

UNIVERSIDADE FUMEC
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - FEA

Felipe Ervilha Ferreira Pinto

**ESTUDO COMPARATIVO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS
HABITACIONAIS DE INTERESSE SOCIAL CONSTRUÍDOS EM LIGHT STEEL
FRAMING E EM PAREDES DE CONCRETO MOLDADAS IN LOCO**

Prof. Me. Oswaldo Teixeira Baião Filho (Orientador)
Prof. Dra. Judy Norka Rodo de Mantilla (Coorientadora)

Belo Horizonte
Julho/2018

Felipe Ervilha Ferreira Pinto

**ESTUDO COMPARATIVO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS
HABITACIONAIS DE INTERESSE SOCIAL CONSTRUÍDOS EM LIGHT STEEL
FRAMING E EM PAREDES DE CONCRETO MOLDADAS IN LOCO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Processos Construtivos da Universidade FUMEC, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Processos Construtivos.

Orientador: Prof. Me. Oswaldo Teixeira Baião Filho
Coorientadora: Prof. Dra. Judy Norka Rodo de Mantilla

Belo Horizonte
Julho/2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

P659e Pinto, Felipe Ervilha Ferreira, 1991 -
Estudo comparativo da eficiência energética em edifícios habitacionais de interesse social construídos em *light steel framing* e em paredes de concreto moldadas *in loco* / Felipe Ervilha Ferreira Pinto. – Belo Horizonte, 2018.
126 f. : il. ; 29,7 cm

Orientador: Oswaldo Teixeira Baião Filho

Coorientadora: Judy Norka Rodo de Mantilla

Dissertação (Mestrado em Processos Construtivos), Universidade FUMEC, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Belo Horizonte, 2018.

1. Habitações - Aspectos sociais - Brasil. 2. Padrões de desempenho - Habitações. 3. Construção civil - Brasil. I. Título. II. Baião Filho, Oswaldo Teixeira. III. Mantilla, Judy Norka Rodo de. IV. Universidade FUMEC, Faculdade de Engenharia e Arquitetura.

CDU: 69

Felipe Ervilha Ferreira Pinto

**ESTUDO COMPARATIVO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS
HABITACIONAIS DE INTERESSE SOCIAL CONSTRUÍDOS EM LIGHT STEEL
FRAMING E EM PAREDES DE CONCRETO MOLDADAS IN LOCO**

Prof. Me. Oswaldo Teixeira Baião Filho (Orientador)

Prof. Dr. Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco (Convidado)

Prof. Dra. Cynara Fiedler Bremer (Convidado)

Belo Horizonte

Julho/2018

AGRADECIMENTO

Ao longo dos últimos anos pude contar com o apoio fundamental de algumas pessoas, que apoiaram direta ou indiretamente na elaboração deste trabalho.

Agradeço em primeiro lugar a Deus, por colocar sempre as pessoas certas no meu caminho. Agradeço também aos meus pais, Cláudio e Cláudia, pelo apoio incondicional e por seguirem ao meu lado ao longo da minha caminhada. Aos professores Oswaldo Baião e Judy Norka, pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho. Agradeço também a todos os demais profissionais que de alguma forma contribuíram com o desenvolvimento das pesquisas, e aos quais sou eternamente grato. Por fim, aos amigos, familiares, colegas e mestres, por terem sido grandes incentivadores durante o percurso.

“Deus nos concede, a cada dia, uma página de vida no livro do tempo. Aquilo que colocamos nela, corre por nossa conta.”

(Chico Xavier)

“É capaz quem pensa que é capaz. É melhor conquistar a si mesmo do que vencer mil batalhas.”

(Buda)

“Sê humilde para evitar o orgulho, mas voa alto para alcançar a sabedoria.”

(Santo Agostinho)

RESUMO

Este estudo tem como escopo a análise do desempenho térmico da envoltória em edificações habitacionais de interesse social, nos sistemas construtivos de Light Steel Framing e Paredes de concreto moldadas in loco. As edificações foram avaliadas a partir do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética para Edificações Residenciais. Para tanto, foram selecionadas três cidades representativas das zonas bioclimáticas 2, 3 e 8, o que possibilitou comparações em diversas regiões brasileiras. As cidades selecionadas foram Passo Fundo – RS, Belo Horizonte – MG e Manaus – AM. Verificou-se que, de acordo com a metodologia utilizada, o sistema construtivo em paredes de concreto moldadas in loco obteve resultados mais satisfatório que o sistema em Light Steel Framing, em todas as zonas bioclimáticas estudadas. Constatou-se também que as avaliações da envoltória realizadas para a condição de inverno apresentaram resultados insatisfatórios em alguns casos, sobretudo nas regiões de clima mais frio, nos dois sistemas construtivos analisados.

Palavras-chave: Habitações de interesse social, Eficiência energética, Sistemas construtivos.

ABSTRACT

This study aims to analyze the thermal performance in social edifications, with Light Steel Framing and concrete walls. The buildings were evaluated by the Technical Regulation of Quality for the Energy Efficiency Level for Residential Buildings. Three representative cities of the bioclimatic zones 2, 3 and 8 were considered, which made possible the comparisons in different Brazilian regions. The selected cities were Passo Fundo - RS, Belo Horizonte - MG and Manaus - AM. It was verified that, according to the methodology used, the concrete system obtained more satisfactory results than Light Steel Framing system, in all bioclimatic zones studied. It was also possible to verify that the evaluations that were made for winter condition present unsatisfactory results in some cases, mainly in the regions of colder climate, in both constructive systems analyzed.

Keywords: Social edifications, Energy efficiency, Construction systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de Light Steel Framing	22
Figura 2: Sistema construtivo em paredes de concreto	24
Figura 3: Mapa do zoneamento bioclimático brasileiro	24
Figura 4: Organograma da avaliação energética da envoltória	31
Figura 5: Classificação das UHs e da Edificação Multifamiliar	39
Figura 6: Fluxograma com as etapas de estudo do trabalho.....	40
Figura 7: Planta original padrão MCMV	42
Figura 8: Planta padrão do sistema de Light Steel Framing.....	46
Figura 9: Planta padrão do sistema de paredes de concreto	47
Figura 10: Identificação das paredes externas dos APP do sistema de Light Steel Framing.....	48
Figura 11: Identificação de paredes externas dos APP do sistema de paredes de concreto	49
Figura 12: Identificação das paredes internas dos APP	50
Figura 13: Composição das paredes externas do sistema de Light Steel Framing...51	
Figura 14: Composição das paredes externas do sistema de paredes de concreto	52
Figura 15: Componentes da cobertura do sistema de Light Steel Framing.....	52
Figura 16: Características térmicas da cobertura.....	53
Figura 17: UHs de Final 01.....	59
Figura 18: UHs de Final 02.....	60
Figura 19: UHs de Final 03.....	61
Figura 20: UHs de Final 04.....	62
Figura 21: Orientação solar dos APP	84
Figura 22: Perspectiva sul-oeste da edificação no sistema de Light Steel Framing	103
Figura 23: Perspectiva norte-leste no sistema de Light Steel Framing	103
Figura 24: Corte AA no sistema de Light Steel Framing	104
Figura 25: Corte BB no sistema de Light Steel Framing	104
Figura 26: Fachada Oeste no sistema de Light Steel Framing	105
Figura 27: Fachada Norte no sistema de Light Steel Framing	105
Figura 28: Fachada Leste no sistema de Light Steel Framing	106
Figura 29: - Fachada Sul no sistema de Light Steel Framing.....	106

Figura 30: Perspectiva sul-oeste no sistema de paredes de concreto	107
Figura 31: Perspectiva norte-leste no sistema de paredes de concreto	107
Figura 32: Corte AA no sistema de paredes de concreto	108
Figura 33: Corte BB no sistema de paredes de concreto	108
Figura 34: Fachada oeste no sistema de paredes de concreto	109
Figura 35: Fachada norte no sistema de paredes de concreto	109
Figura 36: Fachada leste no sistema de paredes de concreto	110
Figura 37: Fachada sul no sistema de paredes de concreto	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Determinação da eficiência da envoltória para resfriamento.....	33
Tabela 2: Determinação da eficiência da envoltória para aquecimento	33
Tabela 3: Exemplo de determinação do EqNumEnvResf	35
Tabela 4: exemplo de determinação do EqNumEnvA.....	35
Tabela 5: Determinação do nível geral de eficiência da envoltória	36
Tabela 6: Limites estipulados para transmitância e capacidade térmica e absortância solar	37
Tabela 7: Coeficientes térmicos das envoltórias	54
Tabela 8: Determinação da área das paredes internas dos APP	64
Tabela 9: Valores médios horários de temperatura mensal de Passo Fundo (ZB2)	65
Tabela 10: Valores médios horários de temperatura mensal de Belo Horizonte (ZB3)	66
Tabela 11: Valores médios horários de temperatura mensal de Manaus (ZB8).....	67
Tabela 12: Desempenho térmico da envoltória para verão na ZB2	69
Tabela 13: Desempenho térmico da envoltória para inverno na ZB2.....	70
Tabela 14: Desempenho térmico da envoltória para verão na ZB3	71
Tabela 15: Desempenho térmico da envoltória para inverno na ZB3.....	72
Tabela 16: Desempenho térmico da envoltória para verão na ZB8	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Planilha de cálculo de desempenho da envoltória do ambiente	33
Quadro 2: Planilha de pré-requisitos por ambiente	36
Quadro 3: Pré-requisitos da UH	38
Quadro 4: Coeficientes térmicos das envoltórias	54
Quadro 5: Determinação das áreas de abertura	56
Quadro 6: Determinação das áreas de abertura para iluminação	57
Quadro 7: Determinação das áreas de abertura para ventilação	58
Quadro 8: Determinação da área das paredes externas das UHs de Final 01	59
Quadro 9: Determinação da área das paredes externas das UHs de Final 02	60
Quadro 10: Determinação da área das paredes externas das UHs de Final 03	61
Quadro 11: Determinação da área das paredes externas das UHs de Final 04	62
Quadro 12: Determinação da área das paredes internas dos APP	63
Quadro 13: Avaliação dos APPs para verão nos pavimentos 1 e 2	74
Quadro 14: Avaliação dos APPs para verão nos pavimentos 3 e 4	75
Quadro 15: Avaliação dos APPs para inverno	76
Quadro 16: Avaliação dos APPs para inverno	77
Quadro 17: Avaliação das UHs para verão	78
Quadro 18: Avaliação das UHs para inverno	79
Quadro 19: Avaliação final das UHs.....	80
Quadro 20: Avaliação final das edificações multifamiliares	80
Quadro 21: Pré-requisitos do sistema construtivo	82
Quadro 22: Pré-requisitos do sistema construtivo	82
Quadro 23: Resultados encontrados para a envoltória de verão em todas as ZBs...	93
Quadro 24: Coeficientes térmicos das envoltórias	111
Quadro 25: Indicadores de Graus-hora para Resfriamento e do Consumo Relativo para Aquecimento	112
Quadro 26: Indicadores de Graus-hora para Resfriamento e do Consumo Relativo para Aquecimento	113
Quadro 27: Indicadores de Graus-hora para Resfriamento e do Consumo Relativo para Aquecimento	113
Quadro 28: Pré-requisitos da envoltória dos APP	115
Quadro 29: Pré-requisitos de iluminação natural	116

Quadro 30: Pré-requisitos de ventilação natural	117
Quadro 31: Pontuação para verão e inverno dos APP	118
Quadro 32: Pontuação para verão e inverno dos APP.....	118
Quadro 33: Pontuação para verão e inverno dos APP.....	119
Quadro 34: Pré-requisitos da envoltória das UHs	120
Quadro 35: Pontuação para verão e inverno da UH	121
Quadro 36: Bonificações relacionadas à Ventilação Natural.....	122
Quadro 37: Bonificações relacionadas à Iluminação Natural	123
Quadro 38: Outras Bonificações	123
Quadro 39: Pré-requisitos do sistema de aquecimento de água.....	124
Quadro 40: Avaliação final da UH	125

LISTA DE SIGLAS

A.....	Área (m ²)
Apa.....	Área de piso do ambiente (m ²)
AU	Área útil (m ²)
AUamb	Área útil do ambiente (m ²)
Alfa (α).....	Absortância térmica das superfícies
Alfa cob (α cob)	Absortância solar da cobertura
Alfa par (α par)	Absortância solar da parede
Amb	Ambiente
AAb	Área da Abertura (m ²)
AAbL	Área da Abertura Leste (m ²)
AAbN.....	Área da Abertura Norte (m ²)
AAbO.....	Área da Abertura Oeste (m ²)
AAbS	Área da Abertura Sul (m ²)
Ailum	Área de iluminação (m ²)
Apa.....	Área de piso do ambiente (m ²)
APamb	Áreas de parede externa do ambiente (m ²)
APambL	Área de parede externa do ambiente voltada para o Leste (m ²)
APambN.....	Área de parede externa do ambiente voltada para o Norte (m ²)
APambO.....	Área de parede externa do ambiente (m ²)
APambS	Área de parede externa do ambiente voltada para o Sul (m ²)
AparInt.....	Área das paredes internas, excluindo as aberturas (m ²)
APP	Ambiente de permanência prolongada
Avent	Área de ventilação (m ²)
CA	Consumo relativo para aquecimento (kWh/m ²)
Caltura.....	Coeficiente de altura
CD	Coeficiente de descarga
CQ.....	Coeficiente de fluxo de ar por frestas
CP	Coeficiente de pressão superficial
CR.....	Coeficiente de resfriamento
CT	Capacidade térmica (J/K)
CT par	Capacidade térmica da parede
Cob.....	Cobertura

Env	Envoltória
EqNum	Equivalente numérico
EqNumAA	Equivalente numérico do sistema de aquecimento de água
EqNumEnv	Equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória da unidade habitacional autônoma quando ventilada naturalmente
FSo	Fator de ganho de calor solar de elementos opacos (%)
FT	Fator de correção da transmitância
FV	Fator Ventilação
GHR	Graus-hora de resfriamento
IS	Instalação sanitária
Isol	Isolamento nas paredes externas e coberturas
L	Leste
M	Médio (tamanho das aberturas)
m	Metro ou metros
máx	Máximo (a)
mín	Mínimo (a)
N	Norte
O	Oeste
Par	Parede
phi (ϕ)	Atraso térmico (horas)
pil	Contato externo do piso do ambiente com o exterior através de pilotis
P	Pequeno (tamanho das aberturas)
PD	Pé-direito do ambiente (m)
PTUH	Pontuação total do nível de eficiência da unidade habitacional autônoma
Ren/h	Taxa de renovação do volume do ar por hora
RT	Resistência térmica total (m ² .K/W)
S	Sul
Solo	Contato do piso do ambiente com o solo
Somb	Sombreamento (dispositivos de proteção solar externo às aberturas)
T	Temperatura (°C)
TO	Temperatura operativa (°C)

U.....Transmitância térmica (W/m².K)
U cob / par.....Transmitância térmica da cobertura / parede (W/m².K)
Uvid.....Transmitância térmica do vidro (W/m².K)
UH.....Unidade habitacional autônoma
Vid.....existência de vidro duplo no ambiente
ZB.....Zona bioclimática

