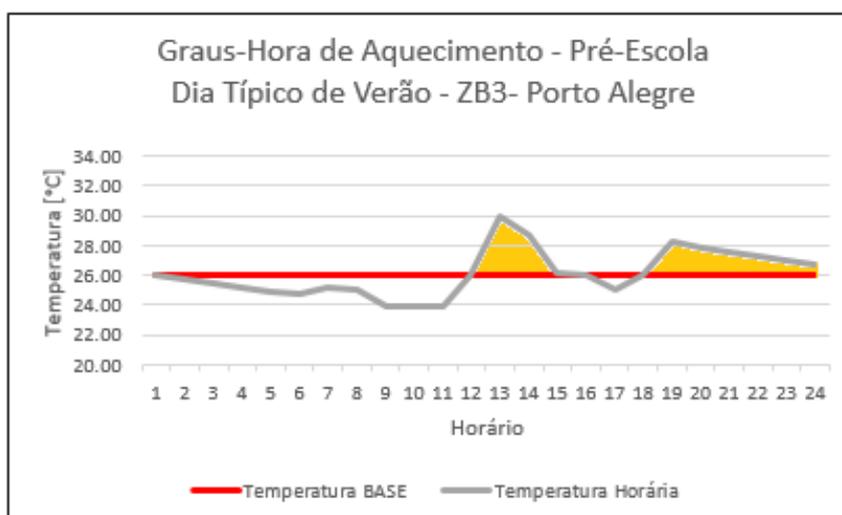
Os valores de graus-hora de refrigeração e aquecimento são integrados ao longo do dia típico de verão e inverno. Uma demonstração desse parâmetro é apresentada nas Figura 17 e 18, onde a área pintada em laranja acima da linha de temperatura de  $26^{\circ}\text{C}$ , representa a quantidade de graus-hora de resfriamento no dia típico de verão, enquanto que a área pintada em azul, abaixo da linha de temperatura de  $18^{\circ}\text{C}$ , representa a quantidade de graus-hora de aquecimento no dia típico de inverno.

Figura 17 – Graus Hora de Aquecimento para dias Típicos de Inverno



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 18 – Hora de Refrigeração para dias Típicos de Verão



(fonte: elaborado pelo autor)

### 3.3 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Avaliar o desempenho energético de edificações envolve grande quantidade de variáveis interdependentes e conceitos multidisciplinares, o que torna a avaliação uma tarefa muito complexa (MENDES et al., 2005). Segundo Cabús (2005) o uso da simulação computacional em pesquisas no ambiente construído tem se difundido nas últimas décadas, devido ao avanço da tecnologia dos computadores, cada vez mais potentes e com melhores recursos gráficos.

Componentes construtivos, sistemas de iluminação, desempenhos térmicos, podem ser avaliados em diferentes cenários e diferentes alternativas com o uso de simulação computacional, tornando os projetos mais eficientes (MENDES et al., 2005). Alguns dos softwares mais utilizados na atualidade para modelagem 3D e estudo de eficiência energética em edificações serão brevemente apresentados.

### **3.3.1 SketchUp**

O *SketchUp* é um software de modelagem 3D de intuitiva utilização. O programa pode ser personalizado com *plug-ins* onde pode-se importar e exportar dados de acordo com as necessidades de cada usuário, e não o bastante, o software permite ser programado em *Ruby Script*, onde o usuário consegue automatizar tarefas rotineiras e complexas (SKETCHUP, 2015).

### **3.3.2 OpenStudio**

O Open Studio é um *plug-in* desenvolvido para ser utilizado com o programa *SketchUp* com objetivo de facilitar a modelagem de superfícies e zonas para simulações energéticas no EnergyPlus e na criação de mapas de iluminação no Radiance. É um software de licença gratuita desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (OPENSTUDIO, 2015).

### **3.3.3 EnergyPlus**

O EnergyPlus é um software completo para simulações de energia em edificações, também criado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos. O software permite criar modelos de aquecimento, arrefecimento, iluminação, ventilação e fluxos de água, ou seja, é um programa que permite uma solução integrada de várias disciplinas diferentes (U.S DEPARTMENT OF ENERGY, 2015). A NBR 15.575 (ABNT, 2013a), recomenda o EnergyPlus para simulações computacionais de desempenho térmico em edificações.

## 4.0 METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentado o projeto de estudo e suas características, além das metodologias utilizadas para modelagem da edificação.

### 4.1 PROJETO DE ESTUDO

O Projeto em estudo é o de Pré-Escolas padrão do Tipo C, do programa Proinfância do governo federal brasileiro. Esse projeto está sendo implementado em todo o Brasil e beneficiando crianças com idade de 0 a 6 anos. As creches além de contarem com áreas de vivência como pátio, refeitório e espaço multiuso informática adequados para a faixa etária das crianças, conta com 4 salas de aula com capacidade para atender 15 alunos cada, podendo atender até 120 crianças quando o funcionamento acontecer em 2 turnos, ou então, 60 alunos com aulas em turno integral.

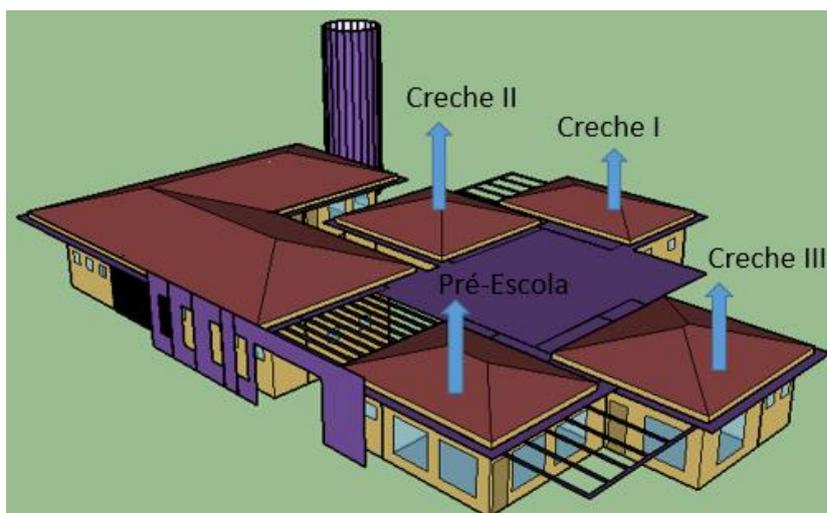
As salas de aula são divididas em: creche I, creche II, creche III e Pré-Escola, conforme mostra a figura 19. Por serem estes os ambientes de permanência prolongada, estas serão as zonas térmicas estudadas neste trabalho.

Quadro 3 – Áreas dos ambientes de permanência prolongada

Ambiente	Área [m <sup>2</sup> ]
Creche I	49,00
Creche II	33,86
Creche III	30,98
Pré-Escola	33,86

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 19 – Pré-Escola Padrão Tipo C



(fonte: elaborado pelo autor)

## 4.2 CARACTERÍSTICAS E METODOLOGIA DA MODELAGEM DA EDIFICAÇÃO

A modelagem da creche foi feita no plug-in Open Studio V.11 e seguiu as diretrizes do memorial descritivo obtido diretamente do site do Fundo Nacional de Desenvolvimento e Educação, de forma a se aproximar o máximo possível do projeto real, tanto para os materiais utilizados quanto para a locação da orientação do prédio no terreno. As simulações foram realizadas com o software EnergyPlus, versão 8.0.

Para cada zona bioclimática foi escolhido uma cidade representante. Tentou-se escolher primeiramente capitais estaduais como representantes, na falta de uma capital em determinada zona bioclimática, adotou-se uma cidade com população superior a 200 mil habitantes, como foi o caso de Santa Maria, e Niterói que possuem aproximadamente 245 e 485 mil habitantes respectivamente. Este critério foi utilizado com intuito de escolher cidades mais relevantes desde o ponto de vista de impacto do presente trabalho.

Para cada modelo, foi feita uma análise da Transmitância Térmica ( $U$ ), Atraso Térmico ( $\phi$ ), Fator Solar de elementos Opacos (FS<sub>o</sub>), Absortância ( $\alpha$ ) de paredes e coberturas, além da Capacidade Térmica ( $C\tau$ ) e Área de Abertura para Ventilação ( $A$ ) das paredes e da existência de sombreamento nas aberturas. Assim foi possível verificar se as mesmas propriedades atendiam às condições mínimas recomendadas pelas NBR 15.220, NBR 15.575 e para obter-se ENCE Nível A no PBE Edifica. Nos casos em que houve conflitos normativos entre algumas

exigências estudadas, adotou-se sempre o critério mais rigoroso, no intuito de atender a todas as normas, como mostra a figura 20. E nos critérios em que o modelo de referência não atendia as exigências, foram feitas alterações no intuito de sua adequação as propostas Normativas. Nos apêndices A e B encontram-se todas as soluções para os conflitos normativos e a tabela completa com os critérios adotados no trabalho, respectivamente.

Figura 20 – Método de escolha dos parâmetros Normativos conflitantes

Zona Bioclimática	NBR 15.575-4	NBR 15.220-3	PBE Edifica	ADOTADO
	Transmitância Térmica (U) em paredes [W/m <sup>2</sup> .K]	Transmitância Térmica (U) em paredes [W/m <sup>2</sup> .K]	Transmitância Térmica (U) em paredes [W/m <sup>2</sup> .K]	
1	$U \leq 2,5$	$U \leq 3,0$	$U \leq 1,0$	$U \leq 1,0$
2	$U \leq 2,5$	$U \leq 3,0$	$U \leq 1,0$	$U \leq 1,0$
3	* $U \leq 3,7$	$U \leq 3,6$	$U \leq 3,7$	$U \leq 3,6$
4	* $U \leq 3,7$	$U \leq 2,2$	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,2$
5	* $U \leq 3,7$	$U \leq 3,6$	$U \leq 3,7$	$U \leq 3,7$
6	* $U \leq 3,7$	$U \leq 2,2$	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,2$
7	* $U \leq 3,7$	$U \leq 2,2$	** $U \leq 3,7$	$U \leq 2,2$
8	* $U \leq 3,7$	$U \leq 3,6$	** $U \leq 3,7$	$U \leq 3,6$

\*Valores para  $\alpha = 0,2$

\*\*Valores para  $C_T > 80 \text{ kJ/m}^2.\text{K}$

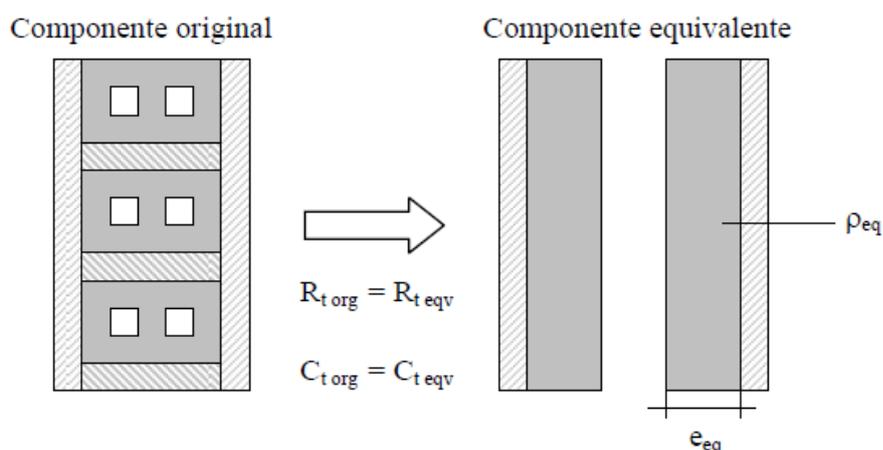
(fonte: elaborado pelo autor)

Para cada zona bioclimática modelou-se uma edificação com as características do projeto original, o projeto Referência, e um modelo com alterações Normativas, no qual foram alteradas coberturas, paredes, áreas de abertura e sombreamento conforme necessário para se enquadrar nas especificações Normativas. Também foram modelados vidros duplos 6+5+6mm para todas as zonas bioclimáticas brasileiras, como alternativa aos vidros simples 6mm, mesmo que as normas não especifiquem nada a respeito dos fechamentos translúcidos, estes são responsáveis por grandes perdas e ganhos de calor nas edificações, dependendo também da proporção entre área de opaca e área translúcida. No projeto de referência a proporção entre fechamentos translúcidos e opacos chegou a 57% da área efetiva em uma das salas de aula estudada.

#### 4.2.1 Materiais e Sistemas Construtivos

As propriedades térmicas dos materiais foram caracterizadas conforme valores indicados pela NBR 15.220-2, com exceção dos blocos cerâmicos, os quais a Norma sugere valores iguais de densidade, condutividade e capacidade térmica para blocos cerâmicos distintos (tijolos maciços, tijolo 6 furos, bloco cerâmico 2 furos, entre muitos outros). Nesses casos, para garantir que o sistema de parede apresente Resistências e Capacidades Térmicas com valores exatamente iguais aos exemplos apresentados nos Anexos da NBR 15.220, utilizou-se um componente equivalente, conforme figura 21.

Figura 21 – Componente original e equivalente



(fonte: Ordenes M., 2003)

Ordenes et al. (2003) destaca que o componente equivalente é formado por uma camada de revestimento exatamente igual à do componente original mais uma camada interna de um componente com uma espessura e densidade equivalentes ao do material utilizado mais um espaço de ar de 3cm e novamente mais uma camada de componentes equivalente e revestimento. Essa espessura equivalente é determinada segundo a equações 6.

$$R_t = 2 \cdot \frac{e_r}{\lambda_r} + 2 \cdot \frac{e_{eq}}{\lambda_c} + R_{ar} \left[ \frac{m^2 \cdot K}{W} \right] \quad (\text{equação 5})$$

E isolando a incógnita  $e_{eq}$ , temos:

$$e_{eq} = \frac{\left( R_t - R_{ar} - 2 \cdot \frac{e_r}{\lambda_r} \right) \cdot \lambda_c}{2} \quad [m] \quad (\text{equação 6})$$

Onde:

$R_t$  – resistência térmica da superfície à superfície [ $m^2.K/W$ ]

$R_{ar}$  – resistência da câmara de ar equivalente [ $m^2.K/W$ ]

$e_r$  – espessura do emboço [m]

$e_{eq}$  – espessura equivalente [m]

$\lambda_r$  – condutividade térmica do emboço [ $W/m.K$ ]

$\lambda_c$  – condutividade térmica da cerâmica [ $W/m.K$ ]

Já para a densidade equivalente é determinada pela equação 8.

$$C_T = 2 \cdot e_r \cdot c_r \cdot \rho_r + 2 \cdot e_{eq} \cdot c_c \cdot \rho_{eq} \left[ \frac{kJ}{m^2 \cdot K} \right] \quad (\text{equação 7})$$

E isolando-se a incógnita  $\rho_{eq}$ , temos:

$$\rho_{eq} = \frac{(C_T - 2 \cdot e_r \cdot c_r \cdot \rho_r)}{2 \cdot e_{eq} \cdot c_c} \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \quad (\text{equação 8})$$

Onde:

$C_T$  – resistência térmica da superfície à superfície [ $m^2.K/W$ ]

$e_r$  – espessura do emboço [m]

$e_{eq}$  – espessura equivalente [m]

$\rho_r$  – densidade de massa aparente do emboço [ $W/m.K$ ]

$\rho_{eq}$  – densidade de massa aparente equivalente [ $W/m.K$ ]

O Quadro 4, mostra as densidades e espessuras equivalentes para todos os exemplos que a NBR 15.220 sugere.