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	OBJETIVO.....	18
1.2	JUSTIFICATIVA	18
2	PESQUISA BIBLIOGRAFICA.....	19
2.1	Processo de industrialização na construção civil	19
2.2	Construções habitacionais no Brasil.....	19
2.3	Processos construtivos industrializados	20
2.3.1	<i>Estrutura de aço em sistema Light Steel Framing.....</i>	<i>21</i>
2.3.2	<i>Estrutura em paredes de concreto moldadas in loco.....</i>	<i>23</i>
2.4	Sustentabilidade e conforto térmico.....	24
2.5	Eficiência energética em edificações.....	28
2.5.1	<i>Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais</i>	<i>30</i>
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
3.1	Identificação do Projeto	42
3.1.1	<i>Identificação do sistema construtivo em Light Steel Framing</i>	<i>46</i>
3.1.2	<i>Identificação do sistema construtivo em Paredes de concreto moldadas in loco.....</i>	<i>47</i>
3.1.3	<i>Identificação das paredes externas dos ambientes de permanência prolongada na Situação 1: LSF.....</i>	<i>48</i>
3.1.4	<i>Identificação das paredes externas dos ambientes de permanência prolongada na Situação 2: CONC.....</i>	<i>49</i>
3.1.5	<i>Identificação das paredes internas dos Ambientes de Permanência Prolongada na Situação 1: LSF e na Situação 2: CONC.....</i>	<i>50</i>
3.1.6	<i>Detalhamento das paredes externas do sistema de Light Steel Framing.....</i>	<i>51</i>
3.1.7	<i>Detalhamento das paredes externas do sistema de paredes de concreto moldadas in loco.....</i>	<i>51</i>
3.1.8	<i>Detalhamento da cobertura do sistema de Light Steel Framing</i>	<i>52</i>
3.1.9	<i>Detalhamento da cobertura do sistema de paredes de concreto moldadas in loco.....</i>	<i>53</i>
3.2	Especificações.....	53
3.2.1	<i>Parâmetros relacionados aos coeficientes térmicos da envoltória</i>	<i>53</i>

3.2.2	<i>Determinação das características da edificação</i>	54
3.2.3	<i>Determinação das áreas de abertura</i>	55
3.2.4	<i>Determinação da área das paredes externas dos ambientes de permanência prolongada</i>	58
3.2.5	<i>Determinação da área das paredes internas dos ambientes de permanência prolongada</i>	63
3.3	Caracterização climática das cidades selecionadas	64
4	RESULTADOS	68
4.1	Resultados dos indicadores de graus-hora para resfriamento (GHR) e consumo relativo para aquecimento (CA) dos ambientes de permanência prolongada (APP)	68
4.1.1	<i>Resultados de GHR e CA dos APPs na Zona Bioclimática 2</i>	69
4.1.2	<i>Resultados de GHR e CA dos APPs na Zona Bioclimática 3</i>	70
4.1.3	<i>Resultados de GHR dos APPs na Zona Bioclimática 8</i>	72
4.2	Resultados das avaliações das envoltórias dos APPs para verão e inverno	73
4.2.1	<i>Resultados das avaliações das envoltórias dos APPs para verão</i>	73
4.2.2	<i>Resultados das avaliações dos APPs para inverno</i>	75
4.3	Resultados das avaliações das UHs	77
4.4	Resultados das avaliações finais das edificações multifamiliares	80
5	ANÁLISE DE RESULTADOS	81
5.1	Análise dos indicadores de Graus-hora para Resfriamento (GHR)	83
5.2	Análise dos indicadores de Consumo Relativo para Aquecimento (CA)	89
5.3	Análise da avaliação da envoltória para verão dos APP	92
5.4	Análise da avaliação da envoltória para inverno dos APP	94
5.5	Análise da avaliação da envoltória para verão das UHs	95
5.6	Análise da avaliação da envoltória para inverno das UHs	96
5.7	Análise da avaliação final da envoltória das UHs	97
5.8	Análise da avaliação das edificações multifamiliares	97
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	99
6.1	Sugestões para trabalhos futuros	99
	REFERÊNCIAS	100
	ANEXOS	103
	APÊNDICES	111

APÊNDICE A - LEVANTAMENTO DE DADOS DE ENTRADA REFERENTES AOS COEFICIENTES TÉRMICOS DAS ENVOLTÓRIAS.....	111
APÊNDICE B - DETERMINAÇÃO DOS INDICADORES DE GRAUS-HORA PARA RESFRIAMENTO (GHR) E DO CONSUMO RELATIVO PARA AQUECIMENTO (CA)	
112	
APÊNDICE C - DETERMINAÇÃO DOS DADOS ARQUITETÔNICOS QUE INTERFEREM NA AVALIAÇÃO DA ENVOLTÓRIA DOS AMBIENTES DE PERMANÊNCIA PROLONGADA.....	115
ANPÊNDICE D - DETERMINAÇÃO DA AVALIAÇÃO PARA VERÃO E INVERNO DOS APP	118
APÊNDICE E - DETERMINAÇÃO DOS DADOS ARQUITETÔNICOS QUE INTERFEREM NA AVALIAÇÃO DA ENVOLTÓRIA DA UH.....	120
APÊNDICE F - DETERMINAÇÃO DA AVALIAÇÃO DA ENVOLTÓRIA PARA VERÃO E INVERNO DA UH.....	121
APÊNDICE G - DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS INDICATIVOS DAS BONIFICAÇÕES.....	122
APÊNDICE H - DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS INDICATIVOS DO SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA	124
APÊNDICE I - DETERMINAÇÃO DA AVALIAÇÃO FINAL DA UH	125

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o Brasil passa por um momento de instabilidade política e econômica, no qual um dos principais setores atingidos tem sido o mercado da construção civil, que apresentou queda de 14,3% desde o segundo semestre de 2013, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017). Apesar do cenário desfavorável, quando o mercado da construção civil retomar seu crescimento é importante que o Brasil esteja preparado para produzir e construir com maior qualidade, visando o desenvolvimento de diversos setores e a redução do déficit habitacional. A importância de uma retomada no crescimento do país, aliada à construção de edifícios mais eficientes tende a valorizar os aspectos sustentáveis, na proposição de projetos ecologicamente viáveis, sustentados pelos conceitos de conforto térmico e eficiência energética.

O Protocolo de Quioto (1997) representou um marco importante para uma conscientização mundial da necessidade de um desenvolvimento mais sustentável. A partir do tratado internacional, que prevê compromissos rígidos na redução das emissões de gases que agravam o efeito estufa, os países participantes se viram obrigados a buscar soluções para reduzir as taxas de emissão de gases poluentes.

A NBR 15575:2013 – Edificações Habitacionais – Desempenho – representou um grande avanço em direção ao futuro das construções sustentáveis no Brasil, estipulando parâmetros mínimos obrigatórios de desempenho para novas edificações, no que tange os fatores de desempenho térmico, acústico, construtivo, dentre outros (ABNT, 2013).

Em uma época em que o uso racional dos materiais é assunto frequente em discussões envolvendo diversos setores, o olhar dos profissionais e da indústria passa a dar cada vez mais valor a técnicas e soluções que sirvam como base para o desenvolvimento de construções mais eficientes.

O trabalho desenvolvido compara a eficiência energética e o conforto térmico de dois sistemas construtivos distintos, Light Steel Framing e Paredes de concreto moldadas in loco, em edificações habitacionais de interesse social do programa “Minha Casa Minha Vida”.

1.1 OBJETIVO

Estudo comparativo da eficiência energética da envoltória em edifícios com sistemas construtivos em Light Steel Framing e em paredes de concreto moldadas in loco.

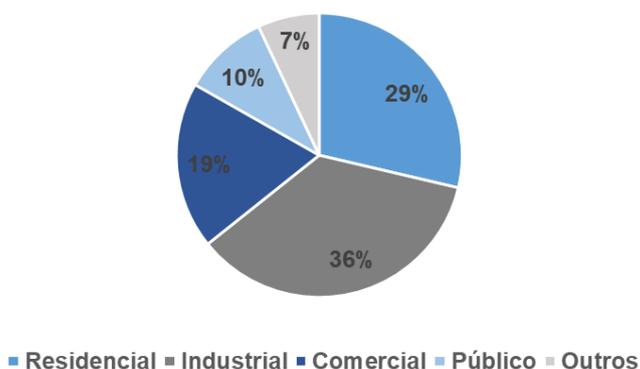
1.2 JUSTIFICATIVA

A análise da eficiência energética em edifícios é um tema atual e relevante para o desenvolvimento sustentável da construção civil brasileira, responsável por mais de 50% do consumo energético no Brasil (GRÁFICO 1), considerando o consumo em empreendimentos residenciais, comerciais e públicos. As metodologias existentes de avaliação da eficiência energética em edifícios apresentam critérios variados para a qualificação das edificações, visando economia energética e um maior conforto aos usuários.

A redução do déficit habitacional por meio de programas do governo como o Minha Casa Minha Vida é fator prioritário no desenvolvimento do país. As edificações construídas devem apresentar grande agilidade produtiva, sem perda de qualidade.

O estudo dos sistemas construtivos em Light Steel Framing e em parede de concreto moldadas in loco é importante para o aperfeiçoamento destas tecnologias, auxiliando engenheiros e arquitetos na escolha do melhor processo construtivo e na especificação dos materiais mais apropriados para cada região do país.

Gráfico 1: Consumo de energia por setor no Brasil



Fonte: Ministério de Minas e Energia (2017)

2 PESQUISA BIBLIOGRAFICA

2.1 Processo de industrialização na construção civil

A revolução industrial, iniciada na Europa na segunda metade do século XVIII, implementou grandes evoluções na construção civil. Os métodos de produção manufaturados foram sendo substituídos aos poucos pelos processos industriais. A inovação na procura por novos materiais e tecnologias e os conceitos de racionalização e otimização foram implementados em diversas áreas. O ferro e o vidro foram os primeiros materiais que passaram a ser utilizados na construção civil após a revolução industrial. Fato é que, após essa época, os sistemas construtivos evoluíram imensamente, amparados pela busca incessante do mercado por produtos cada vez mais inovadores e eficientes (CAMPOS, 2014).

2.2 Construções habitacionais no Brasil

Alguns marcos foram importantes para a política habitacional brasileira, como a criação do Banco Nacional de Habitação (BNH) em 1964, que durante algum tempo representou o principal subsídio a construções habitacionais urbanas, e os relatórios anuais de deficit habitacional publicados pela Fundação João Pinheiro (FJP) a partir do ano 2000, que representaram um divisor de águas na política habitacional brasileira, já que através destes relatórios foi possível dimensionar com maior precisão o deficit habitacional no país (RODRIGUES, 2013).

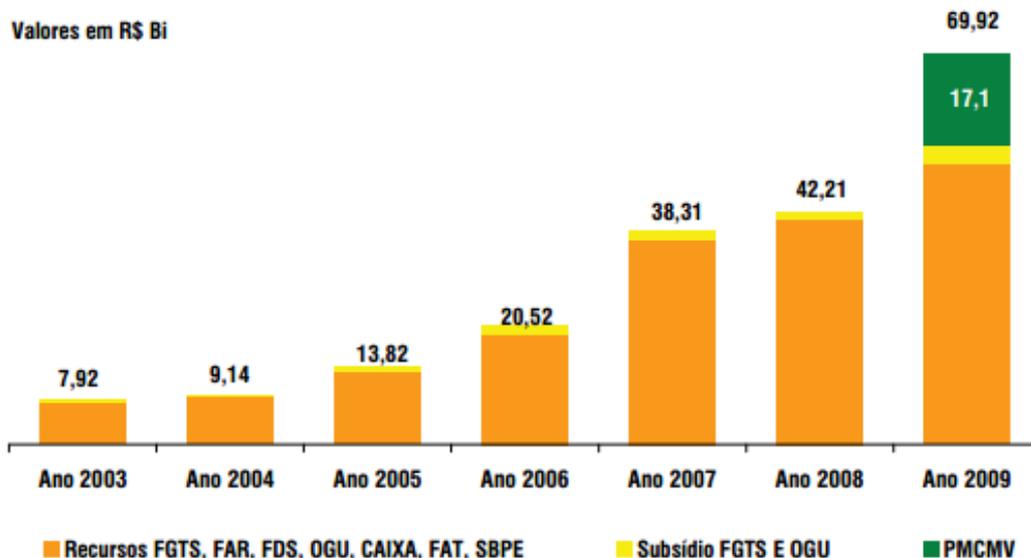
Segundo o relatório habitacional referente ao período 2013-2014 da Fundação João Pinheiro (FJP), o déficit habitacional estimado no Brasil correspondia a aproximadamente 5,846 milhões de domicílios, dos quais 85,7% localizados em áreas urbanas. A questão do déficit habitacional, considerada prioritária para o desenvolvimento do país, conduziu a um grande aumento nos investimentos com a criação do Programa Minha Casa Minha Vida (GRÁFICO 2), criado em 2009 pelo Governo Federal e subsidiado pela Caixa Econômica Federal.

Rodrigues (2013) revela que o Programa Nacional de Habitação (PLANHAB) previa a construção de 35 milhões de habitações até 2023.

Campos (2014) destaca que embora existam alguns fatores envolvidos na análise da qualidade de empreendimentos, apenas a redução de custos costuma ser

levada em consideração na construção de unidades habitacionais. A qualidade das edificações pode ser comprometida pela má execução, e a funcionalidade pode ser afetada pela replicação exacerbada e descriteriosa de projetos.

Gráfico 2: Investimentos em habitações sociais



Fonte: Rodrigues (2013)

De acordo com Campos (2014), a necessidade de habitações no Brasil deve considerar não apenas o déficit habitacional, como também a inadequação das moradias existentes, que influencia diretamente na qualidade de vida dos moradores. Portanto, a questão habitacional no Brasil não deve ser analisada apenas pela questão numérica, sendo necessária também uma atenção para a qualidade das edificações.

2.3 Processos construtivos industrializados

Após a Revolução Industrial os avanços na construção civil ocorreram inicialmente apenas no modo de produção dos materiais, e não nos métodos construtivos, que continuaram os mesmos. Com o passar do tempo, as tecnologias desenvolvidas para as indústrias automobilística e aeronáutica foram sendo implementadas na construção civil, levando ao surgimento de novos sistemas construtivos, como o desenvolvimento das construções metálicas e o surgimento do Light Steel Framing (CAMPOS, 2014).

2.3.1 Estrutura de aço em sistema Light Steel Framing

O aço é um dos materiais utilizados em construções mais versáteis do mundo, sendo um material reciclável, apesar de não ser proveniente de uma fonte renovável. O aço apresenta vantagens de manuseio e permite maior flexibilidade à concepção arquitetônica, conferindo maior agilidade de construção (Rego, 2012).

Mais antiga que o concreto armado, a estrutura metálica é uma solução largamente utilizada e consagrada nos países industrializados, como Inglaterra, França, Canadá e Estados Unidos, de onde vêm os grandes exemplos de edificações construídas em aço (DIAS, 1999).

A norma brasileira NBR 8800:2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios – representou um grande passo para incrementar com segurança a tecnologia das construções de edifícios estruturados em aço. A norma estabelece parâmetros de projeto e técnicas de cálculo para estruturas de aço e para estruturas mistas de aço e concreto, permitindo um maior domínio técnico através de uma base teórica confiável.

A introdução de elementos incorporados pré fabricados, como o sistema Light Steel Framing (LSF), acelerou o crescimento do uso das estruturas de aço em relação a outros materiais de construção, como o concreto (BATISTA, 2005).

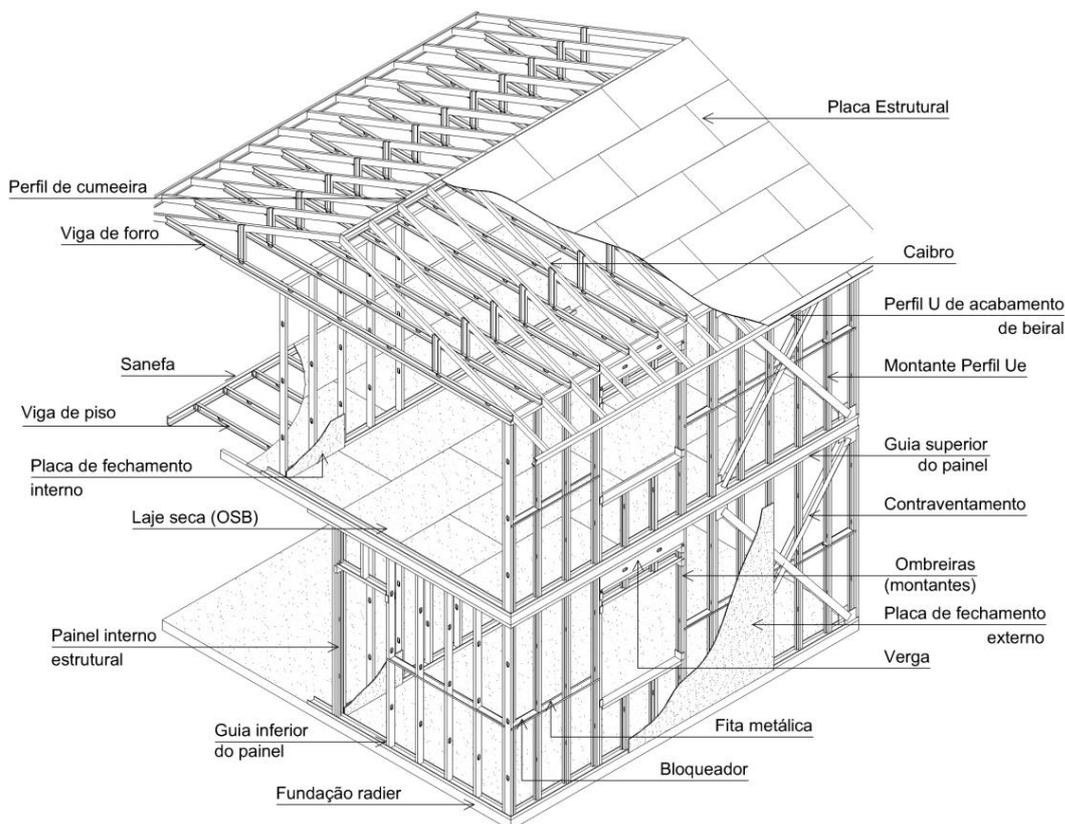
O LSF é um sistema construtivo em aço criado nos Estados Unidos como uma evolução do sistema Light Wood Framing (LWF). Este método construtivo foi criado a fim de solucionar o problema de combustão do sistema LWF, após um incêndio na cidade de Chicago. O primeiro protótipo de uma residência estruturada em LSF foi lançado em 1933 na Feira Mundial de Chicago, porém este sistema construtivo passou a ganhar espaço no mercado norte americano apenas a partir do final do século XX (CAMPOS, 2014).

A Caixa Econômica Federal incentiva a utilização desse sistema, tendo publicado em 2003 os requisitos e condições mínimos para o financiamento de construções em LSF, um sistema industrializado que possibilita construções a seco com grande rapidez. Sua estrutura é formada por perfis de aço galvanizado espaçados racionalmente, formando um esqueleto rígido auto-portante (CASTRO, 2005).

Segundo Castro (2005) e Campos (2014), o sistema LSF não se resume apenas à estrutura, como também aos componentes e subsistemas, compostos pelos

sistemas de isolamento, fechamento interno e externo, fundações e instalações (FIGURA 1).

Figura 1: Sistema de Light Steel Framing



Fonte: CASTRO (2005)

Castro (2005) descreve que o sistema é composto basicamente de paredes, pisos e cobertura, que em conjunto garantem a integridade estrutural das edificações. As paredes são compostas de perfis galvanizados com espaçamento de 40cm ou 60cm e de painéis de vedação em placa cimentícia e OSB (externo) e gesso acartonado (interno). As chapas de OSB são produzidas com filamentos de madeira e além de funcionarem como vedações também apresentam função estrutural.

Buscando um melhor desempenho termo-acústico, a lã de vidro, a lã de rocha e a lã de PET são utilizadas no sistema LSF. A lã de rocha, ou lã mineral, é um tipo de fibra produzida através de rochas basálticas e de outros minerais, apresentando basicamente as mesmas características da lã de vidro, porém sem perigos no manuseio (REGO, 2012).

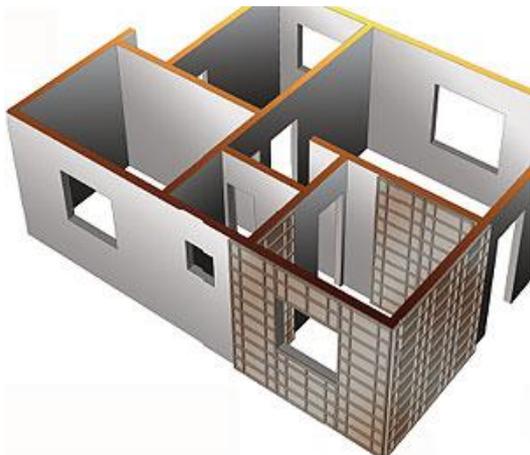
A NBR 15253:2014 – Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações – Requisitos gerais – estabelece os requisitos gerais e os métodos de ensaio do LSF.

2.3.2 Estrutura em paredes de concreto moldadas *in loco*

O sistema construtivo em paredes de concreto seguindo a implantação em formato “H” compõe o modelo construtivo comumente adotado em habitações de interesse social de até quatro pavimentos no Brasil. O sistema é amplamente utilizado em razão da sua rapidez e baixo custo em comparação a outros métodos construtivos, já que as vedações são executadas *in loco* em um único processo de concretagem (OLIVEIRA, 2015).

A norma brasileira 16.055:2012 – Parede de Concreto Moldada no local para a construção de edificações: Requisitos e procedimentos – da ABNT, estabelece parâmetros para a construção em paredes de concreto (FIGURA 2), sistema em que todas as paredes compõem a estrutura da edificação, sendo todas elas construídas em concreto armado. Todas as paredes de cada ciclo construtivo são moldadas em uma única etapa de concretagem, permitindo que após a desforma as paredes já contenham todos os vãos de abertura instalados. Desde o lançamento da norma o sistema tem apresentado crescimento significativo, principalmente em empreendimentos governamentais, devido à sua rapidez e ao baixo custo. Neste método construtivo, todos os elementos estruturais são executados em concreto armado, com o uso de fôrmas, que podem ser de metal, madeira ou plástico e devem estar ligadas umas às outras por meio de conectores. As fôrmas de metal possuem maior durabilidade, porém são mais pesadas que as de madeira. Por sua vez, as fôrmas de plástico são as mais leves dentre as três opções, porém se deformam com maior facilidade (CARVALHO, 2012).

Figura 2: Sistema construtivo em paredes de concreto

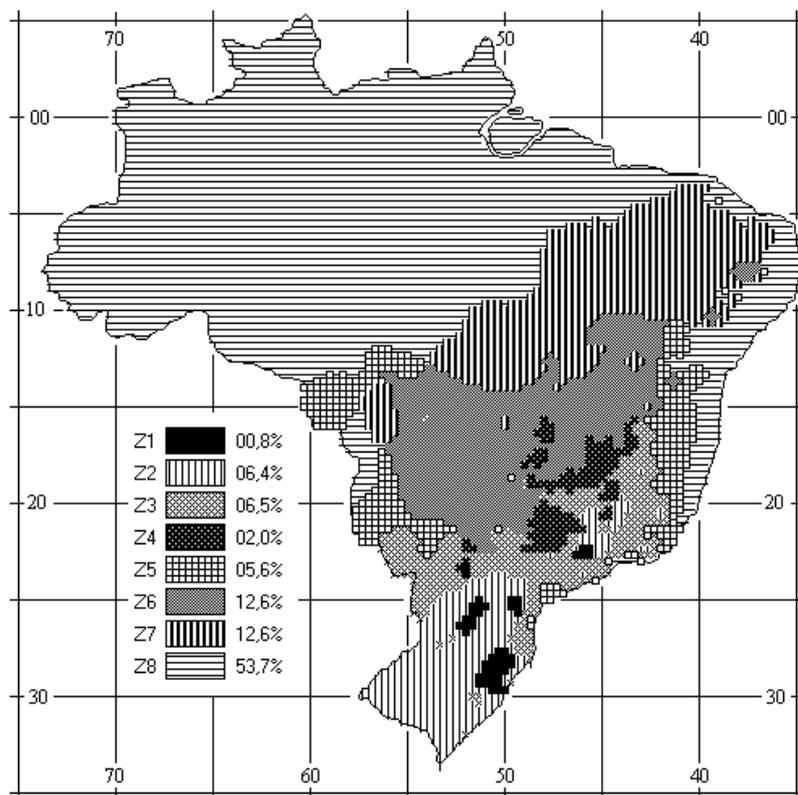


Fonte: MATCON (2017)

2.4 Conforto térmico

As normas brasileiras estabelecem parâmetros mínimos para o desempenho térmico das edificações para cada zona bioclimática brasileira. O Brasil é dividido em oito zonas, de acordo com as características climáticas de cada local (FIGURA 3).

Figura 3: Mapa do zoneamento bioclimático brasileiro



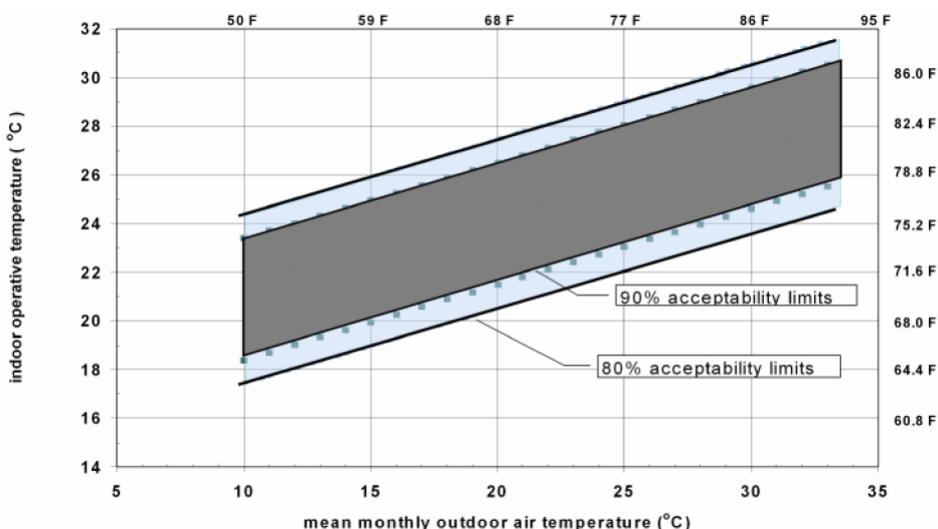
Fonte: NBR 15220-3:2003

Se uma edificação cumprir com os requisitos estipulados pelas normas é possível minimizar o consumo de energia para condicionamento artificial da edificação, além de garantir conforto natural aos usuários. O sistema construtivo exerce forte influência sobre o desempenho térmico de um edifício e a orientação de um ambiente influencia na exposição à radiação solar direta, acarretando em cargas térmicas diferenciadas. A velocidade do ar também exerce influência na sensação térmica, já que velocidades do ar mais altas elevam a taxa de evaporação na superfície da pele (OLIVEIRA, 2015).

A ventilação natural representa um importante fator para a melhoria das condições térmicas no interior dos edifícios. Diversos estudos tem sido feitos em todo o mundo buscando investigar outros fatores que influenciam no conforto térmico dos usuários. A maioria dos índices expressa a sensação de conforto como uma combinação entre a temperatura do ar, a umidade, os efeitos da radiação e a movimentação do ar. Também influenciam na sensação de conforto alguns índices humanos, tais como a taxa de metabolismo e o isolamento da vestimenta. Investigações a respeito dos efeitos do movimento do ar apontam que é possível existir conforto térmico mesmo em ambientes com temperaturas superiores a 26°C, o que indica a influência de vários fatores no conforto térmico dos usuários de um edifício. Em geral a temperatura de conforto é definida como a que provoca uma sensação térmica neutra, ou seja, aquela que não provoca nem calor nem frio (FIGUEIREDO e FROTA, 2008).

A norma americana ASHRAE Standard 55, de 2004, estipula condições térmicas para ambientes condicionados naturalmente (GRÁFICO 3). De acordo com a norma, a faixa de conforto varia de 18,5°C a 30,5°C, com 90% de aceitabilidade entre os usuários e entre 17°C e 31°C, com uma taxa de aceitabilidade de 80% (SORGATO, 2009).

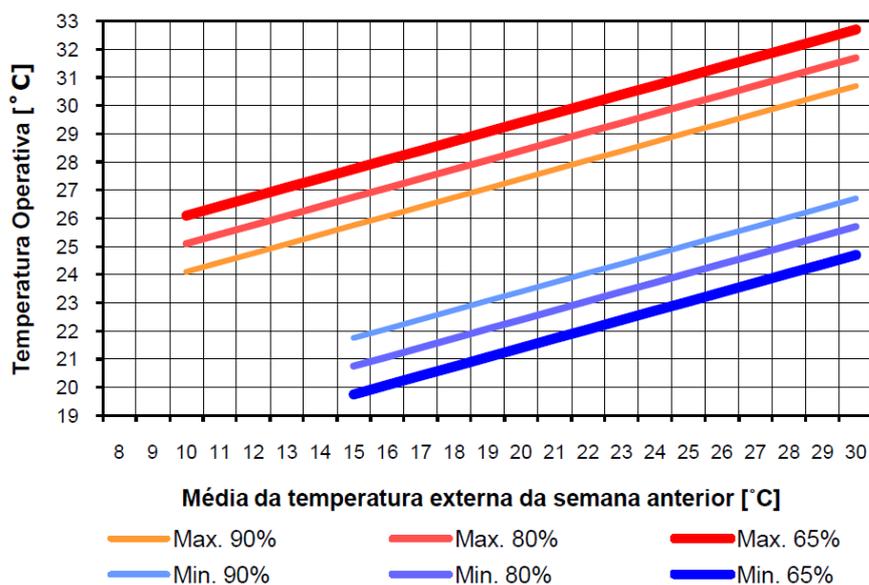
Gráfico 3: Faixa de conforto estabelecida pela ASHRAE Standard 55



Fonte: SORGATO (2009)

A norma europeia EN 15251, criada em 2007, estabelece três categorias de conforto em edificações (GRÁFICO 4), sendo a primeira para um alto nível de expectativa, com 90% de aceitabilidade entre os usuários, definida para a faixa entre 21,7°C a 30,7°C, a segunda para um nível médio de expectativa, com aceitabilidade de 80%, definida entre 20,35°C a 31,7°C e a terceira definida para um nível moderado de expectativa, com 65% de aceitabilidade e variando entre 19,75°C e 32,7°C (SORGATO, 2009).