Quadro 4 – Espessura e propriedades térmicas de componentes equivalente para materiais referidos na NBR 15.220

Nome do material	Espessura equivalente (cm)	Condutividade térmica (W/mK)	Densidade equivalente (kg/m <sup>3</sup> )	Calor específico (kJ/kg K)	Resistência térmica (m <sup>2</sup> K/W)
Argamassa de Emboço (2,5 cm)	2,5	1,15	2000	1,00	0,022
Câmara de ar (2 - 5 cm)	-	-	-	-	0,160
Concreto maciço (5 cm)	5,0	1,75	2400	1,00	0,029
Ceram Tijolo Maciço Aparente (10 cm)	9,0	0,90	1800	0,92	0,100
Concreto maciço (10 cm)	10,0	1,75	2400	1,00	0,057
Ceram Tij 6 fur quad (9 cm)	1,4	0,90	2290	0,92	0,016
Ceram Tij 8 fur quad (9 cm)	1,4	0,90	2252	0,92	0,016
Ceram Tij 8 fur circ (10 cm)	3,3	0,90	1103	0,92	0,037
Ceram Tij 6 fur circ (10 cm)	3,0	0,90	1232	0,92	0,033
Ceram Tij 4 fur circ (9,5 cm)	1,3	0,90	3595	0,92	0,014
Ceram Bloc 3 fur quad (13 cm)	1,7	0,90	2941	0,92	0,019
Tijolo Maciço (10 cm)	9,6	0,90	1764	0,92	0,106
Ceram Bloc 2 fur quad (14 cm)	1,5	0,90	3732	0,92	0,017
Ceram Tij 2 fur circ (12,5 cm)	1,7	0,90	3836	0,92	0,019
Ceram Tij 6 fur quad (14 cm)	5,5	0,90	909	0,92	0,061
Ceram Tij 21 fur circ (12 cm)	2,7	0,90	2556	0,92	0,030
Ceram Tij 6 fur circ (15 cm)	6,6	0,90	840	0,92	0,073
Ceram Tij 8 fur quad (19 cm)	8,2	0,90	868	0,92	0,091
Ceram Tij 8 fur circ (20 cm)	11,1	0,90	646	0,92	0,123
Ceram Tij Duplo 6 fur circ (10 cm)	12,8	0,90	628	0,92	0,142
Tijolo Maciço Duplo (10 cm)	19,8	0,90	1812	0,92	0,220
Tijolo Maciço (22 cm)	20,7	0,90	1812	0,92	0,230
Ceram Tij Duplo 21 fur circ (12 cm)	12,3	0,90	1184	0,92	0,137
Ceram Tij Duplo 6 fur circ (15 cm)	20,3	0,90	568	0,92	0,226
Ceram Tij Duplo 8 fur quad (19 cm)	23,4	0,90	613	0,92	0,260
Ceram Tij Duplo 8 fur circ (20 cm)	29,1	0,90	500	0,92	0,323

(fonte: Ordenes M. et al., 2003)

#### 4.2.2 Temperatura do Solo

As temperaturas do solo no decorrer do ano foram atribuídas a partir do arquivo climático de cada cidade. No trabalho foram utilizadas as temperaturas do solo à uma profundidade de 0,5m. Como as características térmicas do solo são muito complexas e variáveis de acordo com o local, na modelagem utilizou-se como densidade, condutividade térmica e coeficiente térmico para o solo as propriedades *default* do programa para um tijolo cerâmico, por se aproximarem dos da terra<sup>2</sup>. O Quadro 5 apresenta as temperaturas do solo para os doze meses do ano para as 8 cidades estudadas. A espessura do solo utilizada foi de 0,38m que é a espessura que somada

<sup>2</sup> Explicação oral de aula. Disciplina 03075 – Análise de Energia em Edificações. Ministrada pelo Prof. Dr. Paulo Beyer na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

a espessura do piso, 0,12m obtém-se a profundidade na qual sabe-se a temperatura do solo com 0,5m.

Quadro 5 – Temperaturas mensais do solo para as oito cidades brasileiras estudadas

Mês/Zona	Zona 1 PR Curitiba	Zona 2 RS Santa Maria	Zona 3 RS Porto Alegre	Zona 4 DF Brasília	Zona 5 RJ Niterói	Zona 6 MS Campo Grande	Zona 7 PI Teresina	Zona 8 AM Manaus
Janeiro	20.56°C	23.78°C	22.71°C	22.41°C	22.20°C	25.91°C	28.96°C	28.33°C
Fevereiro	19.94°C	24.17°C	24.27°C	22.16°C	23.49°C	25.43°C	28.72°C	28.42°C
Março	18.73°C	23.29°C	24.65°C	21.67°C	24.30°C	24.51°C	28.24°C	28.22°C
Abril	17.60°C	21.96°C	24.23°C	21.21°C	24.56°C	23.64°C	27.80°C	27.93°C
Mai	15.46°C	18.56°C	22.00°C	20.34°C	24.13°C	22.00°C	26.96°C	27.18°C
Junho	14.34°C	15.97°C	19.56°C	19.89°C	23.10°C	21.15°C	26.52°C	26.61°C
Julho	14.05°C	14.27°C	17.30°C	19.77°C	21.79°C	20.92°C	26.41°C	26.23°C
Agosto	14.63°C	13.80°C	15.69°C	20.01°C	20.49°C	21.37°C	26.64°C	26.13°C
Setembro	15.96°C	14.78°C	15.27°C	20.55°C	19.59°C	22.39°C	27.16°C	26.35°C
Outubro	17.61°C	16.85°C	16.11°C	21.22°C	19.36°C	23.65°C	27.81°C	26.80°C
Novembro	19.23°C	19.57°C	18.02°C	21.87°C	19.83°C	24.89°C	28.44°C	27.40°C
Dezembro	20.29°C	22.50°C	20.39°C	22.30°C	20.85°C	25.70°C	28.86°C	27.95°C

(fonte: Roriz, M. 2012)

#### 4.2.3 Arquivos Climáticos

Os arquivos climáticos foram obtidos do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Os arquivos apresentam uma média da compilação de dados horários, registrados em estações climatológicas do INMET entre os anos de 2000 e 2010. A partir destes arquivos foi possível determinar os dias típicos de inverno e verão, estes sendo o dia com a menor e a maior temperatura de bulbo seco, respectivamente. Esta determinação está de acordo com a metodologia apresentada na NBR 15.575.

#### 4.2.4 Schedules (Padrões de Uso e Operação)

*Schedule* é uma ferramenta que permite descrever o comportamento de algum sistema, máquina, população ou qualquer elemento da edificação que se queira controlar durante um determinado período. Um prédio é utilizado de formas diferentes durante o dia, assim como seu uso não é igual para dias de semana, finais de semana e feriados. Logo, para uma análise mais precisa, o EnergyPlus consegue representar padrões de uso e operação da edificação e seus sistemas, tais como o período de utilização do sistema de iluminação, equipamentos e até

mesmo o número de pessoas que estão utilizando cada ambiente, através das *Schedules*. Além disto, pode-se atribuir *Schedules* para elementos de Sombreamento, fazendo com que, ao invés de bloquear a totalidade da luz que nele incide, uma porcentagem consiga atravessá-lo.

As *Schedules* de ocupação, iluminação e utilização de equipamentos foram montadas a partir do horário das aulas na pré-escola, que se iniciam às 7:30 e terminam às 11:30 no período da manhã, e se iniciam às 13:30 e se encerram as 17:30, pela tarde. Como o trabalho avalia apenas as salas de aula, no período entre aulas (11:30 às 13:30) estas *Schedules* foram zeradas.

Para as cidades onde a recomendação normativa é de sombrear as aberturas foi utilizado o sombreamento mínimo sugerido pela NBR 15.575. O valor mínimo de sombreamento foi atribuído pois um maior sombreamento requereria um estudo sobre a diminuição da iluminação das salas de aula, estudo este que vai além dos objetivos deste trabalho. Para realizar este sombreamento foram modelados elementos de sombra em frente às aberturas, nos quais foi atribuído uma *Schedule* do tipo fração para a qual se definiu o valor de 50% - metade da radiação solar incidente é barrada pelo elemento de sombra.

Apesar de a NBR 15.575 não prever a utilização de cargas térmicas de pessoas, iluminação e equipamentos para as simulações dos dias típicos para o ambiente residencial, no presente trabalho optou-se por utilizá-las. Isso porque, ao contrário de uma residência onde estas cargas são muito pequenas ou utilizadas durante poucas horas, uma escola apresenta uma carga térmica interna significativa e desprezá-la poderia acarretar em uma diferença de resultados relevante. Para cada sala de aula foi atribuída uma ocupação de 16 pessoas (15 alunos mais um professor), com uma *Schedule* de Atividades no valor de 180W/pessoa (equivalente a uma pessoa caminhando). Para iluminação foi atribuída uma carga de 9,42 Watts/m<sup>2</sup>, que representa a potência de todas as lâmpadas, acrescido de 25% da carga do reator, por se tratarem de lâmpadas fluorescentes, dividida pela área das salas de aula. O único equipamento presente nas salas de aula é um ventilador com potência estimada em 200W. Para carga térmica foi utilizado o valor de 60% da potência nominal do ventilador, 120W devido à perda pelo rendimento do motor.

Para quantificar as infiltrações de ar pela envoltória, foi utilizado o valor estipulado pela NBR 15.575 de 1 renovação de ar por hora. A Norma ainda permite que, caso as condições mínimas de desempenho não sejam alcançadas com este valor de infiltração de ar é permitido aumentá-lo para 5 renovações por hora.

#### **4.2.5 Parâmetros Utilizados na Análise dos Resultados**

Os resultados das simulações para desempenho térmico da edificação foram analisados segundo dois parâmetros: níveis de desempenho conforme NBR 15.575-1 e o somatório de graus-hora de aquecimento/resfriamento. Os parâmetros para identificação do nível de desempenho da edificação nos dias típicos de inverno e verão foram apresentados nas tabelas 3 e 4 do capítulo 4.

As temperaturas de base utilizadas neste trabalho, para avaliação dos graus-hora de desconforto foram de 18°C e 26°C. Estes limites foram obtidos segundo a carta psicométrica de Givoni adaptada para o Brasil, no qual uma pessoa pode estar em conforto térmico (dependendo de outras variáveis como umidade relativa do ar, temperatura de bulbo úmido e razão de umidade) neste intervalo de temperatura.

## 5.0 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

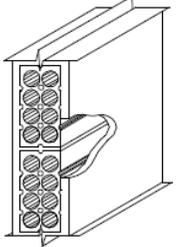
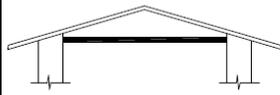
Neste capítulo será analisado e discutido os modelos Referência e com Alterações Normativas, bem como suas adequações ou não às exigências e recomendações das normas vigentes.

### 5.1 ZONA BIOCLIMÁTICA 1

Para a ZB 1, houveram cinco inadequações do modelo Referência em relação às recomendações Normativas, como mostra a tabela 3. Na Pré-Escola e creches II e III as áreas de abertura para ventilação em relação ao piso estavam 15% acima do máximo recomendado pela NBR 15.220. Esta mesma Norma indica sombrear as janelas no período de verão, o que não acontece no modelo Referência. Além disso, o sistema de cobertura apresentou outras não conformidades: a transmitância térmica de  $3,7\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ; que estava acima do máximo recomendado de  $1,00\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ , o atraso térmico de 5,5 horas, que excedeu o máximo recomendado de 3,3 horas, e o Fator Solar Opaco de 11,59%, que também ficou acima dos 6,5% proposto pela referida normativa.

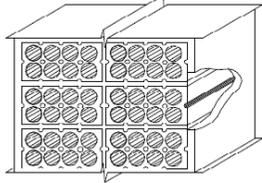
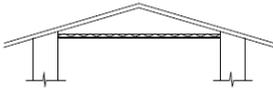
Foram feitas algumas sugestões de soluções, conforme tabela 4, para a adequação do Projeto de Referência às recomendações Normativas na ZB 1. O forro foi alterado de 8cm de concreto mais 2,5cm de argamassa de revestimento para 1cm de madeira mais 2,5cm de lã de vidro, diminuindo assim a transmitância, o atraso térmico e o fator solar opaco do sistema, podendo ser considerado um sistema de cobertura “leve”. As esquadrias de dimensões 180x160cm da Pré-Escola e creches II e III foram alteradas por esquadrias de mesmo modelo, mas de dimensões 150x130cm, diminuindo assim a porcentagem de área de abertura para ventilação para dentro dos limites normativos, além de ser colocado um elemento de sombreamento externo, móvel, para permitir o sombreamento no verão e radiação solar máxima no inverno. Para corrigir o problema da Transmitância Térmica das paredes, adotou-se o sistema de parede dupla. Essa solução resultou em um atraso térmico de 10,6 horas que foi superior ao máximo de 4,3 horas, recomendado pela bibliografia. Foi mantida essa decisão, mesmo que o atraso térmico da parede não estivesse satisfazendo às exigências Normativa, pois na biblioteca da NBR 15.220-3 não existe material que satisfaça os dois casos. Vale salientar que apesar de termos que utilizar o dobro do material para construirmos esta parede, além de diminuir o espaço interno, esta é a única solução de sistema de paredes, apresentado pela biblioteca da NBR 15.220-3, com uma transmitância térmica menor do que  $1,0\text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$

Tabela 3 – Características Modelo Referência ZB 1

<b>Zona 1 - Curitiba</b>		<b>MODELO REFERÊNCIA</b>			
Sombreamento das Aberturas		Sombreamento?	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?	
		Não há sombreamento	Sombrear Apenas no Verão	<b>NÃO</b>	
Área de Abertura para Ventilação (em % da área de piso)	Creche I: 15,4%		$15\% < A < 25\%$	<b>SIM</b>	
	Creche II: 30,6%		$15\% < A < 25\%$	<b>NÃO</b>	
	Creche III: 27,5%		$15\% < A < 25\%$	<b>NÃO</b>	
	Pré-Escola: 30,4%		$15\% < A < 25\%$	<b>NÃO</b>	
Paredes		Tijolo 8 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensão do Tijolo: 10x20x20cm Espessura da Argamassa de Assentamento: 2,5cm Espessura total da parede: 15cm		Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		$U = 2.28W/(m^2.K)$		$U \leq 1,0$	<b>NÃO</b>
		$\phi = 3.7$ Horas		$\phi \leq 4,3$	<b>SIM</b>
		$F_{so} = 1.82\%$		$F_{so} \leq 5,0$	<b>SIM</b>
		$CT = 167kJ/(m^2.K)$		$CT \geq 130$	<b>SIM</b>
$\alpha = 0,2$		sem exigências	<b>SIM</b>		
Cobertura		Telhas de barro com forro em laje de concreto e argamassa Espessura da telha de barro: 1cm Espessura da laje de concreto: 8cm Espessura da argamassa do forro: 2,5cm		Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		$U = 3.74W/(m^2.K)$		$U \leq 1,0$	<b>NÃO</b>
		$\phi = 5.5$ Horas		$\phi \leq 3,3$	<b>NÃO</b>
		$F_{so} = 11.59\%$		$F_{so} \leq 6,5$	<b>NÃO</b>
		$\alpha = 0,75$		sem exigências	<b>SIM</b>