Gráfico 4: Zona de conforto estabelecida pela EN 15251



Fonte: SORGATO (2009)

Givoni (1992) baseia-se nas temperaturas internas da edificação e estabelece zonas de conforto para países de clima quente e úmido, estipulada de 18°C a 25°C para inverno e de 20°C a 29°C para verão.

The Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE, 2006) apresenta um estudo feito no Reino Unido em 1979, que estipula a faixa de conforto entre 17°C e 26°C. O estudo ainda aponta o fator temperatura como determinante na qualidade do sono dos usuários, relatando quedas consideráveis de qualidade para temperaturas superiores a 24°C.

No Brasil não existe ainda um estudo normatizado que determine uma taxa de conforto térmico ideal de acordo com a realidade do país. Ao analisar os valores fornecidos na literatura, Oliveira (2015) estipulou a taxa de conforto ideal entre 18°C e 29°C, admitindo taxas superiores ao limite máximo dependendo da velocidade do ar.

A NBR 15220-3 (2005) estabelece alguns parâmetros considerados na avaliação do desempenho térmico de um edifício, tais como: a absorvância solar (α), definida como a taxa de radiação absorvida por uma superfície, a capacidade térmica (CT), que é a quantidade de calor necessária para variar em 1°C a temperatura de um sistema, e a transmitância térmica (U), definida como a capacidade de um elemento em conduzir calor por m² em uma hora (ABNT, 2005).

A simulação computacional é uma importante ferramenta para avaliação do desempenho térmico de um edifício e do conforto térmico dos usuários. Por meio de softwares computacionais é possível calcular as temperaturas internas, as trocas de calor nos ambientes, o fluxo de ar, o consumo de energia dos sistemas de condicionamento de ar, o atendimento aos parâmetros normativos relacionados ao conforto térmico dos usuários, entre outros (OLIVEIRA, 2015).

No intuito de reduzir os impactos ambientais do setor da construção civil diversos métodos foram desenvolvidos com o objetivo de mensurar os impactos na atmosfera. Dentre as metodologias existentes estão, além dos sistemas de certificação, as normas ambientais, a análise do ciclo de vida das edificações, o cálculo da pegada ecológica e da taxa de emissão de dióxido de carbono pelas atividades produtivas (FLIZIKOWSKI, 2012).

As normas brasileiras que tratam do desempenho térmico e dos fatores sustentáveis das edificações são a NBR 15.220:2003 – Desempenho térmico de edificações – e a NBR 15.575:2013 – Edificações habitacionais: desempenho.

2.5 Eficiência energética em edificações

De acordo com Tavares (2011) e Oliveira (2015) cerca de 50% da energia elétrica consumida no Brasil é destinada ao consumo em edifícios. A energia é utilizada na manutenção e operação das edificações e em aparelhos que proporcionam conforto aos usuários, como os de resfriamento e aquecimento.

Apesar do alto nível de consumo, o potencial de economia no setor também é elevado, já que a economia de energia em edifícios que passam por reformas pode chegar a 30%. Esta taxa pode chegar aos 50% quando as técnicas de eficiência energética são exploradas na etapa de projeto das edificações (TAVARES, 2011).

O desempenho térmico de uma edificação não somente afeta nos gastos energéticos como também a qualidade de vida e a produtividade dos usuários. Dormir em ambientes com níveis térmicos fora da faixa de conforto prejudicam o sono, causando prejuízos no nível de concentração dos usuários (OLIVEIRA, 2015).

A primeira iniciativa de avaliação de edifícios surgiu da constatação de que não existia no mercado um meio de se avaliar o quão ecológico era um edifício. Até mesmo os países que tinham maior domínio das técnicas de construção “verde” apresentavam dificuldades em avaliar suas edificações. Em 1990 surgiu no Reino Unido o BREEAM, o primeiro sistema de avaliação de edifícios, que serviu de base para o desenvolvimento de outros métodos. Atualmente, grande parte dos países do mundo já possuem sistemas de avaliação de edifícios (BARROS, 2012).

Dentre os métodos de avaliação utilizados no Brasil e no mundo, pode-se citar o LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), criado nos Estados Unidos, o AQUA (Alta Qualidade Ambiental), que é o modelo brasileiro adaptado do HQE (Haute Qualité Environnementale), que foi criado na França, o selo Casa Azul, criado pela Caixa Econômica Federal em 2010 e o Procel Edifica, criado em 2003 (OLIVEIRA, 2015).

Segundo Fonseca (2014), o LEED é um sistema de certificação de edificações, possuindo diferentes níveis de acordo com o desempenho do empreendimento. Os níveis de desempenho são distribuídos entre Basic, Silver, Golden e Platinum.

Dentre os critérios de avaliação, estão a análise do local e do terreno, do uso eficiente dos recursos hídricos, do desempenho energético, do uso e reutilização de materiais e recursos, dos materiais de revestimento internos, da qualidade da ventilação e da qualidade do ambiente interno. Cada um destes itens gera pontuações

que definem o nível de classificação do conjunto da edificação. O LEED se difundiu no Brasil a partir de 2007, tendo grande visibilidade e reconhecimento e sendo utilizado em diversos países (FONSECA, 2014).

A certificação AQUA (Alta Qualidade Ambiental), por sua vez, é a versão brasileira do HQE, criado na França. Este sistema de certificação possui como princípios básicos a redução dos impactos ambientais dos edifícios sobre o ambiente exterior, nos níveis global, regional e local e criação de ambientes confortáveis e saudáveis para os usuários. A certificação AQUA (FIG.6) possui os níveis bom, superior e excelente, e leva em consideração nas avaliações os critérios de eco-construção, eco-gestão, conforto e saúde (FONSECA, 2014).

No selo Casa Azul os parâmetros relativos ao desempenho térmico de paredes e coberturas baseiam-se na NBR 15.575:2013 – Edificações habitacionais: desempenho – e na NBR 15.220:2005 – Desempenho térmico de edificações – tendo também aspectos comuns ao método de abordagem do Procel Edifica (OLIVEIRA, 2015).

Segundo Rodrigues (2013), a primeira iniciativa legal do Governo brasileiro visando a implantação do conceito de eficiência energética em edificações se deu em 2001, em decorrência da crise energética. O governo sancionou a lei 10.295/2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. O decreto 4.059/2001, que regulamenta a lei 10.295, instituiu que o Inmetro seria o responsável pela fiscalização e acompanhamento dos programas de avaliação de consumo de energia de máquinas e aparelhos. Foi então que o Inmetro criou o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Impulsionado pela lei 10.295 e pelas transformações ocorridas na época, ganhou força o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), instituído em 1985 pelo Ministério de Minas e Energia e Indústria e Comércio e gerido pela Eletrobrás. Em 2003 o programa passou a abranger o setor de edificações, com a criação do PROCEL Edifica.

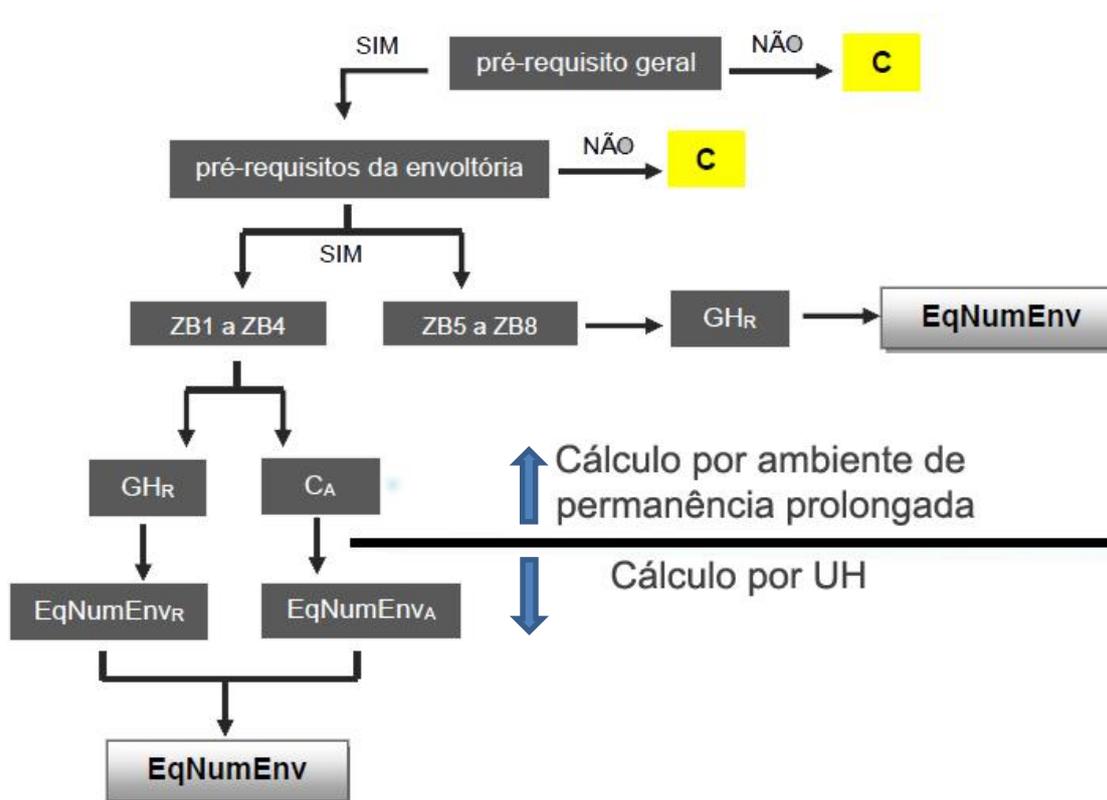
A área de atuação do Procel Edifica é ampla, se destacando o programa de etiquetagem de edificações, que pode ser dividido em dois grupos: Edificações comerciais, de serviço e públicas, regulamentadas pelo Regulamento térmico da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações comerciais, de serviços e públicas (RTQ-C) e Edificações residenciais, regulamentadas pelo Regulamento térmico da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações residenciais

(RTQ-R). O primeiro foi aprovado em 2009, e o segundo em 2010 (RODRIGUES, 2013).

2.5.1 Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais

Em 2010, foi publicado pelo INMETRO o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), sofrendo algumas alterações em 2012. O Regulamento especifica parâmetros e métodos para a avaliação da eficiência energética das habitações e posterior emissão do ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia). Estas avaliações podem ser realizadas através do método prescritivo ou por simulação, e se aplicam as unidades habitacionais (UHs), às edificações multifamiliares e às áreas de uso comum. Para a avaliação das UHs e das edificações multifamiliares são calculados os níveis de eficiência das envoltórias (paredes externas e cobertura) e do sistema de aquecimento de água. Já para a avaliação das áreas de uso comum são considerados os níveis de eficiência dos sistemas de iluminação artificial e de aquecimento de água (chuveiros e piscina), dos elevadores, das bombas centrífugas, dos equipamentos e da sauna. Para os tipos de avaliação descritos pode-se obter uma classificação que varia de A à E, sendo A o nível mais alto. A figura 4 apresenta os passos para avaliação da eficiência energética de edificações (PROCEL, 2012).

Figura 4: Organograma da avaliação energética da envoltória



Fonte: PROCEL (2012) (Adaptado)

De acordo com o Procel (2012), a avaliação da eficiência da envoltória é realizada nas situações de verão (resfriamento) e inverno (aquecimento), sendo que no primeiro caso obtém-se um indicador de graus-hora para resfriamento (GHR) e no segundo um indicador de consumo para aquecimento (CA).

O GHR (°C.h) é calculado através da somatória anual da diferença da temperatura horária, quando superior à temperatura de base, estipulada em 26°C. Já o CA (kWh/m²) consiste na energia anual gasta por metro quadrado para aquecimento do ambiente, no período entre 21h e 8h, para se manter a temperatura em 22°C (PROCEL, 2012).

Calcula-se o GHR e o CA de cada ambiente de permanência prolongada (APP) de cada Unidade Habitacional (UH) através de equações de acordo com a Zona Bioclimática (ZB) em que a edificação está localizada (PROCEL, 2012).

Têm-se como pré-requisito geral a medição individualizada de água e eletricidade. Caso a UH não cumpra com este quesito, esta irá adquirir no máximo o nível C.

Já em relação aos pré-requisitos da envoltória, estes dizem respeito aos valores limite estipulados para transmitância, capacidade e absorvância térmica das paredes externas e coberturas dos ambientes de permanência prolongada; além disso os ambientes devem cumprir com os pré-requisitos relacionados a iluminação e ventilação natural. Os pré-requisitos de iluminação natural estipulam que a soma das áreas de abertura dos ambientes de permanência prolongada deve corresponder a no mínimo 12,5% da área útil do ambiente. Além disto, caso as aberturas não sejam passíveis de fechamento e as médias mensais mínimas de temperatura sejam superiores a 20°C, o ambiente também não cumprirá com o pré-requisito, obtendo avaliação máxima C. Por sua vez, os pré-requisitos de ventilação natural estipulam porcentagens mínimas de 8% (ZB 1 a 6), 5% (ZB 7) e 10% (ZB 8), referente à relação entre as áreas de ventilação e piso do ambiente analisado. Além destes aspectos, nas ZB 2 a 8, as UHs devem possuir ventilação cruzada, com aberturas em pelo menos duas fachadas, para obtenção dos níveis A ou B (PROCEL, 2012).

Os ambientes que devem ser analisados em cada UH se restringem aos de permanência prolongada (quartos e salas), de acordo com os métodos de cálculo estipulados para a zona bioclimática na qual a edificação está inserida. Como demonstrado anteriormente, existem oito zonas bioclimáticas no Brasil, sendo que para cada uma delas há um método específico de cálculo baseado nas características climáticas de cada região (PROCEL, 2012).

Para o desenvolvimento pelo método prescritivo pode-se utilizar a planilha para cálculo de desempenho disponibilizada pelo programa brasileiro de etiquetagem (PBE Edifica). Esta planilha simplifica os cálculos, que podem também ser feitos à mão. Desenvolvida pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética de Edificações (CB3E), a Planilha de cálculo do desempenho da UH – método prescritivo utiliza o método prescritivo do RTQ-R como base de cálculo e tem como objetivo auxiliar no processo de classificação das edificações residenciais (PROCEL, 2012).

A planilha permite fazer o cálculo de uma UH por vez, sendo assim, é necessário fazer o preenchimento completo de uma planilha de cálculo para cada UH avaliada. A planilha permite o cálculo de desempenho da envoltória e do sistema de aquecimento das UHs em cada um dos ambientes de permanência prolongada, além da pontuação total da edificação.

Na primeira etapa calculam-se os indicadores de Grau-hora para resfriamento, consumo relativo para aquecimento e consumo relativo para refrigeração. Os cálculos

dos Indicadores de Graus-hora para Resfriamento (GHR) e do Consumo Relativo para Aquecimento (CA) são feitos para cada ambiente de permanência prolongada e devem seguir o estipulado pela NBR 15220:2003. Os valores encontrados para o GHR e para o CA estipulam a eficiência da envoltória para resfriamento (TABELA 1) e aquecimento (TABELA 2), respectivamente. O cálculo de consumo relativo para refrigeração (CR), por sua vez, tem valor informativo e não é utilizado nos cálculos de consumo da envoltória, porém deve ser calculado para verificação do nível de eficiência da edificação multifamiliar (QUADRO 1). (PROCEL, 2012)

Tabela 1: Determinação da eficiência da envoltória para resfriamento

Eficiência	EqNumEnvAmb _{Resfr}	Condição
A	5	$GHR \leq 822$
B	4	$822 < GHR \leq 1.643$
C	3	$1.643 < GHR \leq 2.465$
D	2	$2.465 < GHR \leq 3.286$
E	1	$GHR > 3.286$

Fonte: PROCEL (2012)

Tabela 2: Determinação da eficiência da envoltória para aquecimento

Eficiência	EqNumEnvAmb _{Resfr}	Condição
A	5	$CA \leq 6,429$
B	4	$6,429 < CA \leq 12,858$
C	3	$12,858 < CA \leq 19,287$
D	2	$19,287 < CA \leq 25,716$
E	1	$CA > 25,716$

Fonte: PROCEL (2012)

Quadro 1: Planilha de cálculo de desempenho da envoltória do ambiente (continua)

Zona Bioclimática	ZB	Zona Bioclimática (Ex.: ZB2)
Ambiente	Identificação	Nome do ambiente (ex.: SALA)
	Área útil do APP	Área do ambiente
Situação do piso e cobertura	Cobertura	Tem cobertura? SIM=1 NÃO=0
	Contato com solo	A laje de piso está em contato com o solo? SIM=1 NÃO=0
	Sobre Pilotis	Pavimento sobre pilotis? SIM=1 NÃO=0

Quadro 1: Planilha de cálculo de desempenho da envoltória do ambiente (continua)

Cobertura	Ucob (W/m ² ·K)	Transmitância térmica da cobertura (preencher somente se houver cobertura em contato com o ambiente externo no ambiente analisado)
	Ctcob (kJ/m ² ·K)	Capacidade térmica da cobertura (preencher somente se houver cobertura em contato com o ambiente externo no ambiente analisado)
	αcob	Absortância da superfície externa da cobertura (preencher somente se houver cobertura em contato com o ambiente externo no ambiente analisado)
Paredes Externas	Upar (W/m ² ·K)	Transmitância térmica das paredes externas
	Ctpar (kJ/m ² ·K)	Capacidade térmica das paredes externas
	qpar	Absortância da superfície externa das paredes externas
Característica construtiva	CTbaixa	Média das Capacidades térmicas das paredes externas, internas e cobertura é baixa (menor que 50 kJ/m ² ·K)? SIM=1 NÃO=0
	CTalta	Média das Capacidades térmicas das paredes externas, internas e cobertura é alta (maior que 250 kJ/m ² ·K)? SIM=1 NÃO=0
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE (m ²)	Área da parede externa voltada para a fachada Norte
	SUL (m ²)	Área da parede externa voltada para a fachada Sul
	LESTE (m ²)	Área da parede externa voltada para a fachada Leste
	OESTE (m ²)	Área da parede externa voltada para a fachada Oeste
Áreas de Aberturas Externas	NORTE (m ²)	Área referente à soma dos vãos da fachada Norte
	SUL (m ²)	Área referente à soma dos vãos da fachada Sul
	LESTE (m ²)	Área referente à soma dos vãos da fachada Leste
	OESTE (m ²)	Área referente à soma dos vãos da fachada Oeste
Características das Aberturas	Fvent	Fator de ventilação. % da abertura para ventilação natural.
	Somb	Sombreamento. Indica a existência de dispositivos de proteção solar. O valor varia de 0 à 1. No caso de não haver dispositivos, o valor é 0. No caso de existência de sistema de venezianas duplas, o valor é 1.
Características Gerais	Área das Paredes Internas (m ²)	Somatória das áreas das paredes internas do ambiente
	Pé Direito (m)	Pé direito. Valor medido do piso à laje.
	C altura	VALOR CALCULADO AUTOMATICAMENTE. Coeficiente de altura, calculado pela razão entre o pé direito e a área útil do ambiente

Quadro 1: Planilha de cálculo de desempenho da envoltória do ambiente (final)

Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	Preencher somente para ZB1 ou ZB2. Indica a existência de isolamento térmico nas paredes externas e cobertura. São consideradas isoladas paredes externas e coberturas que apresentem isolamento térmico e transmitância térmica menor ou igual a 1,00 W/m ² .K
	vid	Preencher somente para ZB1 ou ZB2. Existe vidro duplo no ambiente? SIM=1 NÃO=0
	Uvid (W/m ² .K)	Preencher somente para ZB1 ou ZB2. Transmitância do vidro
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR (°C.h)	VALOR CALCULADO AUTOMATICAMENTE
Consumo Relativo para Aquecimento	CA (kWh/m ² .ano)	VALOR CALCULADO AUTOMATICAMENTE
Consumo Relativo para Refrigeração	CR (kWh/m ² .ano)	VALOR CALCULADO AUTOMATICAMENTE

Fonte: PROCEL (2012)

Os valores encontrados para cada ambiente de permanência prolongada, referentes ao $EqNumEnvAmb_{Resf}$ são utilizados na estimativa do equivalente numérico da envoltória para resfriamento (TABELA 3) e o $EqNumEnvAmb_A$ é utilizado no cálculo do equivalente numérico da envoltória para aquecimento (TABELA 4) da UH, obtidos através da ponderação entre os resultados encontrados por ambiente pelas suas respectivas áreas úteis. (PROCEL, 2012)

Tabela 3: Exemplo de determinação do $EqNumEnv_{Resf}$

Ambiente	$EqNumEnvAmb_{Resf}$	$AU_{amb}(m^2)$	$EqNumEnv_{Resf}$
Dormitório 1	3	10,64	3,25
Dormitório 2	4	8,75	
Sala	3	15,85	

Fonte: PROCEL (2012)

Tabela 4: exemplo de determinação do $EqNumEnv_A$

Ambiente	$EqNumEnvAmb_A$	$AU_{amb}(m^2)$	$EqNumEnv_A$
Dormitório 1	3	10,64	3,25
Dormitório 2	4	8,74	
Sala	3	15,85	

Fonte: PROCEL (2012)

De acordo com o PROCEL (2012), os valores encontrados para o $EqNumEnv_{Resf}$ e $EqNumEnv_A$ definem os níveis de eficiência da envoltória para verão

e inverno, respectivamente. A pontuação encontrada sinalizará o nível de eficiência (TABELA 5).

Tabela 5: Determinação do nível geral de eficiência da envoltória

Pontuação (PT)	Nível de Eficiência
$PT \geq 4,5$	A
$3,5 \leq PT < 4,5$	B
$2,5 \leq PT < 3,5$	C
$1,5 \leq PT < 2,5$	D
$PT < 1,5$	E

Fonte: PROCEL (2012)

O PROCEL (2012) indica que, após as avaliações das envoltórias dos APPs no verão e no inverno, deve proceder-se para a conferência dos pré-requisitos relacionados às envoltórias dos ambientes de permanência prolongada. Caso o ambiente não cumpra com qualquer dos pré-requisitos, as classificações das envoltórias para verão, inverno e refrigerada artificialmente adquirem uma classificação máxima C (QUADRO 2).

Quadro 2: Planilha de pré-requisitos por ambiente (continua)

	Medição individual de água?		SIM ou NÃO
	Medição individual de energia?		SIM ou NÃO
Pré-requisitos da envoltória da UH	Ventilação cruzada	Área aberturas orientação Norte	Área de todas as aberturas da UH voltadas para a orientação norte (incluindo banheiros, cozinha e área de serviço)
		Área aberturas orientação Sul	Área de todas as aberturas da UH voltadas para a orientação sul (incluindo banheiros, cozinha e área de serviço)
		Área aberturas orientação Leste	Área de todas as aberturas da UH voltadas para a orientação leste (incluindo banheiros, cozinha e área de serviço)
		Área aberturas orientação Oeste	Área de todas as aberturas da UH voltadas para a orientação oeste (incluindo banheiros, cozinha e área de serviço)
		A2/A1	
		Atende A2/A1 maior ou igual a 0,25?	

Quadro 2: Planilha de pré-requisitos por ambiente (final)

Pré requisitos da envoltória da UH	Banheiro com ventilação natural	N° BWC	Número de banheiros da UH
		N° Banheiros com ventilação natural	Número de banheiros da UH com ventilação natural
		Atende 50% ou mais dos banheiros com ventilação natural?	SIM ou NÃO

Fonte: PROCEL (2012)

Os pré-requisitos dizem respeito aos limites de transmitância térmica (U), Capacidade térmica (CT) e absorvância solar (α) das paredes externas e da cobertura estipulados pela NBR 15.575 (TABELA 6), além dos valores mínimos estipulados para as áreas de abertura para iluminação e ventilação, como descrito anteriormente (PROCEL, 2012).

Tabela 6: Limites estipulados para transmitância e capacidade térmica e absorvância solar

Zona Bioclimática	Componente	Absorvância solar (adimensional)	Transmitância térmica [W/m ² K]	Capacidade térmica [kJ/m ² ·K]
ZB1 e ZB2	Parede	Sem exigência	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	Sem exigência	$U \leq 2,30$	Sem exigência
ZB3 a ZB6	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	$CT \geq 130$
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 1,50$	Sem exigência
ZB7	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	$CT \geq 130$
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 1,50$	Sem exigência
ZB8	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	Sem exigência
		$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 2,50$	Sem exigência
	Cobertura	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 1,50$	Sem exigência

Fonte: NBR 15.575 (2013)

Em seguida, avaliam-se os pré-requisitos específicos da UH. Estes pré-requisitos dizem respeito a ventilação cruzada e a ventilação natural dos banheiros (QUADRO 3). Caso a UH não cumpra com qualquer um destes pré-requisitos a mesma atingirá avaliação máxima C (PROCEL, 2012).

Quadro 3: Pré-requisitos da UH

Pré-requisitos da envoltória da UH	Medição individual de água?		SIM ou NÃO	
	Medição individual de energia?		SIM ou NÃO	
	Ventilação Cruzada	Área Aberturas Orientação Norte	Área de todas as aberturas da UH voltadas para a orientação norte (incluindo banheiros, cozinha e área de serviço)	
		Área Aberturas Orientação Sul	Área de todas as aberturas da UH voltadas para a orientação sul (incluindo banheiros, cozinha e área de serviço)	
		Área Aberturas Orientação Leste	Área de todas as aberturas da UH voltadas para a orientação leste (incluindo banheiros, cozinha e área de serviço)	
		Área Aberturas Orientação Oeste	Área de todas as aberturas da UH voltadas para a orientação oeste (incluindo banheiros, cozinha e área de serviço)	
		A2/A1		
		Atende A2/A1 maior ou igual a 0,25?		
	Banheiro com ventilação natural	Nº BWC		Número de banheiros da UH
		Nº Banheiros com Ventilação Natural		Número de banheiros da UH com ventilação natural
		Atende 50% ou mais dos banheiros com ventilação natural?		SIM ou NÃO

Fonte: PROCEL (2012)

Os demais critérios avaliados, relacionados às bonificações e ao sistema de aquecimento de água devem ser levados em consideração para o cálculo da pontuação final da UH, calculada pela seguinte equação 1:

$$PTUH = (a \times EqNumEnv) + [(1-a) \times EqNumAA] + Bonificações \quad (1)$$

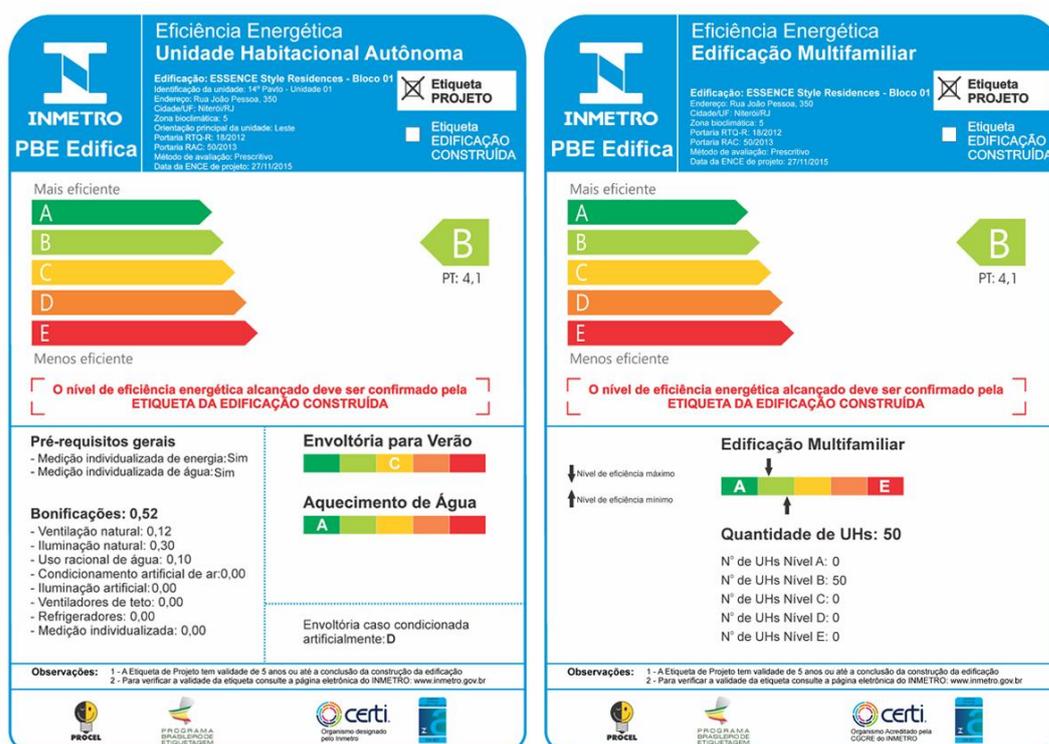
Sendo:

- PTUH = Pontuação total da UH
- a = coeficiente adotado de acordo com a localização da edificação (zona bioclimática)

- EqNumEnv = Equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória
- EqNumAA = Equivalente numérico do sistema de aquecimento de água
- Bonificações = Pontuação extra obtida por sistemas que aumentem a eficiência da edificação.

Após a determinação do nível de eficiência geral da envoltória em cada UH, é determinado o nível de eficiência da edificação multifamiliar, através da ponderação dos resultados pela área útil das UHs e de acordo com os mesmos limites que foram estipulados na tabela 5. A figura 5 ilustra dois exemplos de Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), a primeira conferida a uma UH e a segunda a uma edificação multifamiliar (PROCEL, 2012).

Figura 5: Classificação das UHs e da Edificação Multifamiliar



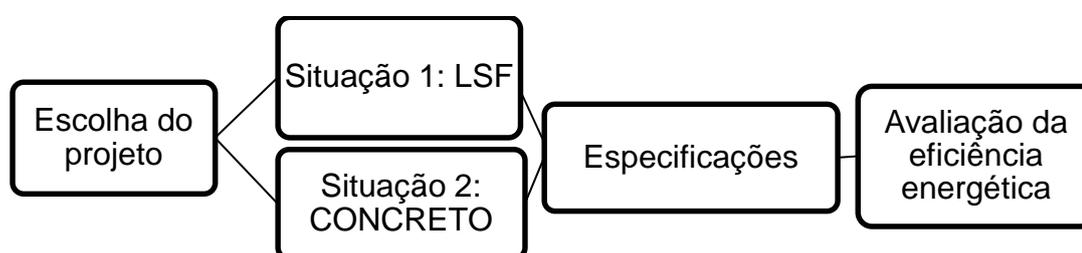
Fonte: PROCEL (2012)

A ENCE conferida às UHs apresentam os resultados das avaliações das envoltórias para as situações de verão e inverno, bem como o somatório das bonificações e a avaliação final da envoltória da UH. Já a ENCE conferida às edificações multifamiliares apresenta o número de UHs por nível de avaliação, bem como a avaliação final da envoltória da edificação.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste processo descreve-se a metodologia utilizada para avaliação da eficiência energética das edificações analisadas, por meio da aplicação do método prescritivo do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). O fluxograma da figura 6 apresenta as etapas desenvolvidas ao longo do trabalho.