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 4 – Características Modelo com Alterações Normativas ZB 1

<b>Zona 1 - Curitiba</b>		<b>MODELO COM ALTERAÇÕES NORMATIVAS</b>		
Sombreamento das Aberturas		Sombreamento?	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		Apenas no Verão	Sombrear apenas no Verão	<b>SIM</b>
Área de Abertura para Ventilação (em % da área de piso)		Creche I: 15,4%	$15\% < A < 25\%$	<b>SIM</b>
		Creche II: 21,9%	$15\% < A < 25\%$	<b>SIM</b>
		Creche III: 20,4%	$15\% < A < 25\%$	<b>SIM</b>
		Pré-Escola: 21,8%	$15\% < A < 25\%$	<b>SIM</b>
Paredes	 <p>(fonte: ABNT, 2005d)</p>	Tijolo 8 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensão do Tijolo: 10x20x20cm Espessura da Argamassa de Assentamento: 1,0cm Espessura da Argamassa de Emboço: 2,5cm Espessura total da parede: 46cm	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		$U = 0.98W/(m^2.K)$	$U \leq 1,0$	<b>SIM</b>
		$\phi = 10.8\text{Horas}$	$\phi \leq 4,3$	<b>NÃO</b>
		$F_{so} = 0.78\%$	$F_{so} \leq 5,0$	<b>SIM</b>
		$C_T = 368kJ/(m^2.K)$	$C_T \geq 130$	<b>SIM</b>
		$\alpha = 0,2$	sem exigências	<b>SIM</b>
Cobertura	 <p>(fonte: ABNT, 2005d)</p>	Telhas de barro com forro de madeira e lã de vidro Espessura da telha de barro: 1cm Espessura da lã de vidro: 2,5cm Espessura do forro de madeira: 1cm	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		$U = 0.95W/(m^2.K)$	$U \leq 1,0$	<b>SIM</b>
		$\phi = 2.3\text{Horas}$	$\phi \leq 3,3$	<b>SIM</b>
		$F_{so} = 2.95\%$	$F_{so} \leq 6,5$	<b>SIM</b>
		$\alpha = 0,75$	sem exigências	<b>SIM</b>

(fonte: elaborado pelo autor)

A tabela 5 mostra que, no dia típico de inverno, para ZB 1, o Modelo Referência já atingia nível de desempenho Superior, permanecendo assim no modelo com sugestões Normativas. Entretanto, houve uma redução de 21,30% no número de Graus-Hora de Aquecimento.

Tabela 5 – Resultados dia típico de Inverno ZB 1

ZB	Modelo	Te,mín	Ti,mín	Nível de Desempenho	Graus-Hora de Aquecimento	% de redução de Graus-Hora de Aquecimento
1	Referência	-0.10°C	7.56°C	S	402.12°C.h	21.30%
	Com Alterações Normativas		9.16°C	S	316.47°C.h	

(fonte: elaborado pelo autor)

A tabela 6 mostra que, no dia típico de verão, para ZB 1, era atingido apenas o nível mínimo. Mesmo com as alterações propostas não foi possível aumentar esse desempenho, mas conseguiu-se diminuir em 43,07% o número de Graus-Hora de Refrigeração.

Tabela 6 – Resultados dia típico de Verão ZB 1

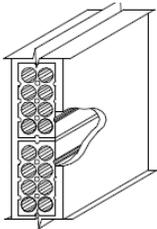
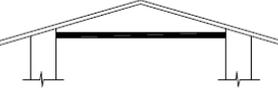
ZB	Modelo	Te,máx	Ti,máx	Nível de Desempenho	Graus-Hora de Refrigeração	% de redução de Graus-Hora de Refrigeração
1	Referência	31.75°C	30.18°C	M	40.97°C.h	43.07%
	Com Alterações Normativas		30.56°C	M	23.32°C.h	

(fonte: elaborado pelo autor)

## 5.2 ZONA BIOCLIMÁTICA 2

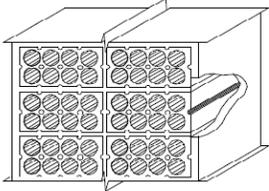
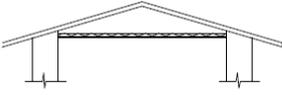
Na ZB 2 os problemas e soluções foram iguais aos da ZB 1, com o acréscimo de que a absorvância da cobertura de 0,75 estava superior aos 0,5 exigidos para obter-se nível A no PBE Edifica, conforme tabela 7. A solução para esta inadequação foi utilizar telhas cerâmicas brancas, alterando a absorvância para 0,2 e passando a cumprir com a exigência da norma, como mostra tabela 8.

Tabela 7 – Características Modelo Referência ZB 2

<b>Zona 2 - RS - Santa Maria</b>		<b>MODELO REFERÊNCIA</b>		
Sombreamento das Aberturas		Sombreamento?	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		Não há sombreamento	Sombrear Apenas no Verão	<b>NÃO</b>
Área de Abertura para Ventilação (em % da área de piso)		Creche I: 15,4%	$15\% < A < 25\%$	<b>SIM</b>
		Creche II: 30,6%	$15\% < A < 25\%$	<b>NÃO</b>
		Creche III: 27,5%	$15\% < A < 25\%$	<b>NÃO</b>
		Pré-Escola: 30,4%	$15\% < A < 25\%$	<b>NÃO</b>
Paredes	 (fonte: ABNT, 2005d)	Tijolo 8 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensão do Tijolo: 10x20x20cm Espessura da Argamassa de Assentamento: 2,5cm Espessura total da parede: 15cm	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		$U = 2.28W/(m^2.K)$	$U \leq 1,0$	<b>NÃO</b>
		$\phi = 3.7\text{Horas}$	$\phi \leq 4,3$	<b>SIM</b>
		$F_{so} = 1.82\%$	$F_{so} \leq 5,0$	<b>SIM</b>
		$C_T = 167kJ/(m^2.K)$	$C_T \geq 130$	<b>SIM</b>
		$\alpha = 0,2$	$\alpha \leq 0,5$	<b>SIM</b>
Cobertura	 (fonte: ABNT, 2005d)	Telhas de barro com forro em laje de concreto e argamassa Espessura da telha de barro: 1cm Espessura da laje de concreto: 8cm Espessura da argamassa do forro: 2,5cm	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		$U = 3.74W/(m^2.K)$	$U \leq 1,0$	<b>NÃO</b>
		$\phi = 5.5\text{Horas}$	$\phi \leq 3,3$	<b>NÃO</b>
		$F_{so} = 11.59\%$	$F_{so} \leq 6,5$	<b>NÃO</b>
		$\alpha = 0,75$	$\alpha \leq 0,5$	<b>NÃO</b>

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 8 – Características Modelo com Alterações Normativas ZB 2

<b>Zona 2 - RS - Santa Maria</b>		<b>MODELO COM ALTERAÇÕES NORMATIVAS</b>		
Sombreamento das Aberturas		Sombreamento?	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		Apenas no Verão	Sombrear Apenas no Verão	<b>SIM</b>
Área de Abertura para Ventilação (em % da área de piso)		Creche I: 15,4%	15% < A < 25%	<b>SIM</b>
		Creche II: 21,9%	15% < A < 25%	<b>SIM</b>
		Creche III: 20,4%	15% < A < 25%	<b>SIM</b>
		Pré-Escola: 21,8%	15% < A < 25%	<b>SIM</b>
Paredes	 <p>(fonte: ABNT, 2005d)</p>	Tijolo 8 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensão do Tijolo: 10x20x20cm Espessura da Argamassa de Assentamento: 1,0cm Espessura da Argamassa de Emboço: 2,5cm Espessura total da parede: 46cm	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		$U = 0,98W/(m^2.K)$	$U \leq 1,0$	<b>SIM</b>
		$\phi = 10,8\text{Horas}$	$\phi \leq 4,3$	<b>NÃO</b>
		$F_{so} = 0,78\%$	$F_{so} \leq 5,0$	<b>SIM</b>
		$CT = 368kJ/(m^2.K)$	$CT \geq 130$	<b>SIM</b>
		$\alpha = 0,2$	$\alpha \leq 0,5$	<b>SIM</b>
Cobertura	 <p>(fonte: ABNT, 2005d)</p>	Telhas de barro brancas, com forro de madeira com lã de vidro Espessura da telha de barro: 1cm Espessura da lã de vidro: 2,5cm Espessura do forro de madeira: 1cm	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		$U = 0,95W/(m^2.K)$	$U \leq 2,0$	<b>SIM</b>
		$\phi = 2,3\text{Horas}$	$\phi \leq 3,3$	<b>SIM</b>
		$F_{so} = 2,95\%$	$F_{so} \leq 6,5$	<b>SIM</b>
		$\alpha = 0,2$	$\alpha \leq 0,5$	<b>SIM</b>

(fonte: elaborado pelo autor)

A tabela 9 mostra que, no dia típico de inverno, para ZB 2, o Modelo Referência apresentou desempenho Intermediário. Esta classificação foi elevada para Superior com as alterações sugeridas pela Norma, ainda que, a redução de Graus-Hora de Aquecimento foi de apenas 9,30%.

Tabela 9 – Resultados dia típico de Inverno ZB 2

ZB	Modelo	Te,mín	Ti,mín	Nível de Desempenho	Graus-Hora de Aquecimento	% de redução de Graus-Hora de Aquecimento
2	Referência	-0.18°C	6.20°C	I	539.27°C.h	9.30%
	Com Alterações Normativas		7.36°C	S	489.14°C.h	

(fonte: elaborado pelo autor)

A tabela 10 mostra que, no dia típico de verão, para ZB 2, obteve-se uma redução de quase 80% dos Graus-Hora de Refrigeração mesmo mantendo o nível Superior de desempenho já alcançado pelo modelo de Referência.

Tabela 10 – Resultados dia típico de Verão ZB 2

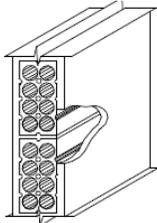
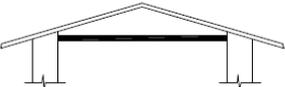
ZB	Modelo	Te,máx	Ti,máx	Nível de Desempenho	Graus-Hora de Refrigeração	% de redução de Graus-Hora de Refrigeração
2	Referência	38.30°C	32.05°C	S	146.32°C.h	79.97%
	Com Alterações Normativas		28.34°C	S	29.32°C.h	

(fonte: elaborado pelo autor)

### 5.3 ZONA BIOCLIMÁTICA 3

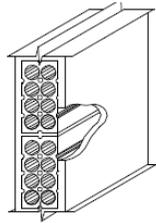
Em Porto Alegre, ZB3, ao contrário das zonas 1 e 2 o sistema de paredes se apresentou adequado conforme mostra tabela 11 e não precisou sofrer alterações. Contudo, o sistema de cobertura, a porcentagem de abertura para ventilação e o sombreamento não estavam conformes as recomendações Normativas. As soluções propostas para a Z3 foram as mesmas apresentadas para as zonas 1 e 2 e também se mostraram eficientes, conforme tabela 12.

Tabela 11 – Características Modelo Referência ZB 3

<b>Zona 3 - RS - Porto Alegre</b>		<b>MODELO REFERÊNCIA</b>		
Sombreamento das Aberturas		Sombreamento?	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		Não há sombreamento	Sombrear Apenas no Verão	<b>NÃO</b>
Área de Abertura para Ventilação (em % da área de piso)		Creche I: 15,4%	15% < A < 25%	<b>SIM</b>
		Creche II: 30,6%	15% < A < 25%	<b>NÃO</b>
		Creche III: 27,5%	15% < A < 25%	<b>NÃO</b>
		Pré-Escola: 30,4%	15% < A < 25%	<b>NÃO</b>
Paredes	 (fonte: ABNT, 2005d)	Tijolo 8 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensão do Tijolo: 10x20x20cm Espessura da Argamassa de Assentamento: 2,5cm Espessura total da parede: 15cm	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		$U = 2.28W/(m^2.K)$	$U \leq 2,5$	<b>SIM</b>
		$\phi = 3.7\text{Horas}$	$\phi \leq 4,3$	<b>SIM</b>
		$F_{so} = 1.82\%$	$F_{so} \leq 4,0$	<b>SIM</b>
		$C_T = 167kJ/(m^2.K)$	$C_T \geq 130$	<b>SIM</b>
Cobertura	 (fonte: ABNT, 2005d)	Telhas de barro com forro em laje de concreto e argamassa Espessura da telha de barro: 1cm Espessura da laje de concreto: 8cm Espessura da argamassa do forro: 2,5cm	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		$U = 2.28W/(m^2.K)$	$U \leq 2,0$	<b>NÃO</b>
		$\phi = 3.7\text{Horas}$	$\phi \leq 3,3$	<b>NÃO</b>
		$F_{so} = 1.82\%$	$F_{so} \leq 6,5$	<b>SIM</b>
		$\alpha = 0,75$	$\alpha \leq 0,5$	<b>NÃO</b>

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 12 – Características Modelo com Alterações Normativas ZB 3

<b>Zona 3 - RS - Porto Alegre</b>		<b>MODELO COM ALTERAÇÕES NORMATIVAS</b>		
Sombreamento das Aberturas		Sombreamento?	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		Apenas no Verão	Sombrear Apenas no Verão	<b>SIM</b>
Área de Abertura para Ventilação (em % da área de piso)		Creche I: 15,4%	$15\% < A < 25\%$	<b>SIM</b>
		Creche II: 21,9%	$15\% < A < 25\%$	<b>SIM</b>
		Creche III: 20,4%	$15\% < A < 25\%$	<b>SIM</b>
		Pré-Escola: 21,8%	$15\% < A < 25\%$	<b>SIM</b>
Paredes	 (fonte: ABNT, 2005d)	Tijolo 8 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensão do Tijolo: 10x20x20cm Espessura da Argamassa de Assentamento: 2,5cm Espessura total da parede: 15cm	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		$U = 2.28W/(m^2.K)$	$U \leq 3,6$	<b>SIM</b>
		$\phi = 3.7$ Horas	$\phi \leq 4,3$	<b>SIM</b>
		$F_{so} = 1.82\%$	$F_{so} \leq 4,0$	<b>SIM</b>
		$C_T = 167kJ/(m^2.K)$	$CT \geq 130$	<b>SIM</b>
		$\alpha = 0,2$	$\alpha \leq 0,5$	<b>SIM</b>
Cobertura	 (fonte: ABNT, 2005d)	Telhas de barro brancas, com forro de madeira com lâ de vidro Espessura da telha de barro: 1cm Espessura da lâ de vidro: 2,5cm Espessura do forro de madeira: 1cm	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		$U = 0.95W/(m^2.K)$	$U \leq 2,0$	<b>SIM</b>
		$\phi = 2.3$ Horas	$\phi \leq 3,3$	<b>SIM</b>
		$F_{so} = 2.95\%$	$F_{so} \leq 6,5$	<b>SIM</b>
		$\alpha = 0,2$	$\alpha \leq 0,5$	<b>SIM</b>

(fonte: elaborado pelo autor)

A tabela 13 mostra que, no dia típico de inverno, para ZB 3, mesmo sem a alteração do nível de desempenho Intermediário, houve um aumento de 11,84% nos Graus-Hora de Aquecimento necessários para que as salas de aula se mantivessem em uma temperatura de conforto com as alterações propostas. A diminuição da absorção do sistema de cobertura pode ser a causadora desta redução no conforto. Para a obtenção do nível A em eficiência energética de acordo com o PBE Edifica, sugeriu-se a utilização de telhas brancas, baixando assim a absorção de 0,775 para 0,2. A redução na absorção da radiação solar pelo sistema de cobertura resultou em menores temperaturas nos ambientes internos, que passaram a exigir mais horas de calefação.