Figura 6: Fluxograma com as etapas de estudo do trabalho



Fonte: Arquivo pessoal

Foram desenvolvidas um total de 96 avaliações, considerando-se o total de UHs estudadas (16 unidades por edificação multifamiliar), em três zonas bioclimáticas (ZB2 – Passo Fundo, ZB3 – Belo Horizonte e ZB8 – Manaus) e para dois sistemas construtivos distintos: Light Steel Framing (Situação 1) e Paredes de concreto moldadas in loco (Situação 2). Se forem considerados os resultados encontrados durante as avaliações para cada ambiente de permanência prolongada (Sala e 2 quartos por UH), o número total de avaliações chega a 288.

As análises de eficiência energética foram desenvolvidas de acordo com o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Foram analisadas as seguintes amostras:

- Situação 1 – Zona Bioclimática 2;
- Situação 1 – Zona Bioclimática 3;
- Situação 1 – Zona Bioclimática 8;
- Situação 2 – Zona Bioclimática 2;
- Situação 2 – Zona Bioclimática 3;
- Situação 2 – Zona Bioclimática 8.

Seguindo os critérios definidos pelo regulamento, foram analisados todos os ambientes de permanência prolongada (APP) de cada uma das UHs, nos dois

sistemas construtivos estudados. Cada UH foi analisada separadamente, para posteriormente serem analisadas as edificações multifamiliares.

As avaliações foram realizadas para as condições de verão, nas zonas bioclimáticas 2, 3 e 8, e para inverno, nas zonas bioclimáticas 2 e 3 (não se aplica à zona bioclimática 8).

Para cada uma das situações foram identificados em planta os ambientes de permanência prolongada, representados pelos quartos e salas e especificada a somatória das áreas das paredes internas destes ambientes. A identificação dos tipos de esquadrias utilizadas nos ambientes de permanência prolongada foi necessária, já que este dado influencia nos cálculos de área de abertura para iluminação e ventilação. Para as salas, foram especificadas esquadrias de alumínio com 2 folhas de correr, com vidro incolor de 4mm. Já nos quartos especificou-se esquadrias de alumínio com 2 folhas de correr com vidro incolor de 4mm e sistema de veneziana de alumínio. O valor de transmitância do vidro (U_{vid}) é de $5700 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, de acordo com a NBR 15.220 (2003).

Foram então identificadas e enumeradas em planta as paredes externas dos ambientes de permanência prolongada. A numeração das paredes foi feita de cima para baixo e da esquerda para a direita, segundo a legenda:

PAR.Y-Z, sendo que:

- PAR.= Parede externa;
- Y= Numeração da parede externa;
- Z= Numeração do sistema construtivo estudado, sendo: 01 – Light Steel Framing e 02 – Paredes de concreto moldadas *in loco*.

No passo seguinte foram indicadas as especificações das paredes enumeradas, com suas respectivas elevações, medidas geométricas e áreas de abertura.

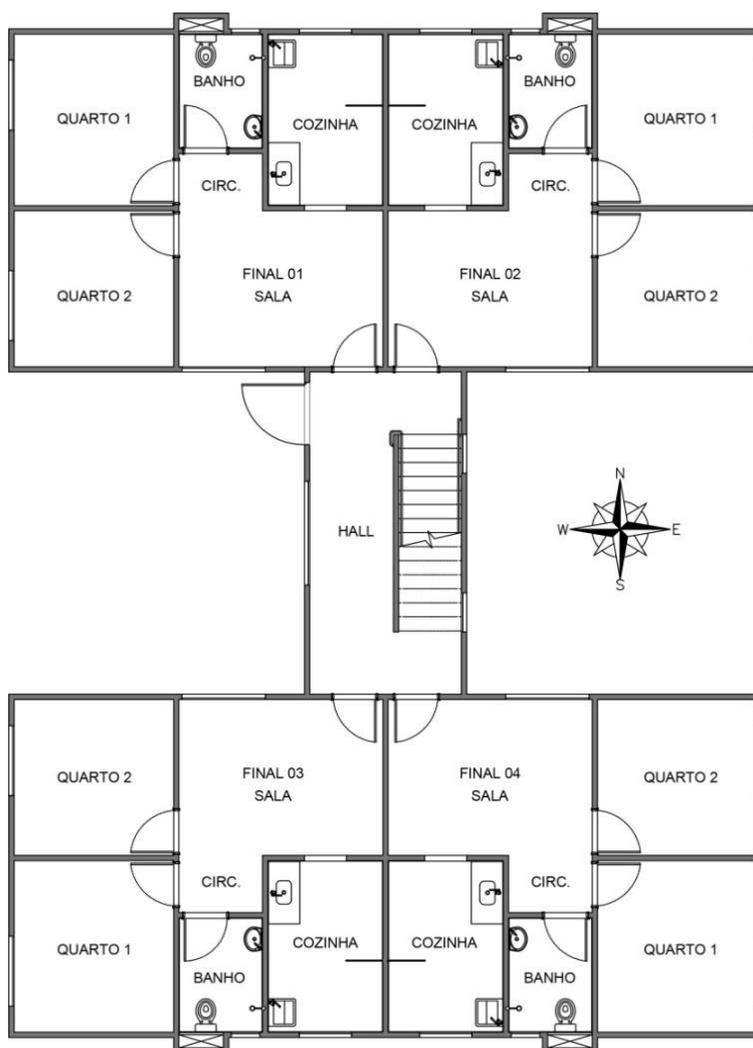
A partir do levantamento de dados, determinaram-se os valores de Graus-hora para Resfriamento (GHR) e Consumo Relativo para aquecimento (CA), que definem a avaliação da envoltória para verão e inverno, respectivamente. Estes resultados, somados às bonificações e às avaliações do sistema de aquecimento de água, permitiram a definição da avaliação final das unidades habitacionais, em todas as variações estudadas. A avaliação final das edificações multifamiliares foi encontrada através da média dos resultados das avaliações finais das UHs.

3.1 Identificação do Projeto

Para o desenvolvimento do trabalho foi selecionada uma amostra de projeto arquitetônico de uma edificação habitacional do programa Minha Casa Minha Vida (MCMV) de quatro pavimentos, de torre única. O projeto foi implantado em três Zonas Bioclimáticas distintas, indicando-se a orientação geográfica, de acordo com o norte geográfico fixado em projeto e as características geométricas da edificação.

O projeto contempla um edifício habitacional de quatro pavimentos, com quatro apartamentos por andar. Cada unidade habitacional (UH) tem aproximadamente 47m² e é composta por uma sala, dois quartos, um banheiro e uma cozinha com área de serviço (FIGURA 7).

Figura 7: Planta original padrão MCMV



Fonte: Caixa (2018)

O projeto escolhido foi implantado em três zonas bioclimáticas (ZB). Foram selecionadas uma cidade representativa para cada uma das três zonas bioclimáticas escolhidas, sendo elas: Passo Fundo/RS (ZB2), Belo Horizonte/MG (ZB3) e Manaus/AM (ZB8). Estas cidades foram selecionadas com o objetivo de se obter um número considerável de variáveis, atingindo-se grande fatia do território nacional, com representantes das regiões sul, sudeste e norte do país.

Para o desenvolvimento do estudo comparativo, utilizou-se a mesma planta base, analisando-se a eficiência energética de dois sistemas construtivos distintos:

- Situação 1: Sistema construtivo em estrutura metálica, com pilares e vigas em perfil I de aço, fechamentos em Light Steel Framing, divisórias internas em dry-wall, lajes em concreto armado e cobertura de telha colonial cerâmica. Neste trabalho, este sistema será identificado como Situação 1: LSF;
- Situação 2: Sistema construtivo em paredes de concreto, com paredes estruturais e lajes em concreto armado moldado *in loco* e cobertura de telha colonial cerâmica. Neste trabalho, este sistema será identificado como Situação 2: CONC.

Para ambas as situações foram especificados as mesmas aberturas, o mesmo layout e o mesmo norte geográfico. As plantas foram adaptadas aos sistemas construtivos escolhidos, tendo sido elaborados pelo autor todos os detalhes, cortes, elevações e adaptações necessárias. Foram identificadas em planta as unidades habitacionais e seus respectivos ambientes e aberturas (janelas e portas), por pavimento.

Buscando uma apresentação mais sucinta, as unidades habitacionais foram agrupadas e identificadas em uma mesma planta, de acordo com a legenda:

- FINAL 01 = Unidades habitacionais (apartamentos) cujas numerações terminem em 01 (101, 201, 301 e 401), sendo o apartamento 101 localizado no primeiro pavimento (térreo), o 201 no segundo pavimento, o 301 no terceiro pavimento e o 401 no quarto pavimento;
- FINAL 02 = Unidades habitacionais cujas numerações terminem em 02 (102, 202, 302 e 402), sendo o apartamento 102 localizado no primeiro pavimento (térreo), o 202 no segundo pavimento, o 302 no terceiro pavimento e o 402 no quarto pavimento;
- FINAL 03 = Unidades habitacionais cujas numerações terminem em 03 (103, 203, 303 e 403), sendo o apartamento 103 localizado no primeiro pavimento (térreo), o

203 no segundo pavimento, o 303 no terceiro pavimento e o 403 no quarto pavimento;

- FINAL 04 = Unidades habitacionais cujas numerações terminem em 04 (104, 204, 304 e 404), sendo o apartamento 104 localizado no primeiro pavimento (térreo), o 204 no segundo pavimento, o 304 no terceiro pavimento e o 404 no quarto pavimento.

A numeração das unidades habitacionais foi feita, em planta, de cima para baixo e da esquerda para a direita, do primeiro ao quarto pavimento.

Os ambientes foram identificados em planta e numerados de cima para baixo e da esquerda para a direita, segundo a legenda:

- AMBIENTE X;
- AMBIENTE = Identificação do ambiente: QUARTO, SALA, BANHO, COZINHA ou CIRCULAÇÃO (CIRC.);
- X = Numeração do ambiente;

As aberturas foram identificadas em planta e numeradas de cima para baixo e da esquerda para a direita, de acordo com a legenda:

J_n, sendo:

- J= Janela;
- n = Numeração adotada para cada janela, de acordo com a tipologia adotada.

E P_n, sendo:

- P= Porta;
- n= Numeração adotada para cada porta, de acordo com a tipologia adotada.

Também foram identificados em planta o posicionamento dos cortes, a direção das fachadas, o norte geográfico e a metragem quadrada de cada ambiente (m²), bem como as cotas principais dos ambientes.

Foram especificados os materiais constituintes da envoltória (paredes externas e coberturas) dos dois métodos construtivos estudados, indicando-se suas camadas com as respectivas dimensões e coeficientes térmicos, de acordo com literatura específica: Capacidade Térmica (CT), Transmitância Térmica (U) e Absortância Térmica (α).

Também foram especificadas todas as aberturas (portas e janelas) com suas propriedades e características geométricas: Materiais constituintes, Transmitância Térmica (U), tipo de abertura (ex.: correr 2 folhas com veneziana), dimensões (m),

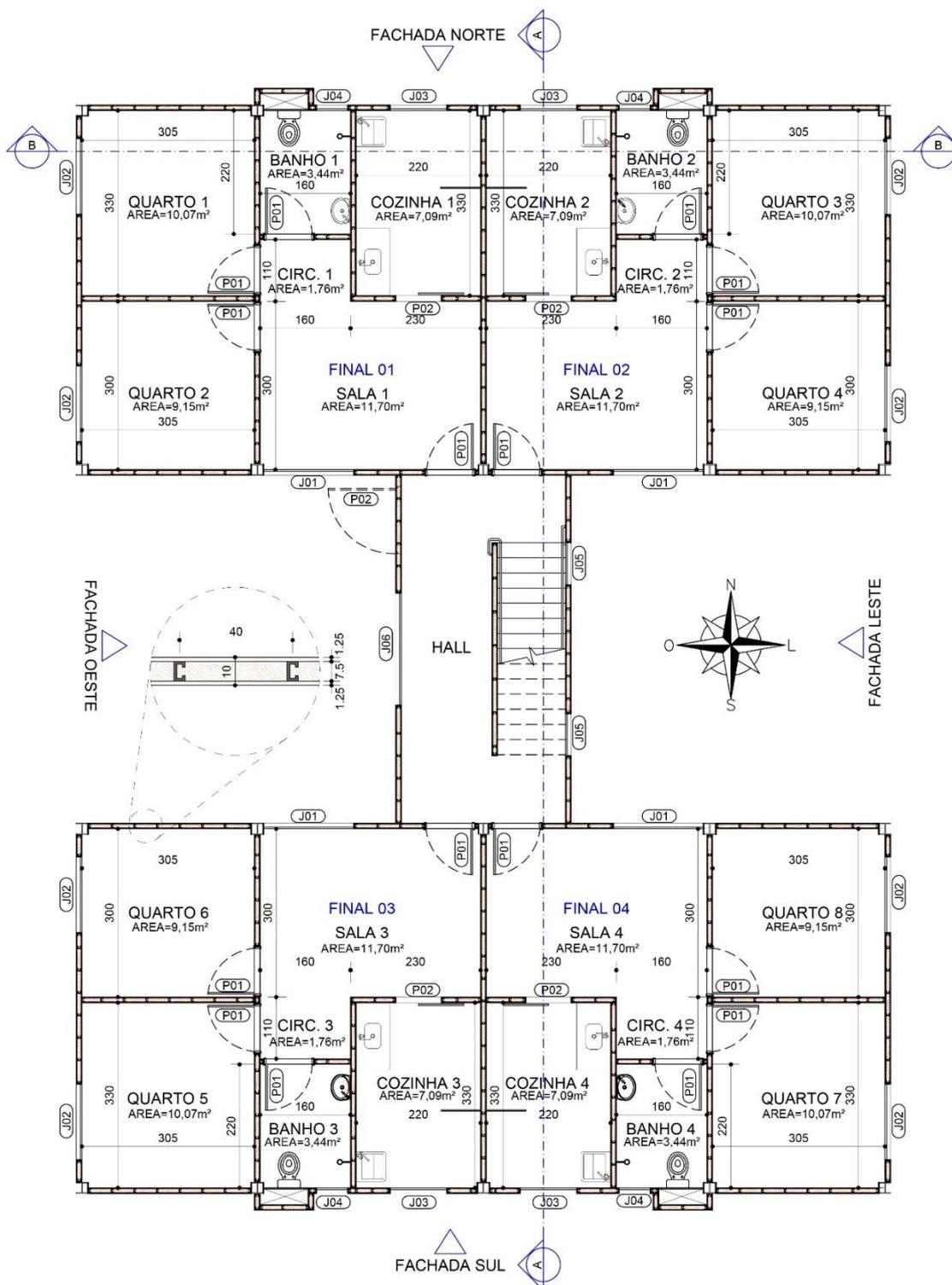
área de abertura (m^2), área de abertura para iluminação (m^2) e área de abertura para ventilação (m^2).

Nesta etapa também foram definidas as características do sistema de aquecimento de água, pé direito dos ambientes, refletância específica da cor do teto dos ambientes, dispositivos especiais, dispositivos economizadores de água e de aproveitamento de água da chuva e as características das luminárias, refrigeradores, condicionadores de ar e ventiladores de teto.

3.1.1 Identificação do sistema construtivo em Light Steel Framing

A planta da edificação, na Situação 1: LSF, é apresentada na figura 8.

Figura 8: Planta padrão do sistema de Light Steel Framing

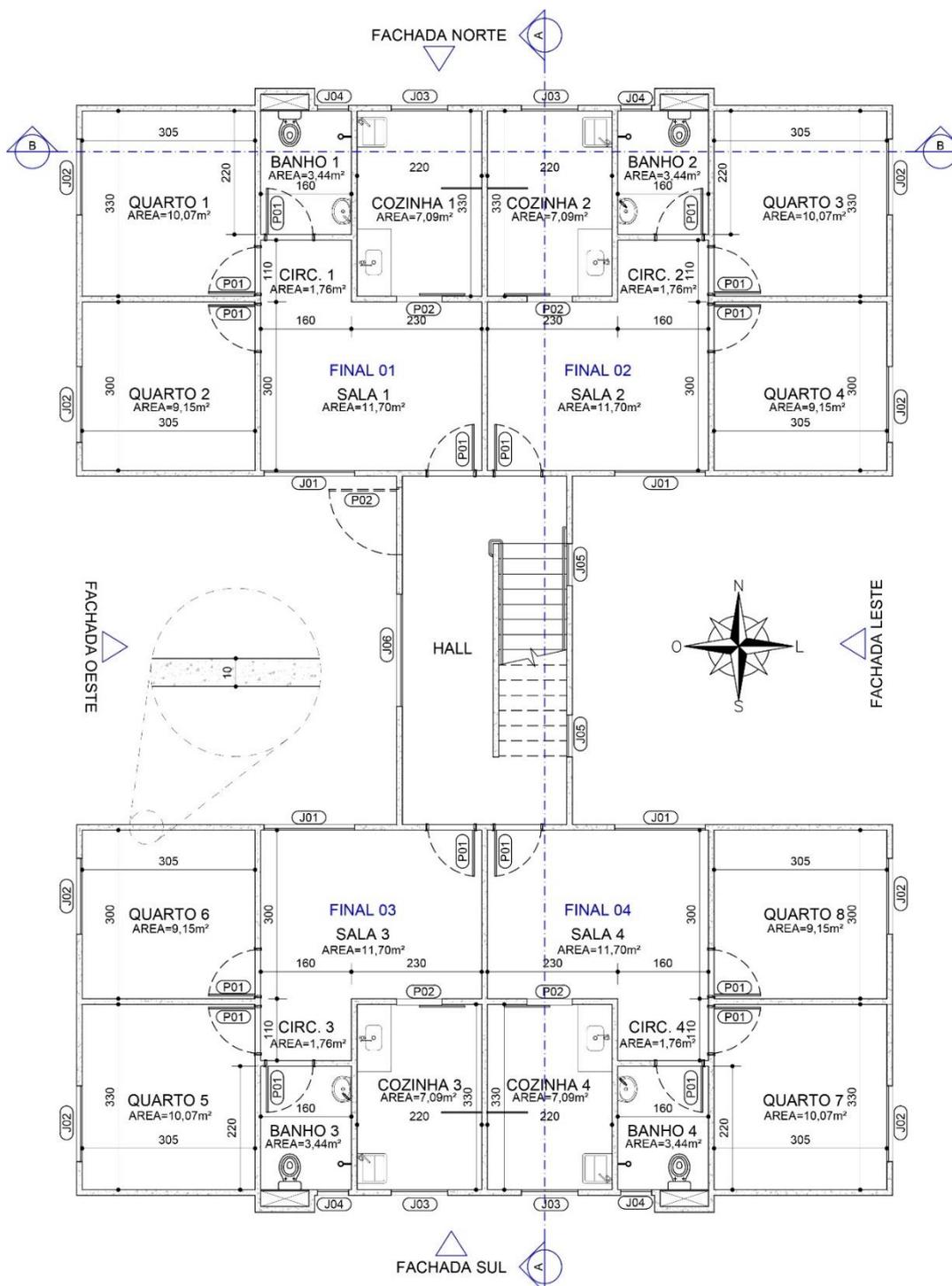


Fonte: Caixa (2018) (Adaptado)

3.1.2 Identificação do sistema construtivo em Paredes de concreto moldadas in loco

A planta da edificação, na Situação 2: CONC, foi apresentada na figura 9.

Figura 9: Planta padrão do sistema de paredes de concreto

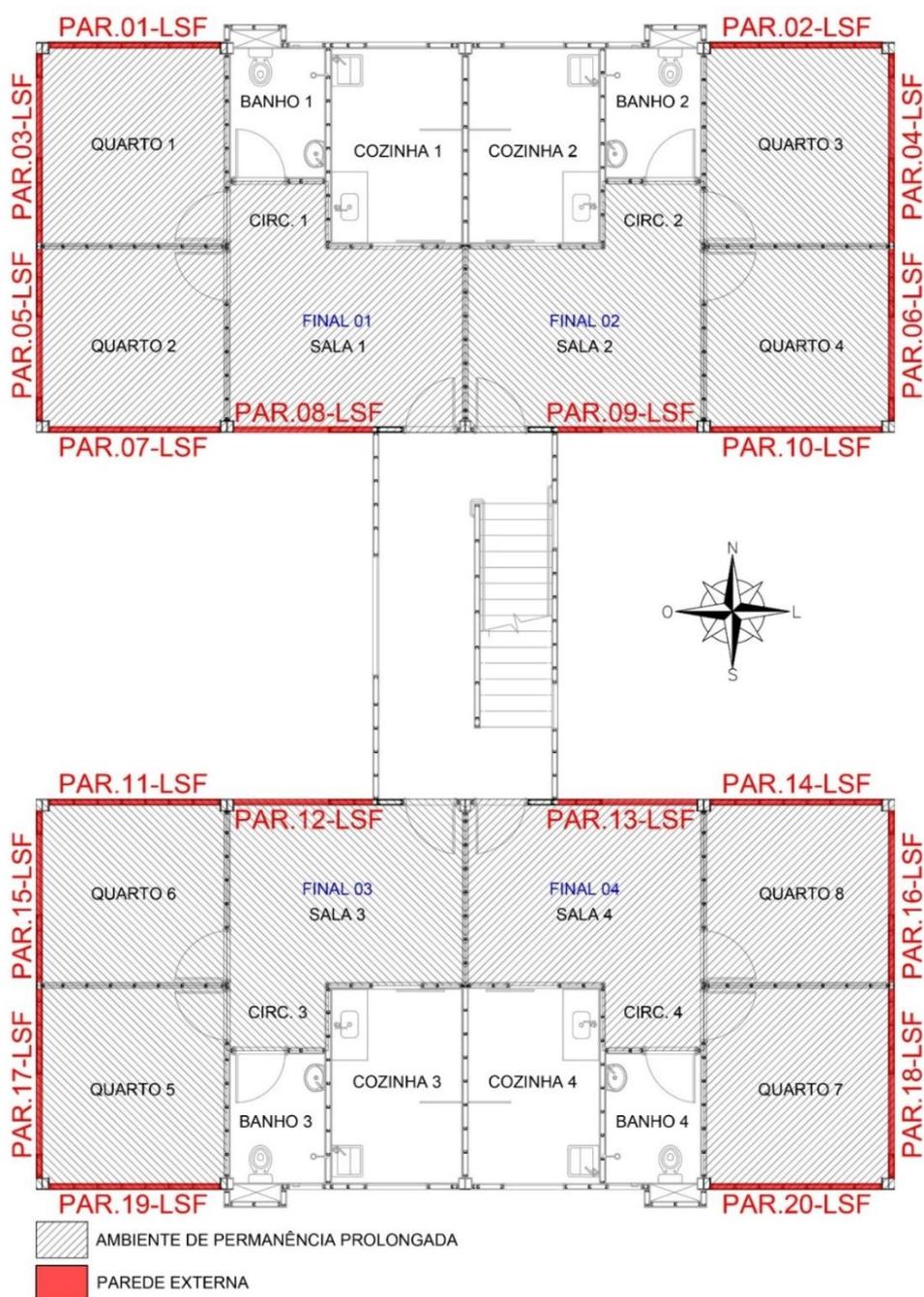


Fonte: Caixa (2018) (Adaptado)

3.1.3 Identificação das paredes externas dos ambientes de permanência prolongada na Situação 1: LSF

Na figura 10 foram identificadas as paredes externas (PAR) dos ambientes de permanência prolongada, na Situação 1: LSF.

Figura 10: Identificação das paredes externas dos APP do sistema de Light Steel Framing

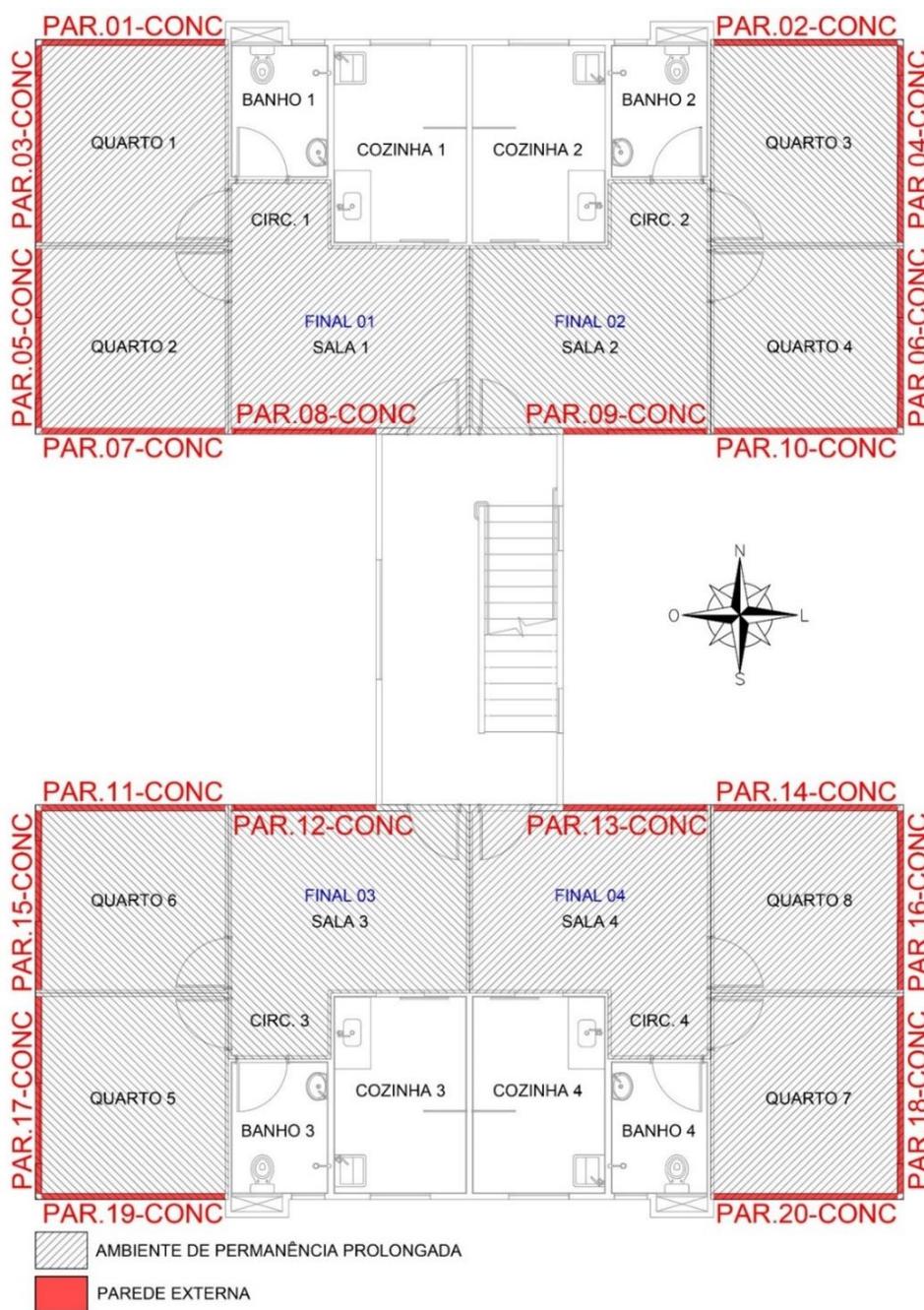


Fonte: Caixa (2018) (Adaptado)

3.1.4 Identificação das paredes externas dos ambientes de permanência prolongada na Situação 2: CONC

Na figura 11 foram identificadas as paredes externas dos ambientes de permanência prolongada, na Situação 2: CONC.

Figura 11: Identificação de paredes externas dos APP do sistema de paredes de concreto

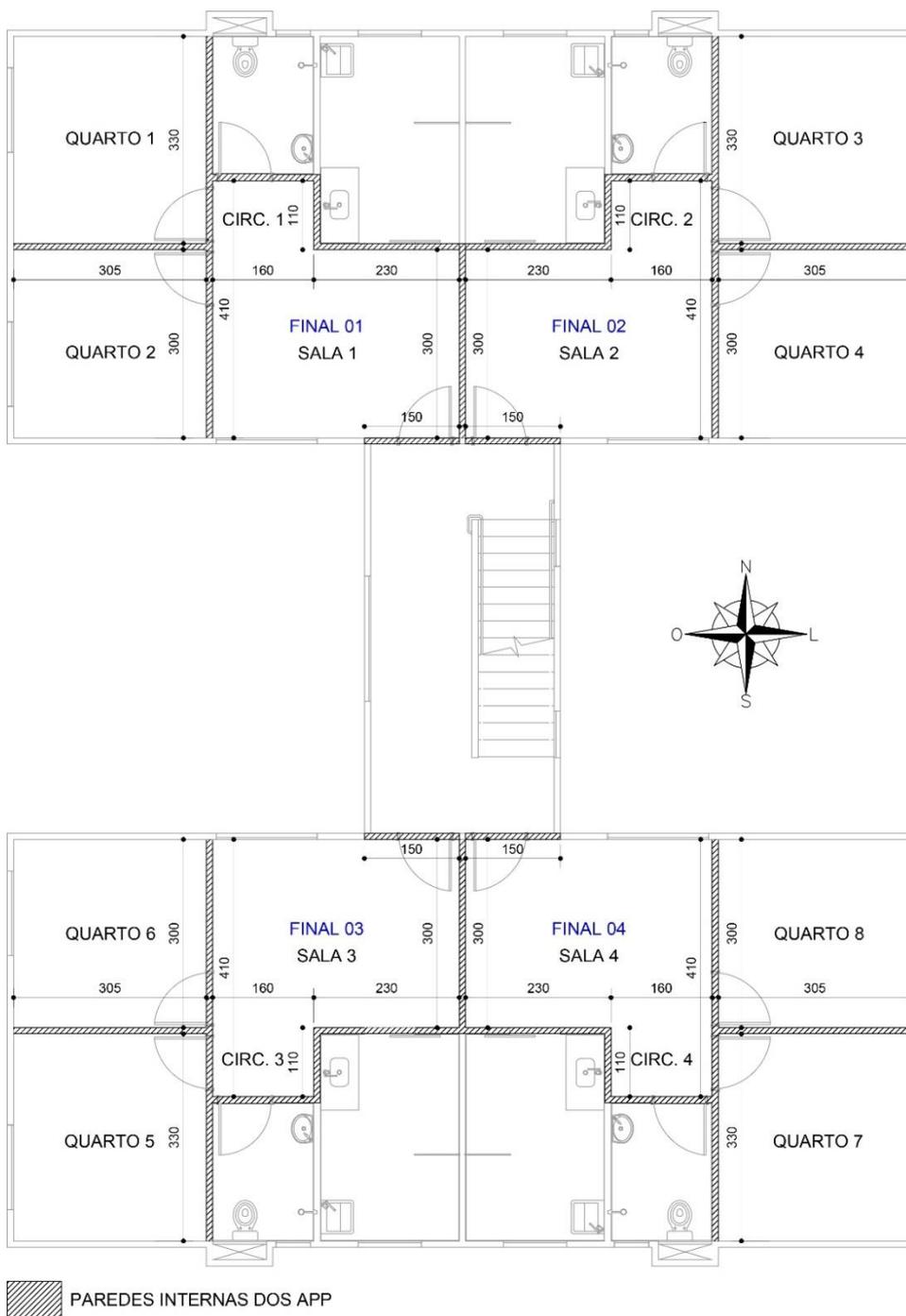


Fonte: Caixa (2018) (Adaptado)

3.1.5 Identificação das paredes internas dos Ambientes de Permanência Prolongada na Situação 1: LSF e na Situação 2: CONC

Na figura 12 foram identificadas as paredes internas dos ambientes de permanência prolongada, na Situação 1: LSF e na Situação 2: CONC.