Tabela 13 – Resultados dia típico de Inverno ZB 3

ZB	Modelo	Te,mín	Ti,mín	Nível de Desempenho	Graus-Hora de Aquecimento	% de redução de Graus-Hora de Aquecimento
3	Referência	2.88°C	9.03°C	I	316.59°C.h	-11.84%
	Com Alterações Normativas		8.41°C	I	354.07°C.h	

(fonte: elaborado pelo autor)

A tabela 14 apresenta os dados observados no dia típico de verão do projeto padrão e modificado para a zona 3. Apesar dos resultados desfavoráveis do sistema para o dia típico de inverno, o Modelo Referência passou de desempenho Intermediário para Superior no dia típico de verão, para ZB 3, após terem sido realizadas as alterações sugeridas pelas Normas. O mesmo fator que fez com que o desempenho do sistema no inverno piorasse, teve efeito contrário no verão. A alteração do sistema de forro de concreto, por um forro de madeira com lã de vidro, aliado com a redução de absorção solar, foram os principais responsáveis pela diminuição de 72,93% de Graus-Hora de refrigeração necessários para as salas de aula se manterem em até 26°C. Além de que, em valores absolutos, a redução foi de 172,43°C.h de Refrigeração, sendo a maior redução, em valores absolutos, obtida nas simulações.

Analisando os Graus-Hora de Aquecimento e Refrigeração, pode-se concluir que o Modelo com Alterações Normativas obteve bons resultados frente a redução em Graus-Horas necessários para a manutenção dos ambientes acima ou abaixo (verão e inverno, respectivamente) das temperaturas base, em 24,4%, conforme mostra a tabela 31. Percebe-se que a redução de Graus-Hora de Refrigeração no verão é mais significativa que o aumento de Graus-Hora de Aquecimento no Inverno.

Tabela 14 – Resultados dia típico de Verão ZB 3

ZB	Modelo	Te,máx	Ti,máx	Nível de Desempenho	Graus-Hora de Refrigeração	% de redução de Graus-Hora de Refrigeração
3	Referência	37.25°C	33.48°C	I	236.42°C.h	72.93%
	Com Alterações Normativas		30.58°C	S	64.00°C.h	

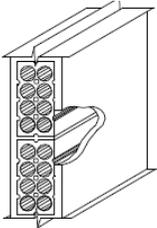
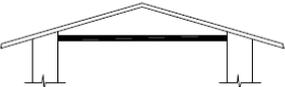
(fonte: elaborado pelo autor)

#### 5.4 ZONA BIOCLIMÁTICA 4 E 6

As recomendações construtivas para a envoltória da edificação nas ZB 4 e 6 são as mesmas. Portanto, para os fins deste trabalho podemos adotar uma única solução para estas duas zonas. Em Brasília e Campo Grande, nenhum dos sistemas analisados estavam de acordo com as recomendações Normativas, como podemos ver na tabela 15. Logo, precisou-se alterar os tamanhos das aberturas, colocar sombreamento nas janelas durante o ano inteiro, além de mudar os sistemas de coberturas e paredes como mostra a tabela 16.

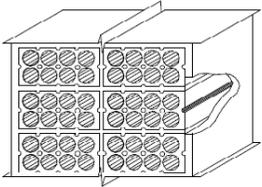
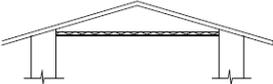
As soluções utilizadas para as não conformidades foram iguais às utilizadas na ZB 2: paredes duplas de tijolos de 8 furos (assentados na sua maior dimensão) e sistema de cobertura com forro de madeira, aliado a lã de vidro e pintura com tinta branca nas telhas. Ao contrário da zona bioclimática 2, as zonas 4 e 6 satisfizeram os critérios normativos de atraso térmico das paredes, com as alterações propostas, pois para estas regiões a NBR 15.220 recomenda o uso de “paredes pesadas”, ou seja, com um atraso térmico maior ou igual a 6,5 horas. Além disso, as esquadrias das creches II, III e Pré-Escola, tiveram seu tamanho diminuído de 180x160cm para 150x130cm para se adequarem as recomendações de porcentagem de abertura para ventilação.

Tabela 15 – Características Modelo Referência ZB 4 e 6

<b>Zonas 4 e 6 - Brasília e Campo Grande</b>		<b>MODELO REFERÊNCIA</b>		
		Sombreamento?	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
Sombreamento das Aberturas		Não há sombreamento	Sombrear o ano todo	<b>NÃO</b>
		Creche I: 15,4%	$15\% < A < 25\%$	<b>SIM</b>
Área de Abertura para Ventilação (em % da área de piso)		Creche II: 30,6%	$15\% < A < 25\%$	<b>NÃO</b>
		Creche III: 27,5%	$15\% < A < 25\%$	<b>NÃO</b>
		Pré-Escola: 30,4%	$15\% < A < 25\%$	<b>NÃO</b>
		Tijolo 8 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensão do Tijolo: 10x20x20cm Espessura da Argamassa de Assentamento: 2,5cm Espessura total da parede: 15cm	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
Paredes	 (fonte: ABNT, 2005d)	$U = 2.28W/(m^2.K)$	$U \leq 2,2$	<b>NÃO</b>
		$\phi = 3.7$ Horas	$\phi \geq 6,5$	<b>NÃO</b>
		$F_{so} = 1.82\%$	$F_{so} \leq 3,5$	<b>SIM</b>
		$CT = 167kJ/(m^2.K)$	$CT \geq 130$	<b>SIM</b>
		$\alpha = 0,2$	$\alpha \leq 0,5$	<b>SIM</b>
		Telhas de barro com forro em laje de concreto e argamassa Espessura da telha de barro: 1cm Espessura da laje de concreto: 8cm Espessura da argamassa do forro: 2,5cm	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
Cobertura	 (fonte: ABNT, 2005d)	$U = 3.74W/(m^2.K)$	$U \leq 2,0$	<b>NÃO</b>
		$\phi = 5.5$ Horas	$\phi \leq 3,3$	<b>NÃO</b>
		$F_{so} = 11.59\%$	$F_{so} \leq 6,5$	<b>NÃO</b>
		$\alpha = 0,75$	$\alpha \leq 0,5$	<b>NÃO</b>

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 16 – Características Modelo com Alterações Normativas ZB 4 e 6

<b>Zonas 4 e 6 - Brasília e Campo Grande</b>		<b>MODELO COM ALTERAÇÕES NORMATIVAS</b>			
		Sombreamento?	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?	
Sombreamento das Aberturas		Ano Inteiro	Sombrear o ano todo	<b>SIM</b>	
		Creche I: 15,4%		15% < A < 25%	<b>SIM</b>
Área de Abertura para Ventilação (em % da área de piso)		Creche II: 21,9%		15% < A < 25%	<b>SIM</b>
		Creche III: 20,4%		15% < A < 25%	<b>SIM</b>
		Pré-Escola: 21,8%		15% < A < 25%	<b>SIM</b>
Paredes		Tijolo 8 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensão do Tijolo: 10x15x20cm Espessura da Argamassa de Assentamento: 2,5cm Espessura total da parede: 36cm		Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		$U = 0.98W/(m^2.K)$		$U \leq 2,2$	<b>SIM</b>
		$\phi = 10.8\text{Horas}$		$\phi \geq 6,5$	<b>SIM</b>
		$F_{so} = 0.78\%$		$F_{so} \leq 3,5$	<b>SIM</b>
		$C_T = 368kJ/(m^2.K)$		$C_T \geq 130$	<b>SIM</b>
		$\alpha = 0,2$		$\alpha \leq 0,5$	<b>SIM</b>
Cobertura		Telhas de barro brancas, com forro de madeira com lâ de vidro Espessura da telha de barro: 1cm Espessura da lâ de vidro: 2,5cm Espessura do forro de madeira: 1cm		Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		$U = 0.95W/(m^2.K)$		$U \leq 2,0$	<b>SIM</b>
		$\phi = 2.3\text{Horas}$		$\phi \leq 3,3$	<b>SIM</b>
		$F_{so} = 2.95\%$		$F_{so} \leq 6,5$	<b>SIM</b>
		$\alpha = 0,2$		$\alpha \leq 0,5$	<b>SIM</b>

(fonte: elaborado pelo autor)

A tabela 17 mostra que, no dia típico de inverno, para ZB 4, mesmo sem alteração do nível de desempenho Intermediário houve uma redução de 44,88% nos Graus-Hora de Aquecimento das salas de aula. Apesar de verificada uma grande porcentagem de redução de graus-hora de aquecimento para os ambientes internos, isso não significa muita coisa em termos absolutos, já que o modelo de referência já apresentava a pequena necessidade de 3,17 Graus-Hora de Aquecimento.

Tabela 17 – Resultados dia típico de Inverno ZB 4

ZB	Modelo	Te,mín	Ti,mín	Nível de Desempenho	Graus-Hora de Aquecimento	% de redução de Graus-Hora de Aquecimento
4	Referência	11.24°C	16.97°C	I	3.17°C.h	44.88%
	Com Alterações Normativas		17.38°C	I	1.75°C.h	

(fonte: elaborado pelo autor)

A ZB 4 foi a zona que obteve a maior redução, percentual, de Graus-Hora de Refrigeração com as alterações feitas. Em comparação ao Projeto Referência, chegou-se a quase 85% de redução de Graus-Hora de Refrigeração. Além disso, no dia típico de verão o modelo com alterações Normativas conseguiu elevar o nível de desempenho de Intermediário para Superior, como mostra a Tabela 18.

Tabela 18 – Resultados dia típico de Verão ZB 4

ZB	Modelo	Te,máx	Ti,máx	Nível de Desempenho	Graus-Hora de Refrigeração	% de redução de Graus-Hora de Refrigeração
4	Referência	32.51°C	30.11°C	I	74.31°C.h	84.94%
	Com Alterações Normativas		27.93°C	S	11.19°C.h	

(fonte: elaborado pelo autor)

A Tabela 19 mostra que houveram melhorias significativas no desempenho do sistema para o dia típico de Verão, na ZB 6. Houve uma redução de 145,38°C.h de Refrigeração, representando uma diminuição de 68,79% nos Graus-Hora de Desconforto do dia. Não obstante, o Modelo que seguiu as recomendações Normativas obteve nível de Desempenho Superior pelos parâmetros da NBR 15.575, sendo melhor classificado do que o Modelo Referência que conseguiu apenas Desempenho Intermediário.

Tabela 19 – Resultados dia típico de Verão ZB 6

ZB	Modelo	Te,máx	Ti,máx	Nível de Desempenho	Graus-Hora de Refrigeração	% de redução de Graus-Hora de Refrigeração
6	Referência	37.84°C	34.24°C	I	211.34°C.h	68.79%
	Com Alterações Normativas		31.17°C	S	65.96°C.h	

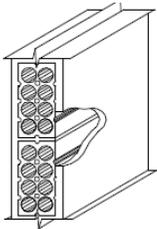
(fonte: elaborado pelo autor)

## 5.5 ZONA BIOCLIMÁTICA 5

As recomendações construtivas propostas pelas Normas para a ZB 5 foram muito semelhantes às da ZB 3. Dessa maneira, tanto as inadequações quanto as soluções sugeridas foram parecidas. A tabela 20, mostra que apenas o sistema de paredes do modelo Referência se mostrou adequado à zona bioclimática 5. O ajuste do sistema de cobertura e do tamanho das aberturas para ventilação se fizeram necessários, bem como a inserção de um sistema de sombreamento nas janelas durante o ano inteiro se fizeram necessário para adequação do projeto padrão à esta zona bioclimática.

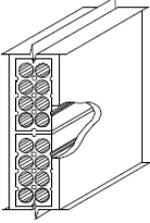
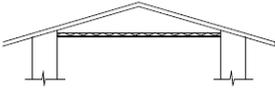
A tabela 21 mostra que com as mesmas propostas já apresentadas de sombreamento de janelas, diminuição de tamanho de esquadrias de 180x160cm para 150x130cm e alteração do sistema de cobertura para forro de madeira com lã de vidro e a utilização de telhas pintadas de brancos, adequa as Pré-Escolas do Programa Proinfância, Projeto tipo C, às recomendações Normativas para a Zona Bioclimática 5.

Tabela 20 Características Modelo Referência ZB 5

<b>Zona 5 - RJ - Niterói</b>		<b>MODELO REFERÊNCIA</b>		
Sombreamento das Aberturas		Sombreamento?	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		Não há sombreamento	Sombrear o ano todo	<b>NÃO</b>
Área de Abertura para Ventilação (em % da área de piso)		Creche I: 15,4%	15% < A < 25%	<b>SIM</b>
		Creche II: 30,6%	15% < A < 25%	<b>NÃO</b>
		Creche III: 27,5%	15% < A < 25%	<b>NÃO</b>
		Pré-Escola: 30,4%	15% < A < 25%	<b>NÃO</b>
Paredes	 (fonte: ABNT, 2005d)	Tijolo 8 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensão do Tijolo: 10x20x20cm Espessura da Argamassa de Assentamento: 2,5cm Espessura total da parede: 15cm	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		$U = 2.28W/(m^2.K)$	$U \leq 3,6$	<b>SIM</b>
		$\phi = 3.7$ Horas	$\phi \leq 4,3$	<b>SIM</b>
		$F_{so} = 1.82\%$	$F_{so} \leq 4,0$	<b>SIM</b>
		$CT = 167kJ/(m^2.K)$	$CT \geq 130$	<b>SIM</b>
		$\alpha = 0,2$	$\alpha \leq 0,5$	<b>SIM</b>
Cobertura	 (fonte: ABNT, 2005d)	Telhas de barro com forro em laje de concreto e argamassa Espessura da telha de barro: 1cm Espessura da laje de concreto: 8cm Espessura da argamassa do forro: 2,5cm	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		$U = 3.74W/(m^2.K)$	$U \leq 2,0$	<b>NÃO</b>
		$\phi = 5.5$ Horas	$\phi \leq 3,3$	<b>NÃO</b>
		$F_{so} = 11.59\%$	$F_{so} \leq 6,5$	<b>NÃO</b>
		$\alpha = 0,75$	$\alpha \leq 0,5$	<b>NÃO</b>

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 21 – Características Modelo com Alterações Normativas ZB 5

<b>Zona 5 - RJ - Niterói</b>		<b>MODELO COM ALTERAÇÕES NORMATIVAS</b>		
Sombreamento das Aberturas		Sombreamento?	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		Ano Inteiro	Sombrear Apenas no Verão	<b>SIM</b>
Área de Abertura para Ventilação (em % da área de piso)		Creche I: 15,4%	15% < A < 25%	<b>SIM</b>
		Creche II: 21,9%	15% < A < 25%	<b>SIM</b>
		Creche III: 20,4%	15% < A < 25%	<b>SIM</b>
		Pré-Escola: 21,8%	15% < A < 25%	<b>SIM</b>
Paredes	 <p>(fonte: ABNT, 2005d)</p>	Tijolo 8 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensão do Tijolo: 10x20x20cm Espessura da Argamassa de Assentamento: 2,5cm Espessura total da parede: 15cm	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		$U = 2.28W/(m^2.K)$	$U \leq 3,6$	<b>SIM</b>
		$\phi = 3.7$ Horas	$\phi \leq 4,3$	<b>SIM</b>
		Fso = 1.82%	Fso $\leq 4,0$	<b>SIM</b>
		$C_T = 167kJ/(m^2.K)$	$CT \geq 130$	<b>SIM</b>
		$\alpha = 0,2$	$\alpha \leq 0,5$	<b>SIM</b>
Cobertura	 <p>(fonte: ABNT, 2005d)</p>	Telhas de barro brancas, com forro de madeira com lâ de vidro Espessura da telha de barro: 1cm Espessura da lâ de vidro: 2,5cm Espessura do forro de madeira: 1cm	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		$U = 0.95W/(m^2.K)$	$U \leq 2,0$	<b>SIM</b>
		$\phi = 2.3$ Horas	$\phi \leq 3,3$	<b>SIM</b>
		Fso = 2.95%	Fso $\leq 6,5$	<b>SIM</b>
		$\alpha = 0,2$	$\alpha \leq 0,5$	<b>SIM</b>

(fonte: elaborado pelo autor)

A Tabela 22 mostra que para o dia típico de Inverno, na ZB 5, mesmo que o nível de desempenho não tenha sido reduzido no Modelo com Alterações Normativas, houve um aumento dos Graus-Hora de desconforto. A princípio imaginou-se que o problema estava no sombreamento das janelas, mesmo nos períodos frios, como sugere a NBR 15.220-3 e também pela redução da absorvância do sistema de coberturas, porém uma nova simulação foi feita alterando-se esses parâmetros para os originais, ou seja, utilizou-se as telhas de barro com absorvância de 0,775 e as janelas sem nenhum sombreamento, e mesmo assim o modelo mostrou-se com um aumento de Graus-Hora de Aquecimento de 6,32%. Logo, as outras alterações feitas – diminuição das esquadrias de 180x160cm para 150x130cm, na Pré-Escola e creches II e III e alteração do forro de concreto para madeira e lã de vidro – também contribuíram para o aumento dos Graus-Hora de desconforto.

Tabela 22 – Resultados dia típico de Inverno ZB 5

ZB	Modelo	Te,mín	Ti,mín	Nível de Desempenho	Graus-Hora de Aquecimento	% de redução de Graus-Hora de Aquecimento
Z5	Referência	10.80°C	15.39°C	M	51.55°C.h	-64.33%
	Com Alterações Normativas		14.79°C	M	84.71°C.h	

(fonte: elaborado pelo autor)

Mesmo com uma redução de 78,3% de Graus-Hora de Refrigeração no dia típico de Verão, como mostra a Tabela 23, o acréscimo de 64,33% nos Graus-Hora de aquecimento do dia típico de inverno fez com que o Modelo com Alterações Normativas tivesse um acréscimo de 5,89% nos Graus-Hora totais para que as salas de aula se mantivessem em uma Temperatura de Conforto, conforme Tabela 31.

Tabela 23 – Resultados dia típico de Verão ZB 5

ZB	Modelo	Te,máx	Ti,máx	Nível de Desempenho	Graus-Hora de Refrigeração	% de redução de Graus-Hora de Refrigeração
5	Referência	34.43°C	29.62°C	S	35.78°C.h	78.30%
	Com Alterações Normativas		27.73°C	S	7.77°C.h	

(fonte: elaborado pelo autor)

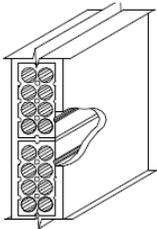
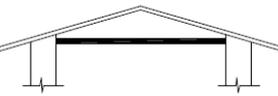
## 5.6 ZONA BIOCLIMÁTICA 7

Em Teresina, ZB 7, foi onde o Modelo Referência apresentou o maior número de parâmetros não conformes, totalizando onze dos quatorze analisados, como mostra tabela 24. Nesta zona a NBR 15.220 recomenda um sistema de cobertura “pesado”, ou seja, com um atraso térmico maior ou igual a 6,5 horas, transmitância térmica menor do que  $2\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ , e Fator Solar Opaco menor ou igual a 6,5%. Para conseguir atingir essas características optou-se pelo uso de um sistema de laje em concreto armado com 20 cm de espessura mais telha cerâmica de espessura 1cm, chegando assim a um atraso térmico de 8 horas, uma transmitância térmica de  $1,84\text{W/m}^2\cdot\text{K}$  e um Fator Solar Opaco de 5,7%. Neste ponto, percebe-se que para atingir os parâmetros recomendados, acabou por utilizar-se uma laje com espessura superior ao dobro da espessura original do projeto. Isto pode ser visto como um peso desnecessário na estrutura, porém, dentre os diferentes exemplos citados na NBR 15.220-3, este caso apresenta a menor espessura de laje, que adequa o projeto Referência às recomendações Normativas. Talvez a Norma pudesse, em revisões futuras, apresentar sistemas de coberturas que satisfizessem as propostas Normativas, utilizando outros materiais junto com a laje de concreto, ao invés de aumentar tanto a espessura da laje. E ainda, para atingir Etiqueta Nível A em eficiência Energética do PBE Edifica, as telhas de barro comuns foram substituídas por telhas cerâmicas brancas, reduzindo a absorvância de 0,75 para 0,2.

A recomendação de porcentagem de abertura para ventilação nesta zona é a menor em comparação com as demais zonas. Nesta, a porcentagem ideal fica no intervalo de 10 a 15%. Para isso foi necessário reduzir a dimensão de todas as esquadrias de  $180\times 160\text{cm}$  para  $110\times 100\text{cm}$ . Além da redução da porcentagem o sombreamento das janelas se faz obrigatório durante o ano inteiro.

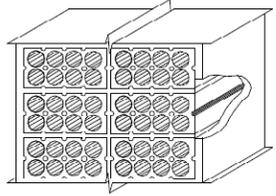
O sistema de paredes sugerido conseguiu se adequar com a mesma solução das outras zonas, fazendo-se paredes duplas de tijolos 8 furos, assentados na sua maior dimensão. Todas alterações feitas podem ser vistas na tabela 25.

Tabela 24 – Características Modelo Referência ZB 7

<b>Zona 7 - Teresina</b>		<b>MODELO REFERÊNCIA</b>		
Sombreamento das Aberturas		Sombreamento?	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		Não há sombreamento	Sombrear Apenas no Verão	<b>NÃO</b>
Área de Abertura para Ventilação (em % da área de piso)		Creche I: 15,4%	$10\% < A < 15\%$	<b>NÃO</b>
		Creche II: 30,6%	$10\% < A < 15\%$	<b>NÃO</b>
		Creche III: 27,5%	$10\% < A < 15\%$	<b>NÃO</b>
		Pré-Escola: 30,4%	$10\% < A < 15\%$	<b>NÃO</b>
Paredes	 (fonte: ABNT, 2005d)	Tijolo 8 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensão do Tijolo: 10x20x20cm Espessura da Argamassa de Assentamento: 2,5cm Espessura total da parede: 15cm	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		$U = 2.28W/(m^2.K)$	$U \leq 2,2$	<b>NÃO</b>
		$\phi = 3.7$ Horas	$\phi \geq 6,5$	<b>NÃO</b>
		$F_{so} = 1.82\%$	$F_{so} \leq 3,5$	<b>SIM</b>
		$CT = 167kJ/(m^2.K)$	$CT \geq 130$	<b>SIM</b>
		$\alpha = 0,2$	$\alpha \leq 0,5$	<b>SIM</b>
Cobertura	 (fonte: ABNT, 2005d)	Telhas de barro com forro em laje de concreto e argamassa Espessura da telha de barro: 1cm Espessura da laje de concreto: 8cm Espessura da argamassa do forro: 2,5cm	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		$U = 3.74W/(m^2.K)$	$U \leq 2,0$	<b>NÃO</b>
		$\phi = 5.5$ Horas	$\phi \geq 6,5$	<b>NÃO</b>
		$F_{so} = 11.59\%$	$F_{so} \leq 6,5$	<b>NÃO</b>
		$\alpha = 0,75$	$\alpha \leq 0,5$	<b>NÃO</b>

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 25 – Características Modelo com Alterações Normativas ZB 7

<b>Zona 7 - Teresina</b>		<b>MODELO COM ALTERAÇÕES NORMATIVAS</b>		
Sombreamento das Aberturas		Sombreamento?	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		Ano Inteiro	Sombrear o ano todo	<b>SIM</b>
Área de Abertura para Ventilação (em % da área de piso)		Creche I: 12,6%	$10\% < A < 15\%$	<b>SIM</b>
		Creche II: 14,3%	$10\% < A < 15\%$	<b>SIM</b>
		Creche III: 14,2%	$10\% < A < 15\%$	<b>SIM</b>
		Pré-Escola: 14,3%	$10\% < A < 15\%$	<b>SIM</b>
Paredes	 <p>(fonte: ABNT, 2005d)</p>	Tijolo 8 furos circulares, assentados na maior dimensão Dimensão do Tijolo: 10x20x20cm Espessura da Argamassa de emboço: 2,5cm Espessura total da parede: 46cm	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		$U = 0,98W/(m^2.K)$	$U \leq 2,2$	<b>SIM</b>
		$\phi = 10.8\text{Horas}$	$\phi \geq 6,5$	<b>SIM</b>
		$F_{so} = 0.78\%$	$F_{so} \leq 3,5$	<b>SIM</b>
		$C_T = 368kJ/(m^2.K)$	$CT \geq 130$	<b>SIM</b>
		$\alpha = 0,2$	$\alpha \leq 0,5$	<b>SIM</b>
Cobertura	 <p>(fonte: ABNT, 2005d)</p>	Telhas de barro brancas, com forro de madeira com lã de vidro Espessura da telha de barro: 1cm Espessura da laje de concreto: 20cm	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		$U = 1.84W/(m^2.K)$	$U \leq 2,0$	<b>SIM</b>
		$\phi = 8.0\text{Horas}$	$\phi \geq 6.5$	<b>SIM</b>
		$F_{so} = 5.70\%$	$F_{so} \leq 6,5$	<b>SIM</b>
		$\alpha = 0,2$	$\alpha \leq 0,5$	<b>SIM</b>

(fonte: elaborado pelo autor)

A Tabela 26 mostra que para o dia típico de Verão, na ZB 7, houveram melhoras no Desempenho do sistema. Houve uma redução de 137,35°C.h de Refrigeração, o que gerou uma diminuição de quase 45% nos Graus-Hora de Desconforto do dia. Porém, o Modelo de Referência já havia apresentado Desempenho Superior, logo, o Modelo com alterações Normativas não teria como ser melhor classificado por esse critério. Contudo percebeu-se que com as alterações propostas conseguiu-se ter uma redução de 8,67°C na Temperatura interna máxima da edificação em relação a Temperatura externa máxima do dia, e quase 4°C menos que o Modelo Referência, sendo esta a maior diferença de Temperaturas obtida em todas as simulações feitas.

Tabela 26 – Resultados dia típico de Verão ZB 7

ZB	Modelo	Te,máx	Ti,máx	Nível de Desempenho	Graus-Hora de Refrigeração	% de redução de Graus-Hora de Refrigeração
7	Referência	39.78°C	35.01°C	S	305.68°C.h	44.93%
	Com Alterações Normativas		31.11°C	S	168.32°C.h	

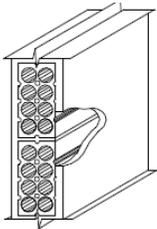
(fonte: elaborado pelo autor)

## 5.7 ZONA BIOCLIMÁTICA 8

A principal estratégia de conforto que a NBR 15.220 sugere para a zona bioclimática 8 é a ventilação cruzada. Visto isto, a Norma recomenda que a área de abertura para ventilação seja maior que 40% da área do piso, logo para adequarmos o modelo Referência com as sugestões Normativas foi preciso aumentar todas esquadrias da edificação, como podemos ver detalhadamente no Apêndice D.

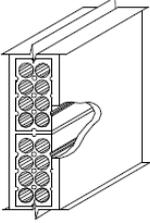
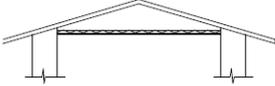
Não somente o tamanho das esquadrias do modelo Referência estavam em dissintonia com as Normas, como também o sistema de cobertura e o sombreamento das janelas como podemos ver na tabela 27. A necessidade de um sistema de cobertura “leve e refletora”, como o desta zona, pôde ser solucionado com o sistema de cobertura já utilizado para as zonas de 1 à 6, conforme podemos ver na tabela 28. Além do mais, foi posto um elemento capaz de sombrear 50% da radiação solar incidente em todas janelas durante todo o período do ano.

Tabela 27 – Características Modelo Referência ZB 8

<b>Zona 8 - AM - Manaus</b>		<b>MODELO REFERÊNCIA</b>		
Sombreamento das Aberturas		Sombreamento?	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		Não há sombreamento	Sombrear Apenas no Verão	<b>NÃO</b>
Área de Abertura para Ventilação (em % da área de piso)		Creche I: 15,4%	A > 40%	<b>NÃO</b>
		Creche II: 30,6%	A > 40%	<b>NÃO</b>
		Creche III: 27,5%	A > 40%	<b>NÃO</b>
		Pré-Escola: 30,4%	A > 40%	<b>NÃO</b>
Paredes	 (fonte: ABNT, 2005d)	Tijolo 8 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensão do Tijolo: 10x20x20cm Espessura da Argamassa de Assentamento: 2,5cm Espessura total da parede: 15cm	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		$U = 2,28W/(m^2.K)$	$U \leq 3,6$	<b>SIM</b>
		$\phi = 3,7$ Horas	$\phi \leq 4,3$	<b>SIM</b>
		$F_{so} = 1,82\%$	$F_{so} \leq 4,0$	<b>SIM</b>
		$C_T = 167kJ/(m^2.K)$	$CT \geq 130$	<b>SIM</b>
		$\alpha = 0,2$	$\alpha \leq 0,5$	<b>SIM</b>
Cobertura	 (fonte: ABNT, 2005d)	Telhas de barro com forro em laje de concreto e argamassa Espessura da telha de barro: 1cm Espessura da laje de concreto: 8cm Espessura da argamassa do forro: 2,5cm	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		$U = 3,74W/(m^2.K)$	$U \leq 2,0$	<b>NÃO</b>
		$\phi = 5,5$ Horas	$\phi \leq 3,3$	<b>NÃO</b>
		$F_{so} = 11,59\%$	$F_{so} \leq 6,5$	<b>NÃO</b>
		$\alpha = 0,75$	$\alpha \leq 0,5$	<b>NÃO</b>

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 28 – Características Modelo com Alterações Normativas ZB 8

<b>Zona 8 - AM - Manaus</b>		<b>MODELO COM ALTERAÇÕES NORMATIVAS</b>		
Sombreamento das Aberturas		Sombreamento?	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		Ano Inteiro	Sombrear o ano todo	<b>SIM</b>
Área de Abertura para Ventilação (em % da área de piso)		Creche I: 41,5%	A > 40%	<b>SIM</b>
		Creche II: 47,7%	A > 40%	<b>SIM</b>
		Creche III: 41,5%	A > 40%	<b>SIM</b>
		Pré-Escola: 47,5%	A > 40%	<b>SIM</b>
Paredes	 (fonte: ABNT, 2005d)	Tijolo 8 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensão do Tijolo: 10x20x20cm Espessura da Argamassa de Assentamento: 2,5cm Espessura total da parede: 15cm	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		$U = 2.28W/(m^2.K)$	$U \leq 2,5$	<b>SIM</b>
		$\phi = 3.7$ Horas	$\phi \leq 4,3$	<b>SIM</b>
		Fso = 1.82%	Fso $\leq 4,0$	<b>SIM</b>
		$CT = 167kJ/(m^2.K)$	CT $\geq 130$	<b>SIM</b>
		$\alpha = 0,2$	$\alpha \leq 0,5$	<b>SIM</b>
Cobertura	 (fonte: ABNT, 2005d)	Telhas de barro brancas, com forro de madeira com lâ de vidro Espessura da telha de barro: 1cm Espessura da lâ de vidro: 2,5cm Espessura do forro de madeira: 1cm	Recomendação Normativa	Atende Recomendações Normativas?
		$U = 0.95W/(m^2.K)$	$U \leq 2,0$	<b>SIM</b>
		$\phi = 2.3$ Horas	$\phi \leq 3,3$	<b>SIM</b>
		Fso = 2.95%	Fso $\leq 6,5$	<b>SIM</b>
		$\alpha = 0,2$	$\alpha \leq 0,5$	<b>SIM</b>

(fonte: elaborado pelo autor)

A Tabela 29 mostra que para o dia típico de Verão, na ZB 8, o Modelo Referência atingiu apenas nível de Desempenho Mínimo pelos critérios da NBR 15.575, já o com as alterações propostas conseguiu obter um nível Intermediário. Além disto, uma redução nos Graus-Hora de Refrigeração foi constatada. Em valores absolutos houve uma redução de 115,36°C.h de Refrigeração, o que ocasionou uma diminuição de 29,77% nos Graus-Hora de Desconforto do dia.

Tabela 29 – Resultados dia típico de Verão ZB 8

ZB	Modelo	Te,máx	Ti,máx	Nível de Desempenho	Graus-Hora de Refrigeração	% de redução de Graus-Hora de Refrigeração
8	Referência	36.69°C	34.93°C	M	387.53°C.h	29.77%
	Com Alterações Normativas		33.15°C	I	272.17°C.h	

(fonte: elaborado pelo autor)

## 5.8 ANÁLISE GLOBAL

A tabela 30 junta todos os resultados de forma que podemos compará-los mais facilmente. Analisando o conjunto global de resultados, percebe-se que as maiores reduções ocorrem nos dias típicos de Verão, tanto em valores absolutos, quanto nas porcentagens. Os benefícios trazidos pelas alterações Normativas nos dias típicos de Inverno foram muito mais discretos.

Levando em conta os Graus-Hora de Desconforto Totais (Aquecimento mais Refrigeração), observa-se na tabela 31 que, com ressalva da Zona Bioclimática 5, todas as Zonas apresentaram melhorias superiores a 20%, chegando a 83,3% na ZB 4. Apesar de na grande maioria dos casos, as alterações propostas terem representado uma porcentagem alta de melhoria de desempenho em Graus-Hora, menos da metade dos dias analisados (apenas cinco) conseguiram atingir um nível de desempenho superior ao do Modelo Referência pelos parâmetros da NBR 15.575-1, sendo que apenas um deles ocorreu em dia típico de Inverno.

Tabela 30 – Resultados das simulações em Grau-Hora de Aquecimento e Refrigeração para os dias típicos de Inverno e Verão nas oito Zonas Bioclimáticas

ZB	Modelo	Inverno				
		Te,mín	Ti,mín	Nível de Desempenho	Graus-Hora de Aquecimento	% de redução de Graus-Hora de Aquecimento
Z1	Referência	-0.10°C	7.56°C	S	402.12°C.h	21.30%
	Com Alterações Normativas		9.16°C	S	316.47°C.h	
Z2	Referência	-0.18°C	6.20°C	I	539.27°C.h	9.30%
	Com Alterações Normativas		7.36°C	S	489.14°C.h	
Z3	Referência	2.88°C	9.03°C	I	316.59°C.h	-11.84%
	Com Alterações Normativas		8.41°C	I	354.07°C.h	
Z4	Referência	11.24°C	16.97°C	I	3.17°C.h	44.88%
	Com Alterações Normativas		17.38°C	I	1.75°C.h	
Z5	Referência	10.80°C	15.39°C	M	51.55°C.h	-64.33%
	Com Alterações Normativas		14.79°C	M	84.71°C.h	
Z6	Referência					
	Com Alterações Normativas					
Z7	Referência					
	Com Alterações Normativas					
Z8	Referência					
	Com Alterações Normativas					
ZB	Modelo	Verão				
		Te,máx	Ti,máx	Nível de Desempenho	Graus-Hora de Refrigeração	% de redução de Graus-Hora de Refrigeração
Z1	Referência	31.75°C	30.18°C	M	40.97°C.h	43.07%
	Com Alterações Normativas		30.56°C	M	23.32°C.h	
Z2	Referência	38.30°C	32.05°C	S	146.32°C.h	79.97%
	Com Alterações Normativas		28.34°C	S	29.32°C.h	
Z3	Referência	37.25°C	33.48°C	I	236.42°C.h	72.93%
	Com Alterações Normativas		30.58°C	S	64.00°C.h	
Z4	Referência	32.51°C	30.11°C	I	74.31°C.h	84.94%
	Com Alterações Normativas		27.93°C	S	11.19°C.h	
Z5	Referência	34.43°C	29.62°C	S	35.78°C.h	78.30%
	Com Alterações Normativas		27.73°C	S	7.77°C.h	
Z6	Referência	37.84°C	34.24°C	I	211.34°C.h	68.79%
	Com Alterações Normativas		31.17°C	S	65.96°C.h	
Z7	Referência	39.78°C	35.01°C	S	305.68°C.h	44.93%
	Com Alterações Normativas		31.11°C	S	168.32°C.h	
Z8	Referência	36.69°C	34.93°C	M	387.53°C.h	29.77%
	Com Alterações Normativas		33.15°C	I	272.17°C.h	

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 31 – Resultados das simulações em Grau-Hora de Desconforto nas oito Zonas Bioclimáticas

ZB	Modelo	INVERNO + VERÃO	
		Graus-Hora de Aquec./Refrig.	% de redução de Graus-Hora de Aquec. e Resfr.
Z1	Referência	443.09°C.h	23.31%
	Com Alterações Normativas	339.79°C.h	
Z2	Referência	685.59°C.h	24.38%
	Com Alterações Normativas	518.46°C.h	
Z3	Referência	553.01°C.h	24.40%
	Com Alterações Normativas	418.06°C.h	
Z4	Referência	77.48°C.h	83.30%
	Com Alterações Normativas	12.94°C.h	
Z5	Referência	87.33°C.h	-5.89%
	Com Alterações Normativas	92.47°C.h	
Z6	Referência	211.34°C.h	68.79%
	Com Alterações Normativas	65.96°C.h	
Z7	Referência	305.68°C.h	44.93%
	Com Alterações Normativas	168.32°C.h	
Z8	Referência	387.53°C.h	29.77%
	Com Alterações Normativas	272.17°C.h	

(fonte: elaborado pelo autor)

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo será mostrado as conclusões do trabalho, assim como sugestões para trabalhos futuros.

### 6.1 CONCLUSÕES

Este estudo comparou o desempenho térmico do Projeto de Pré-Escolas padrão do Tipo C do Governo Federal (Modelo Referência), com um projeto com alterações construtivas de envoltória. O Modelo Referência foi modelado de acordo com projetos e memoriais descritivos apresentados no site do Fundo Nacional de Desenvolvimento e Educação (FNDE), já o Modelo com alterações construtivas seguiu as recomendações das Normas 15.220 e NBR 15.575, assim como os parâmetros que o PBE Edifica exige para que se obtenha ENCE de envoltória Nível A. Essa comparação foi realizada nos dias típicos de inverno e verão para as oito zonas bioclimáticas brasileiras.

Os resultados das simulações mostraram que com as alterações propostas pelas Normas vigentes, com exceção das condições de dias típicos de inverno para as zonas bioclimáticas 3 e 5, todas as outras zonas, tanto no inverno quanto no verão, apresentaram redução dos Graus-Hora Aquecimento e Refrigeração. Entretanto, apesar da redução dos Graus-Hora de Desconforto terem acontecido em onze dos treze casos estudados, foi observado em apenas cinco dos treze casos, uma elevação de nível do desempenho conforme critérios da NBR 15.575-1. Sendo assim, conclui-se que os parâmetros sugeridos pelas NBR 15.575, NBR 15.220 e PBE Edifica são válidos e se adotados podem maximizar o desempenho térmico das edificações. Porém, vale ressaltar que um estudo sobre os custos e interferências no projetos e implantações não foi escopo deste trabalho, devendo estes serem feitos para que não haja uma inviabilidade técnica ou financeira do projeto.

Outro ponto que podemos analisar é que mesmo que o Modelo Referência tenha atingido pelo menos o nível de desempenho mínimo, pelos parâmetros da NBR 15.575-1, nos dias típicos de inverno e verão para todas as Zonas Bioclimáticas, quando o projeto padrão foi adaptado à cada zona bioclimática, alcançaram-se a ter reduções de até 85% em Graus-Hora de Climatização. O que significa que mesmo a edificação tendo atingido níveis satisfatórios de desempenho, em muitas horas do dia (sendo às vezes até na sua totalidade de horas), ela não apresentou condições

---

Comparação de desempenho térmico de pré-escolas do programa Proinfância nas diferentes zonas bioclimáticas brasileiras: estudo do Projeto padrão tipo C e Projeto conforme recomendações Normativas de Envoltória

de conforto térmico para seus usuários. Os níveis de conforto térmico foram melhorados com as alterações de projeto, de acordo com as recomendações das Normativas vigentes apresentadas neste trabalho.

Os resultados do trabalho provaram que a hipótese da pesquisa não era verdadeira. Isso porque não houve aumento de desempenho térmico pelos parâmetros da NBR 15.575-1 em todos os dias típicos e, também, não houve uma redução de pelo menos 20% dos Graus-Hora de Desconforto em todas as zonas bioclimáticas.

A NBR 15.220-3 apresenta entre suas recomendações para melhoria de desempenho térmico, a estratégia de ventilação cruzada, além de propor tamanhos mínimos de aberturas para ventilação para cada Zona Bioclimática. Entretanto, o método de simulação apresentado pela NBR 15.575 não leva em conta a ventilação natural dos ambientes internos através de suas aberturas, mas apenas renovações de ar controladas através da programação do modelo simulado. Essas renovações de ar interno controladas tentam simular condições de ventilação natural- uma condição de pouca ventilação ou até mesmo de infiltração de ar e outra situação de maior ventilação. Esse fato nos leva a questionar se o método atual de simulações térmicas da NBR 15.575 é realmente adequado para avaliar as recomendações de ventilação natural da NBR 15.220. Ficou evidente que esta limitação de simulação da ventilação natural poderia ter gerado resultados diferentes, principalmente na ZB 8, na qual a NBR 15.220-3 recomenda uma área de abertura maior que 40% da área de piso. Essa porcentagem de abertura é significativamente maior que a apresentada no Modelo Referência, o que fez com que fosse preciso aumentar o tamanho das esquadrias, para o Modelo Referência se adaptasse a essa exigência. Com o aumento das áreas das aberturas ocorre um aumento da radiação solar direta incidente nos ambientes internos. Como a radiação solar é a principal forma de ganhos térmicos da edificação, o aumento da janela tende a aumentar a temperatura interna, sem ter a contrapartida da ventilação natural devido à limitação do método de simulação prescrito, diminuindo assim o desempenho térmico do prédio.

Quando se pensa em desempenho térmico, logo associa-se a esse termo uma maior eficiência energética e conforto térmico. Logo, quando uma edificação é classificada com nível Superior em desempenho térmico, imagina-se que esta ofereça boas condições de habitabilidade. Entretanto, provou-se que isso nem sempre é verdadeiro, pois a classificação térmica Superior foi atingida em ambientes com uma diferença de temperaturas maior que 10°C entre às

temperaturas de conforto térmico e a temperatura interna da edificação. Assim como pôde-se classificar com nível Superior em Desempenho, edificações com absorvâncias e transmitâncias térmicas que não atendem as recomendações para obtenção de ENCE nível A no sistema de envoltória pelo PBE Edifica e nem as Normativas de desempenho vigentes, ou seja, não maximizam a eficiência energética do prédio. Portanto, uma edificação com nível Superior em desempenho térmico não pode ser considerada, obrigatoriamente, termicamente confortável e nem energeticamente eficiente.

Mesmo que o intuito de um projeto padrão seja baratear os custos com projetos e reduzir o tempo de licitações, ajudando na viabilização econômica do mesmo, provou-se que melhorias significativas de desempenho podem ser conquistadas com pequenas alterações de projeto. Mesmo que o Projeto Tipo C, do Programa Proinfância, tenha atendido as condições mínimas exigidas pela NBR 15.575 para todas as zonas bioclimáticas brasileiras, com alguns ajustes específicos e seguindo recomendações das normas foi possível melhorar os níveis de conforto térmico dos ambientes internos. Essas melhorias nos níveis de conforto térmico implicam diretamente na redução da necessidade de climatização artificial para a manutenção do conforto dos usuários. Se reduzirmos a necessidade de climatização artificial reduziremos também os gastos com energia elétrica. E mesmo se esses ambientes não contarem com climatização artificial, estaremos promovendo ambientes de ensino e aprendizagem mais confortáveis e mais adequados

O PBE Edifica passou a ser obrigatório para prédios públicos com área total maior que 500m<sup>2</sup>, em 2014, exigindo que estas edificações obtenham ENCE Geral Nível A. Mesmo não sendo escopo deste trabalho avaliar a ENCE do Projeto proposto pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento e Educação (FNDE), percebe-se que o Projeto não atende aos requisitos de Nível A, visto que, os critérios adotados pelo PBE Edifica são específicos para cada Zona Bioclimática, além de que para o sistema de envoltória, que representa 30% do valor total da nota da ENCE Geral, por diversas vezes os pré-requisitos exigidos para obtenção de Nível A não foram atendidos. Por fim, o projeto analisado neste trabalho teve sua última revisão em 2013, ou seja, antes de entrar em vigor O PBE Edifica. Dessa maneira, espera-se que o projeto analisado receba alterações brevemente.

## 6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros podemos enumerar:

- Comparação de custos entre Projeto Padrão e Projeto com alterações Normativas.

Mesmo que este trabalho tenha provado que fazendo alterações no Projeto Referência para que o mesmo se adeque as Normativas, seria interessante um trabalho comparando os custos dos mesmos.

- Estudo de todas as alterações necessárias para que os Projetos do Programa Proinfância Tipo C seja classificado com ENCE Geral de Nível A do PBE Edifica

A última revisão do projeto tipo C do Programa Proinfância foi em 2013, antes de entrar em vigor o Programa de Etiquetagem Brasileiro, o PBE Edifica, no qual se tornou obrigatório a ENCE Geral Nivel A para obras públicas acima de 500m<sup>2</sup>. Então seria interessante um trabalho no qual apresentasse as alterações necessárias para que este Projeto Padrão atendessem com as exigências de eficiência energética.

- Levar em conta a ventilação natural dos ambientes internos nas simulações computacionais para obtenção de resultados mais precisos em todas zonas bioclimáticas.

Diferentes tamanhos ideais de aberturas para cada zona bioclimática, propostos pela NBR 15.220, sugerem que este parâmetro seja relevante para o resultado do conforto térmico da edificação. Logo, não devemos desprezar este critério no método de simulação computacional. Seria interessante realizar simulações levando em conta este parâmetro para obter resultados mais precisos e até mesmo comparar com um modelo que não o considere para verificar as variações.

## REFERÊNCIAS

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

\_\_\_\_\_. **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 definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005b

\_\_\_\_\_. **NBR 15.220-3**: desempenho térmico de edificações – parte 1: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005d

\_\_\_\_\_. **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 internas e externas. Rio de Janeiro, 2013b

BARROSO-KRAUSE, C. B. **Desempenho Térmico e Eficiência Energética nas edificações**. Rio de Janeiro: Eletrobrás/Procel, 2011.

BOLETIM INFORMATIVO DO CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **Etiquetagem para a eficiência energética em edificações públicas federais já é obrigatória no Brasil**. São Paulo, 2014 Disponível em: <[http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/cbcsnoticias\\_ed11\\_FINAL2.pdf](http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/cbcsnoticias_ed11_FINAL2.pdf)> Acesso em 19 out 2015.

CABÚS, R. **Troplux**: um sotaque tropical na simulação da luz natural em edificações. In: ENCAC – ELACAC, 2005, Maceió. p. 240-249.

**FUNDO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO**. Diretrizes Técnicas para Apresentação de Projetos e Construção de Estabelecimentos de Ensino Público, 2012

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional**: relatório síntese – ano base 2013. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final\\_2014\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2014_Web.pdf)>. Acesso em: 5 abr. 2015

ENERGYPLUS. **Input Output Reference** – The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output. University of Illinois and Ernest Orlando Lawrence Berkley National Laboratory, 2013.

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

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. In: **Energy and Building**, Los Angeles, USA: v. 18, p.11-23 jul/92.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA.  
**Regulamento Técnico da Qualidade para Nível de Eficiência Energética em Edificações Comerciais, Serviços e Públicos.** Rio de Janeiro, [2013]

LAMBERTS, R; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás/Procel, [2014]. Disponível em:  
<[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia\\_energetica\\_na\\_arquitetura.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf)>. Acesso em: 20 mar. 2015.

MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.; CUNHA NETO, J. A. B da. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 47-68, out./dez. 2005.

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** Florianópolis, 2003.

RORIZ, M. **Arquivos climáticos de cidades brasileiras.** 2012. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw>> Acesso em: 12 jun. 2015

SKETCHUP **Programa de modelagem 3D.** 2015. Disponível em:  
<<http://www.sketchup.com/pt-BR/products/sketchup-make>> Acesso em: 3 jun. 2015

SORGATTO, M. J.. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente.** 2009. n.f. 216 Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2009

US DEPARTMENT OF ENERGY OPENSTUDIO. **Plug-in de suporte de modelagem de energia em edificações e análises de luz dia.** 2015. Disponível em:  
<<https://www.openstudio.net/>> Acesso em: 09 jun. 2015

US DEPARTMENT OF ENERGY ENERGY PLUS **Programa de simulação computacional.** Disponível em: <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus>> Acesso em: 6 jun. 2015

## **ANEXO A – RECOMENDAÇÕES CONSTRUTIVAS NBR 15.220-3**

Zona Bioclimática	NBR 15.220-3	NBR 15.220-3	NBR 15.220-3	NBR 15.220-3	NBR 15.220-3	NBR 15.220-3	NBR 15.220-3	NBR 15.220-3
	Atraso Térmico - $\phi$ Paredes [Horas]	Atraso Térmico - $\phi$ Coberturas [Horas]	Fator Solar Opaco - Fso Paredes [%]	Fator Solar Opaco - Fso Coberturas [%]	Transmitância Térmica (U) em paredes [W/m <sup>2</sup> .K]	Transmitância Térmica (U) em Coberturas [W/m <sup>2</sup> .K]	Aberturas para Ventilação Área (em % da área de piso)	Sombreamento das aberturas
1	$\phi \leq 4,3$	$\phi \leq 3,3$	FSo $\leq 5,0$	FSo $\leq 6,5$	$U \leq 3,0$	$U \leq 2,0$	$15\% < A < 25\%$	permitir sol apenas durante o inverno
2	$\phi \leq 4,3$	$\phi \leq 3,3$	FSo $\leq 5,0$	FSo $\leq 6,5$	$U \leq 3,0$	$U \leq 2,0$	$15\% < A < 25\%$	permitir sol apenas durante o inverno
3	$\phi \leq 4,3$	$\phi \leq 3,3$	FSo $\leq 4,0$	FSo $\leq 6,5$	$U \leq 3,6$	$U \leq 2,0$	$15\% < A < 25\%$	permitir sol apenas durante o inverno
4	$\phi \geq 6,5$	$\phi \leq 3,3$	FSo $\leq 3,5$	FSo $\leq 6,5$	$U \leq 2,2$	$U \leq 2,0$	$15\% < A < 25\%$	sombrear as aberturas
5	$\phi \leq 4,3$	$\phi \leq 3,3$	FSo $\leq 4,0$	FSo $\leq 6,5$	$U \leq 3,6$	$U \leq 2,0$	$15\% < A < 25\%$	sombrear as aberturas
6	$\phi \geq 6,5$	$\phi \leq 3,3$	FSo $\leq 3,5$	FSo $\leq 6,5$	$U \leq 2,2$	$U \leq 2,0$	$15\% < A < 25\%$	sombrear as aberturas
7	$\phi \geq 6,5$	$\phi \geq 6,5$	FSo $\leq 3,5$	FSo $\leq 6,5$	$U \leq 2,2$	$U \leq 2,0$	$10\% < A < 15\%$	sombrear as aberturas
8	$\phi \leq 4,3$	$\phi \leq 3,3$	FSo $\leq 4,0$	FSo $\leq 6,5$	$U \leq 3,6$	$U \leq 2,2$	$A > 40\%$	sombrear as aberturas

(fonte: ABNT, 2013a)

## **ANEXO B – RECOMENDAÇÕES CONSTRUTIVAS NBR 15.575-4**

Zona Bioclimática	NBR 15.575-4	NBR 15.575-4	NBR 15.575-4	
	Capacidade Térmica - parede externa (CT) [kJ/m <sup>2</sup> .K]	Transmitância Térmica (U) em paredes [W/m <sup>2</sup> .K]	Aberturas para Ventilação Área (em % da área de piso)	
1	$C_T \geq 130$	$U \leq 2,5$	$A > 7\%$	
2	$C_T \geq 130$	$U \leq 2,5$	$A > 7\%$	
3	$C_T \geq 130$	$*U \leq 3,7$	$A > 7\%$	
4	$C_T \geq 130$	$*U \leq 3,7$	$A > 7\%$	
5	$C_T \geq 130$	$*U \leq 3,7$	$A > 7\%$	
6	$C_T \geq 130$	$*U \leq 3,7$	$A > 7\%$	
7	$C_T \geq 130$	$*U \leq 3,7$	$A > 7\%$	
8	sem exigências	$*U \leq 3,7$	região N regiões NE e SE	$A > 12\%$ $A > 8\%$

\*Valores para  $\alpha = 0.2$

\*\*Valores para  $C_T > 80$  kJ/m<sup>2</sup>.K

(fonte: ABNT, 2013a)

## **ANEXO C – RECOMENDAÇÕES CONSTRUTIVAS PBE EDIFICA**

Zona Bioclimática	PBE Edifica	PBE Edifica	PBE Edifica	PBE Edifica
	Transmitância Térmica (U) em Coberturas [W/m <sup>2</sup> .K]	Transmitância Térmica (U) em paredes [W/m <sup>2</sup> .K]	Absortância em Paredes	Absortância em Coberturas
1	*U ≤ 1,0	U ≤ 1,0	sem exigências	sem exigências
2	*U ≤ 1,0	U ≤ 1,0	α ≤ 0,5	α ≤ 0,5
3	*U ≤ 2,0	U ≤ 3,7	α ≤ 0,5	α ≤ 0,5
4	*U ≤ 2,0	U ≤ 3,7	α ≤ 0,5	α ≤ 0,5
5	*U ≤ 2,0	U ≤ 3,7	α ≤ 0,5	α ≤ 0,5
6	*U ≤ 2,0	U ≤ 3,7	α ≤ 0,5	α ≤ 0,5
7	*U ≤ 2,0	**U ≤ 3,7	α ≤ 0,5	α ≤ 0,5
8	*U ≤ 2,0	**U ≤ 3,7	α ≤ 0,5	α ≤ 0,5

\*Valores para ambientes não condicionados

\*\*Valores para C<sub>T</sub> > 80 kJ/m<sup>2</sup>.K

(fonte: ABNT, 2013a)

## **APÊNDICE A – PROCEDIMENTOS DE ESCOLHA DE PARÂMETROS NORMATIVOS**

Zona Bioclimática	NBR 15.575-4	NBR 15.220-3	ADOTADO
	Aberturas para Ventilação Área (em % da área de piso)	Aberturas para Ventilação Área (em % da área de piso)	
1	A > 7%	15% < A < 25%	15% < A < 25%
2	A > 7%	15% < A < 25%	15% < A < 25%
3	A > 7%	15% < A < 25%	15% < A < 25%
4	A > 7%	15% < A < 25%	15% < A < 25%
5	A > 7%	15% < A < 25%	15% < A < 25%
6	A > 7%	15% < A < 25%	15% < A < 25%
7	A > 7%	10% < A < 15%	10% < A < 15%
8	região N regiões NE e SE	A > 12% A > 8%	A > 40%

Zona Bioclimática	NBR 15.220-3	PBE Edifica	ADOTADO
	Transmitância Térmica (U) em Coberturas [W/m².K]	Transmitância Térmica (U) em Coberturas [W/m².K]	
1	U ≤ 2,0	*U ≤ 1,0	U ≤ 1,0
2	U ≤ 2,0	*U ≤ 1,0	U ≤ 1,0
3	U ≤ 2,0	*U ≤ 2,0	U ≤ 2,0
4	U ≤ 2,0	*U ≤ 2,0	U ≤ 2,0
5	U ≤ 2,0	*U ≤ 2,0	U ≤ 2,0
6	U ≤ 2,0	*U ≤ 2,0	U ≤ 2,0
7	U ≤ 2,0	*U ≤ 2,0	U ≤ 2,0
8	U ≤ 2,2	*U ≤ 2,0	U ≤ 2,0

\*Valores para ambientes não condicionados

Zona Bioclimática	NBR 15.575-4	NBR 15.220-3	PBE Edifica	ADOTADO
	Transmitância Térmica (U) em paredes [W/m².K]	Transmitância Térmica (U) em paredes [W/m².K]	Transmitância Térmica (U) em paredes [W/m².K]	
1	U ≤ 2,5	U ≤ 3,0	U ≤ 1,0	U ≤ 1,0
2	U ≤ 2,5	U ≤ 3,0	U ≤ 1,0	U ≤ 1,0
3	*U ≤ 3,7	U ≤ 3,6	U ≤ 3,7	U ≤ 3,6
4	*U ≤ 3,7	U ≤ 2,2	U ≤ 3,7	U ≤ 2,2
5	*U ≤ 3,7	U ≤ 3,6	U ≤ 3,7	U ≤ 3,7
6	*U ≤ 3,7	U ≤ 2,2	U ≤ 3,7	U ≤ 2,2
7	*U ≤ 3,7	U ≤ 2,2	**U ≤ 3,7	U ≤ 2,2
8	*U ≤ 3,7	U ≤ 3,6	**U ≤ 3,7	U ≤ 3,6

\*Valores para  $\alpha = 0.2$

\*\*Valores para  $C_T > 80 \text{ kJ/m}^2.\text{K}$

(fonte: ABNT, 2013a)

**APÊNDICE B – RECOMENDAÇÕES CONSTRUTIVAS ADOTADAS NO  
TRABALHO, DE FORMA A ATENDER O PBE EDIFICA E AS NBR  
15.220-3 E NBR 15.575-4**

ZB	NBR 15.220-3	NBR 15.220-3	NBR 15.220-3	NBR 15.220-3	NBR 15.220-3	NBR 15.575-4	PBE Edifica	PBE Edifica	ADOTADO	ADOTADO	ADOTADO
	Atraso Térmico - $\phi$ Paredes [Horas]	Atraso Térmico - $\phi$ Coberturas [Horas]	Fator Solar Opaco - Fso Paredes [%]	Fator Solar Opaco - Fso Coberturas [%]	Sombreamento das aberturas	Capacidade Térmica - parede externa (CT) [kJ/m <sup>2</sup> .K]	Absortância em Paredes	Absortância em Coberturas	Aberturas para Ventilação Área (em % da área de piso)	Transmitância Térmica (U) em paredes [W/m <sup>2</sup> .K]	Transmitância Térmica (U) em Coberturas [W/m <sup>2</sup> .K]
1	$\phi \leq 4,3$	$\phi \leq 3,3$	FSo $\leq 5,0$	FSo $\leq 6,5$	permitir sol apenas durante o inverno	CT $\geq 130$	sem exigências	sem exigências	15% < A < 25%	U $\leq 1,0$	U $\leq 1,0$
2	$\phi \leq 4,3$	$\phi \leq 3,3$	FSo $\leq 5,0$	FSo $\leq 6,5$	permitir sol apenas durante o inverno	CT $\geq 130$	$\alpha \leq 0,5$	$\alpha \leq 0,5$	15% < A < 25%	U $\leq 1,0$	U $\leq 1,0$
3	$\phi \leq 4,3$	$\phi \leq 3,3$	FSo $\leq 4,0$	FSo $\leq 6,5$	permitir sol apenas durante o inverno	CT $\geq 130$	$\alpha \leq 0,5$	$\alpha \leq 0,5$	15% < A < 25%	U $\leq 3,6$	U $\leq 2,0$
4	$\phi \geq 6,5$	$\phi \leq 3,3$	FSo $\leq 3,5$	FSo $\leq 6,5$	sombrear as aberturas	CT $\geq 130$	$\alpha \leq 0,5$	$\alpha \leq 0,5$	15% < A < 25%	U $\leq 2,2$	U $\leq 2,0$
5	$\phi \leq 4,3$	$\phi \leq 3,3$	FSo $\leq 4,0$	FSo $\leq 6,5$	sombrear as aberturas	CT $\geq 130$	$\alpha \leq 0,5$	$\alpha \leq 0,5$	15% < A < 25%	U $\leq 3,7$	U $\leq 2,0$
6	$\phi \geq 6,5$	$\phi \leq 3,3$	FSo $\leq 3,5$	FSo $\leq 6,5$	sombrear as aberturas	CT $\geq 130$	$\alpha \leq 0,5$	$\alpha \leq 0,5$	15% < A < 25%	U $\leq 2,2$	U $\leq 2,0$
7	$\phi \geq 6,5$	$\phi \geq 6,5$	FSo $\leq 3,5$	FSo $\leq 6,5$	sombrear as aberturas	CT $\geq 130$	$\alpha \leq 0,5$	$\alpha \leq 0,5$	10% < A < 15%	U $\leq 2,2$	U $\leq 2,0$
8	$\phi \leq 4,3$	$\phi \leq 3,3$	FSo $\leq 4,0$	FSo $\leq 6,5$	sombrear as aberturas	sem exigências	$\alpha \leq 0,5$	$\alpha \leq 0,5$	A > 40%	U $\leq 3,6$	U $\leq 2,0$

**APÊNDICE C – PORCENTAGEM DE ABERTURA PARA  
VENTILAÇÃO EM RELAÇÃO À ÁREA DE PISO: PROJETO  
REFERÊNCIA**

Projeto Referência											
Local	Orientação Solar	m <sup>2</sup> total	Esquadria	nº de esquadrias	L esquadria	H esquadria	L abertura	H abertura	m <sup>2</sup> Abertura	m <sup>2</sup> portas	%A em relação ao Piso
Creche 1	Norte	49.34 m <sup>2</sup>	EF-19	3.00 und	1.20 m	1.20 m	0.57 m	1.16 m	1.97 m <sup>2</sup>	3.02 m <sup>2</sup>	15.4%
Creche 1	Leste		EF-32	5.00 und	0.60 m	0.60 m	0.56 m	0.28 m	0.78 m <sup>2</sup>		
Creche 1	Oeste		EF-31	1.00 und	1.80 m	1.60 m	1.18 m	1.55 m	1.83 m <sup>2</sup>		
Creche 2	Leste	33.85 m <sup>2</sup>	EF-31	2.00 und	1.80 m	1.60 m	1.18 m	1.55 m	3.66 m <sup>2</sup>	3.02 m <sup>2</sup>	30.6%
Creche 2	Sul		EF-31	2.00 und	1.80 m	1.60 m	1.18 m	1.55 m	3.66 m <sup>2</sup>		
Creche 3	Leste	31.00 m <sup>2</sup>	EF-31	1.00 und	1.80 m	1.60 m	1.18 m	1.55 m	1.83 m <sup>2</sup>	3.02 m <sup>2</sup>	27.5%
Creche 3	Sul		EF-31	1.00 und	1.80 m	1.60 m	1.18 m	1.55 m	1.83 m <sup>2</sup>		
Creche 3	Oeste		EF-31	1.00 und	1.80 m	1.60 m	1.18 m	1.55 m	1.83 m <sup>2</sup>		
Pré-Escola	Sul	34.00 m <sup>2</sup>	EF-31	2.00 und	1.80 m	1.60 m	1.18 m	1.55 m	3.66 m <sup>2</sup>	3.02 m <sup>2</sup>	30.4%
Pré-Escola	Leste		EF-31	2.00 und	1.80 m	1.60 m	1.18 m	1.55 m	3.66 m <sup>2</sup>		

**APÊNDICE D– PORCENTAGEM DE ABERTURA PARA  
VENTILAÇÃO EM RELAÇÃO À ÁREA DE PISO: MODIFICAÇÕES  
POR ZONAS BIOCLIMÁTICAS**

Zonas 1 a 6											
Local	Orientação Solar	m <sup>2</sup> total	Esquadria	nº de esquadrias	L esquadria	H esquadria	L abertura	H abertura	m <sup>2</sup> Abertura	m <sup>2</sup> portas	%A em relação ao Piso
Creche 1	Norte	49.34 m <sup>2</sup>	EF-19	3.00 und	1.20 m	1.20 m	0.57 m	1.16 m	1.97 m <sup>2</sup>	3.02 m <sup>2</sup>	15.4%
Creche 1	Leste		EF-32	5.00 und	0.60 m	0.60 m	0.56 m	0.28 m	0.78 m <sup>2</sup>		
Creche 1	Oeste		EF-31	1.00 und	1.80 m	1.60 m	1.18 m	1.55 m	1.83 m <sup>2</sup>		
Creche 2	Leste	33.85 m <sup>2</sup>	EF-31	2.00 und	1.50 m	1.30 m	0.88 m	1.25 m	2.20 m <sup>2</sup>	3.02 m <sup>2</sup>	21.9%
Creche 2	Sul		EF-31	2.00 und	1.50 m	1.30 m	0.88 m	1.25 m	2.20 m <sup>2</sup>		
Creche 3	Leste	31.00 m <sup>2</sup>	EF-31	1.00 und	1.50 m	1.30 m	0.88 m	1.25 m	1.10 m <sup>2</sup>	3.02 m <sup>2</sup>	20.4%
Creche 3	Sul		EF-31	1.00 und	1.50 m	1.30 m	0.88 m	1.25 m	1.10 m <sup>2</sup>		
Creche 3	Oeste		EF-31	1.00 und	1.50 m	1.30 m	0.88 m	1.25 m	1.10 m <sup>2</sup>		
Pré-Escola	Sul	34.00 m <sup>2</sup>	EF-31	2.00 und	1.50 m	1.30 m	0.88 m	1.25 m	2.20 m <sup>2</sup>	3.02 m <sup>2</sup>	21.8%
Pré-Escola	Leste		EF-31	2.00 und	1.50 m	1.30 m	0.88 m	1.25 m	2.20 m <sup>2</sup>		
Zona 7											
Local	Orientação Solar	m <sup>2</sup> total	Esquadria	nº de esquadrias	L esquadria	H esquadria	L abertura	H abertura	m <sup>2</sup> Abertura	m <sup>2</sup> portas	%A em relação ao Piso
Creche 1	Norte	49.34 m <sup>2</sup>	EF-19	3.00 und	1.20 m	1.20 m	0.57 m	1.16 m	1.97 m <sup>2</sup>	3.02 m <sup>2</sup>	12.6%
Creche 1	Leste		EF-32	5.00 und	0.60 m	0.60 m	0.56 m	0.28 m	0.78 m <sup>2</sup>		
Creche 1	Oeste		EF-31	1.00 und	1.10 m	1.00 m	0.48 m	0.95 m	0.46 m <sup>2</sup>		
Creche 2	Leste	33.85 m <sup>2</sup>	EF-31	2.00 und	1.10 m	1.00 m	0.48 m	0.95 m	0.91 m <sup>2</sup>	3.02 m <sup>2</sup>	14.3%
Creche 2	Sul		EF-31	2.00 und	1.10 m	1.00 m	0.48 m	0.95 m	0.91 m <sup>2</sup>		
Creche 3	Leste	31.00 m <sup>2</sup>	EF-31	1.00 und	1.10 m	1.00 m	0.48 m	0.95 m	0.46 m <sup>2</sup>	3.02 m <sup>2</sup>	14.2%
Creche 3	Sul		EF-31	1.00 und	1.10 m	1.00 m	0.48 m	0.95 m	0.46 m <sup>2</sup>		
Creche 3	Oeste		EF-31	1.00 und	1.10 m	1.00 m	0.48 m	0.95 m	0.46 m <sup>2</sup>		
Pré-Escola	Sul	34.00 m <sup>2</sup>	EF-31	2.00 und	1.10 m	1.00 m	0.48 m	0.95 m	0.91 m <sup>2</sup>	3.02 m <sup>2</sup>	14.3%
Pré-Escola	Leste		EF-31	2.00 und	1.10 m	1.00 m	0.48 m	0.95 m	0.91 m <sup>2</sup>		
Zona 8											
Local	Orientação Solar	m <sup>2</sup> total	Esquadria	nº de esquadrias	L esquadria	H esquadria	L abertura	H abertura	m <sup>2</sup> Abertura	m <sup>2</sup> portas	%A em relação ao Piso
Creche 1	Norte	49.34 m <sup>2</sup>	EF-19	3.00 und	2.10 m	2.10 m	1.47 m	2.06 m	9.05 m <sup>2</sup>	3.02 m <sup>2</sup>	41.5%
Creche 1	Leste		EF-32	5.00 und	1.20 m	1.20 m	1.16 m	0.88 m	5.10 m <sup>2</sup>		
Creche 1	Oeste		EF-31	1.00 und	2.30 m	2.00 m	1.68 m	1.95 m	3.28 m <sup>2</sup>		
Creche 2	Leste	33.85 m <sup>2</sup>	EF-31	2.00 und	2.30 m	2.00 m	1.68 m	1.95 m	6.56 m <sup>2</sup>	3.02 m <sup>2</sup>	47.7%
Creche 2	Sul		EF-31	2.00 und	2.30 m	2.00 m	1.68 m	1.95 m	6.56 m <sup>2</sup>		
Creche 3	Leste	31.00 m <sup>2</sup>	EF-31	1.00 und	2.30 m	2.00 m	1.68 m	1.95 m	3.28 m <sup>2</sup>	3.02 m <sup>2</sup>	41.5%
Creche 3	Sul		EF-31	1.00 und	2.30 m	2.00 m	1.68 m	1.95 m	3.28 m <sup>2</sup>		
Creche 3	Oeste		EF-31	1.00 und	2.30 m	2.00 m	1.68 m	1.95 m	3.28 m <sup>2</sup>		
Pré-Escola	Sul	34.00 m <sup>2</sup>	EF-31	2.00 und	2.30 m	2.00 m	1.68 m	1.95 m	6.56 m <sup>2</sup>	3.02 m <sup>2</sup>	47.5%
Pré-Escola	Leste		EF-31	2.00 und	2.30 m	2.00 m	1.68 m	1.95 m	6.56 m <sup>2</sup>		

## **APÊNDICE E– CÁLCULO DO ATRASO TÉRMICO, TRANSMITÂNCIA E CAPACIDADE TÉRMICA**

Comprimento do telhado:	5.85m
Largura do telhado:	7.70m
espessura equivalente do ar:	0.75m
Altura de abertura para ventilação no beiral:	0.05m
Material da telha:	Telha de Barro
densidade ( $\rho$ ):	1900kg/m <sup>3</sup>
condutividade ( $\lambda$ ):	1.05W/(m.K)
calor específico (c):	0.92kJ/(kg.K)
espessura (e):	0.01m
Material do forro:	Concreto
densidade ( $\rho$ ):	2400kg/m <sup>3</sup>
condutividade ( $\lambda$ ):	1.75W/(m.K)
calor específico (c):	1.00kJ/(kg.K)
espessura (e):	0.08m
Material do forro 2:	Argamassa
densidade ( $\rho$ ):	2000kg/m <sup>3</sup>
condutividade ( $\lambda$ ):	1.15W/(m.K)
calor específico (c):	1.00kJ/(kg.K)
espessura (e):	0.025m
Material da camada Externa:	Telha de Barro
densidade ( $\rho$ ):	1900kg/m <sup>3</sup>
condutividade ( $\lambda$ ):	1.05W/(m.K)
calor específico (c):	0.92kJ/(kg.K)
espessura (e):	0.01m
emissividade ( $\epsilon$ ):	0.9

Verificação das condições de ventilação da câmara de ar:

$$S = 5850\text{cm}^2$$

$$A = 45.05\text{m}^2$$

$$S/A = 130\text{cm}^2/\text{m}^2$$

Câmara de ar muito ventilada

$$R_{ar,ver\tilde{a}o} = 0.21\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$$

$$R_{ar,inverno} = 0.14\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$$

a) No Verão (fluxo descendente)

$$R_{se} = 0.04\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$$

$$R_{si} = 0.17\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$$

$$R_t = \frac{e_{telha}}{\lambda_{telha}} + R_{ar} + \frac{e_{forro}}{\lambda_{forro}} = 0.29\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$$

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} = 0.50\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$$

$$U = \frac{1}{R_T} = 2.01\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$$

b) No Inverno (fluxo ascendente)

$$R_{se} = 0.04 \text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

$$R_{si} = 0.10 \text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

$$R_T = 2 \cdot R_{si} + \frac{e_{forro}}{\lambda_{forro}} = 0.27 \text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

$$U = \frac{1}{R_T} = 3.74 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

c) Capacidade Térmica da Cobertura

$$C_T = \sum_{i=1}^3 e_i c_i \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{telha} + (e \cdot c \cdot \rho)_{ar} + (e \cdot c \cdot \rho)_{forro} = 259.48 \text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

d) Atraso Térmico

$$B_0 = C_T - C_{T_{ext}} = 242.00$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} = 190.58$$

$$B_2 = 0,205 \cdot \left( \frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{R_t} \right) \cdot \left( R_{ext} - \frac{R_t - R_{ext}}{10} \right) = -23.89$$

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} = 5.48 \text{Horas}$$