Figura 12: Identificação das paredes internas dos APP

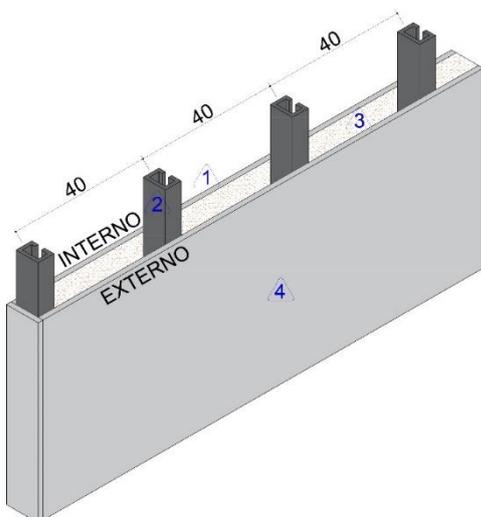


Fonte: Caixa (2018) (Adaptado)

3.1.6 Detalhamento das paredes externas do sistema de Light Steel Framing

A figura 13 ilustra as paredes externas do sistema construtivo em Light Steel Framing e seus respectivos componentes.

Figura 13: Composição das paredes externas do sistema de Light Steel Framing



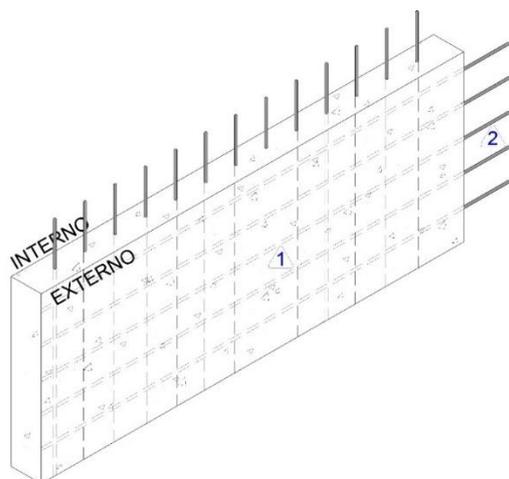
Fonte: NBR 15253 (2014) (Adaptado)

Legenda: 1) Placa de gesso acartonado 2) Perfil de alumínio 3) Lã de rocha 4) Placa cimentícia

3.1.7 Detalhamento das paredes externas do sistema de paredes de concreto moldadas in loco

A figura 14 ilustra as paredes externas do sistema construtivo em paredes de concreto moldadas in loco e seus respectivos componentes.

Figura 14: Composição das paredes externas do sistema de paredes de concreto



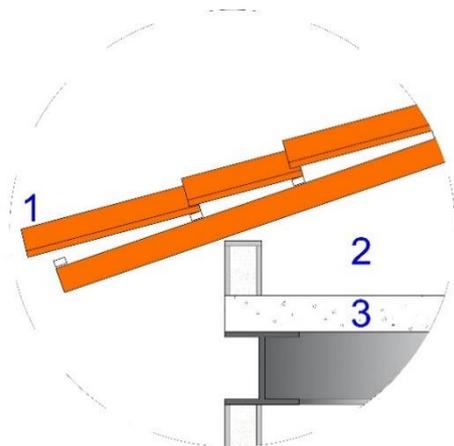
Fonte: NBR 16055 (2012) (Adaptado)

Legenda: 1) Concreto 2) Telas eletrossoldadas de aço

3.1.8 Detalhamento da cobertura do sistema de Light Steel Framing

A figura 15 ilustra parte da cobertura do sistema construtivo em Light Steel Framing e seus respectivos componentes.

Figura 15: Componentes da cobertura do sistema de Light Steel Framing



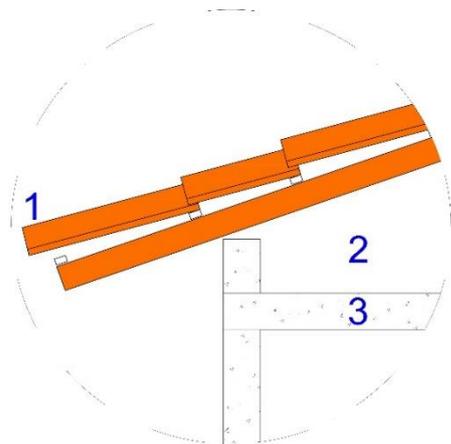
Fonte: NBR 15253 (2014) (Adaptado)

Legenda: 1) Telha cerâmica 2) Câmara de ar 3) Laje de concreto armado

3.1.9 Detalhamento da cobertura do sistema de paredes de concreto moldadas in loco

A figura 16 ilustra parte da cobertura do sistema construtivo em paredes de concreto moldadas in loco e seus respectivos componentes.

Figura 16: Características térmicas da cobertura



Fonte: NBR 16055 (2012) (Adaptado)

Legenda: 1) Telha cerâmica 2) Câmara de ar 3) Laje de concreto armado

3.2 Especificações

Nesta sessão foram especificados todos os parâmetros necessários para a avaliação energética da edificação, tanto no sistema construtivo em Light Steel Framing quanto no de Paredes de Concreto moldadas in loco.

3.2.1 Parâmetros relacionados aos coeficientes térmicos da envoltória

Baseado na NBR 15.220-3:2013, foram adotados os parâmetros de Transmitância térmica (U), Capacidade térmica (CT) e Absortância (α) das paredes externas e coberturas (TABELA 7).

Tabela 7: Coeficientes térmicos das envoltórias

Coeficientes térmicos das envoltórias			
Item		Situação 1: LSF	Situação 2: CONC
Cobertura	U (W/m ² ·K)	2,05	2,05
	CT (kJ/m ² ·K)	238	238
	α	0,75	0,75
Paredes externas	U (W/m ² ·K)	0,53	4,40
	CT (kJ/m ² ·K)	32	240
	α	0,4	0,4

Fonte: NBR 15220-3 (2003)

Sendo: U (transmitância térmica), CT (capacidade térmica), α (Absortância).

3.2.2 Determinação das características da edificação

As características gerais de ambas situações, necessárias para o desenvolvimento das avaliações, estão apresentadas no quadro 4.

Quadro 4: Coeficientes térmicos das envoltórias (continua)

Item	Situação 1: LSF	Situação 2: CONC
Revestimento fachadas (cor da tinta)	Cinza	Cinza
Revestimento paredes internas (cor da tinta)	Branca	Branca
Revestimento teto (cor da tinta)	Branca	Branca
Pé direito dos ambientes	2,65m	2,65m
Possui equipamentos voltados para o uso racional da água?	Não	Não
Possui condicionamento artificial de ar?	Não	Não
Porcentagem das fontes de iluminação artificial com selo Procel	100%	100%
Os ambientes possuem ventiladores de teto?	Não	Não
Possui refrigeradores com selo Procel?	Não	Não
Possui medição individualizada de água?	Não	Não
Possui dispositivos especiais?	Não	Não
As tubulações de água quente atendem às normas técnicas?	Sim	Sim
Apresenta sistema de aquecimento de água?	Sim	Sim
Apresenta sistema de aquecimento solar?	Não	Não
Apresenta sistema de aquecimento à gás?	Não	Não
Possui bombas de calor?	Não	Não

Quadro 4: Coeficientes térmicos das envoltórias (final)

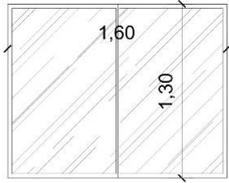
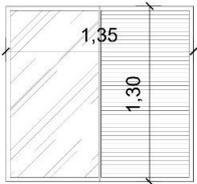
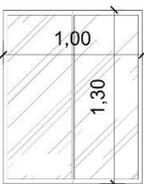
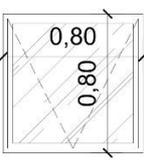
Potencia máxima do equipamento de aquecimento elétrico (W)	5000	5000
Possui Hidromassagem?	Não	Não
Possui Boilers?	Não	Não
Possui caldeiras a óleo?	Não	Não

Fonte: Caixa (2018) (Adaptado)

3.2.3 Determinação das áreas de abertura

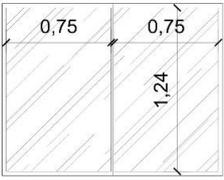
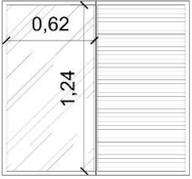
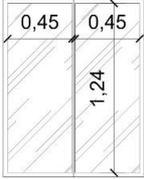
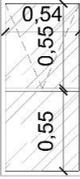
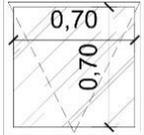
As aberturas possuem dimensões e tipologias variáveis. Foram calculadas as áreas de abertura (AAb), (QUADRO 5), áreas de abertura para iluminação (Ailum), (QUADRO 6) e as áreas de abertura para ventilação (Avent), (QUADRO 7), de todas as esquadrias. As Aab foram calculadas através da área total dos vãos, as Ailum foram calculadas através da área total dos vãos descontando-se a área de alumínio das esquadrias e as Avent foram calculadas através do levantamento das partes das aberturas que possibilitam passagem de ventilação para o interior da edificação.

Quadro 5: Determinação das áreas de abertura (AAb)

Determinação das áreas de abertura (AAb)					
Código	Representação	Tipo	Dimensões		Área de abertura (m ²)
			Largura (m)	Altura (m)	
J01		2 folhas de correr	1,60	1,30	2,08
J02		2 folhas de correr com veneziana	1,35	1,30	1,76
J03		2 folhas de correr	1,00	1,30	1,30
J04		Basculante	0,60	1,20	0,72
J05		Basculante	0,80	0,80	0,64

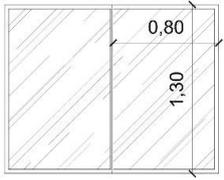
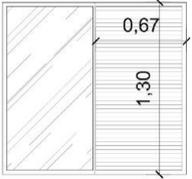
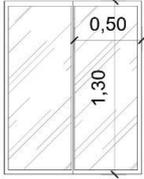
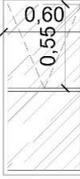
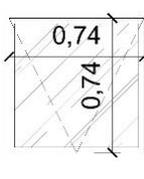
Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Quadro 6: Determinação das áreas de abertura para iluminação (Ailum)

Determinação das áreas de abertura para iluminação (Ailum.)					
Código	Representação	Tipo	Dimensões		Área de abertura para iluminação (m ²)
			Largura (m)	Altura (m)	
J01		2 folhas de correr	1,50	1,24	1,86
J02		2 folhas de correr com veneziana	0,62	1,24	0,77
J03		2 folhas de correr	0,90	1,24	1,12
J04		Basculante	0,54	1,10	0,59
J05		Basculante	0,70	0,70	0,49

Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Quadro 7: Determinação das áreas de abertura para ventilação (Avent)

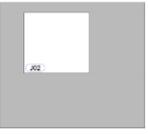
Determinação das áreas de abertura para ventilação (Avent.)					
Código	Representação	Tipo	Dimensões		Área de abertura para ventilação (m ²)
			Largura (m)	Altura (m)	
J01		ABRE	0,80	1,30	1,04
J02		VENEZIANA	0,67	1,30	0,87
J03		ABRE	0,50	1,30	0,65
J04		BASCULANTE	0,60	0,55	0,33
J05		BASCULANTE	0,74	0,74	0,55

Fonte: Arquivo pessoal (2018)

3.2.4 Determinação da área das paredes externas dos ambientes de permanência prolongada

Nesta etapa foram calculadas as áreas das paredes externas dos ambientes de permanência prolongada (APP). Para isto foram calculadas as áreas totais das paredes e as suas respectivas áreas líquidas (área total, descontando-se a área dos vãos de abertura). As figuras 17, 18, 19 e 20 representam, respectivamente, as unidades habitacionais de Final 01, 02, 03 e 04. E nos quadros 8, 9, 10 e 11 se apresentam, respectivamente, as áreas das paredes externas das unidades habitacionais de Final 01, 02, 03 e 04.

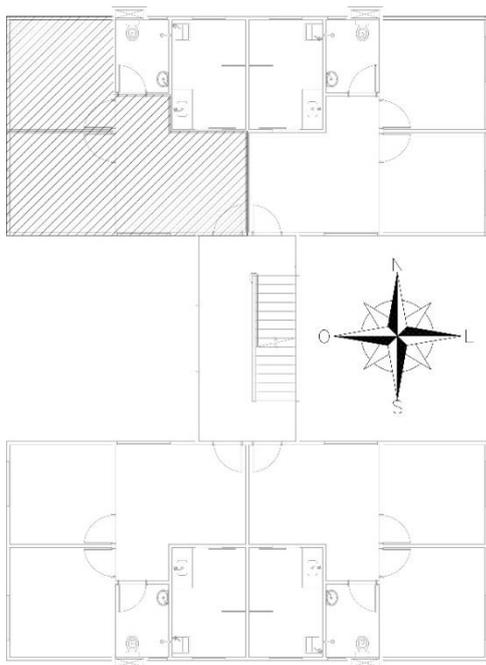
Quadro 8: Determinação da área das paredes externas das UHs de Final 01

UH	Ambiente	Identificação	Elevação	Área total da parede (m ²)	Área de abertura (m ²)	Área da parede (m ²)
FINAL 01 (101, 201, 301 e 401)	QUARTO 1	PAR.01-LSF PAR.01-CONC		7,99	-	7,99
		PAR.03-LSF PAR.03-CONC		8,7	1,76	6,94
	QUARTO 2	PAR.05-LSF PAR.05-CONC		7,92	1,76	6,16
		PAR.07-LSF PAR.07-CONC		7,99	-	7,99
	SALA 1	PAR.08-LSF PAR.08-CONC		6,35	2,08	4,27

Fonte: Arquivo pessoal (2018)

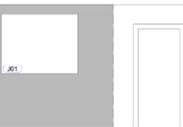
Legenda:  área considerada da parede

Figura 17: UHs de Final 01



Fonte: Arquivo pessoal (2018)

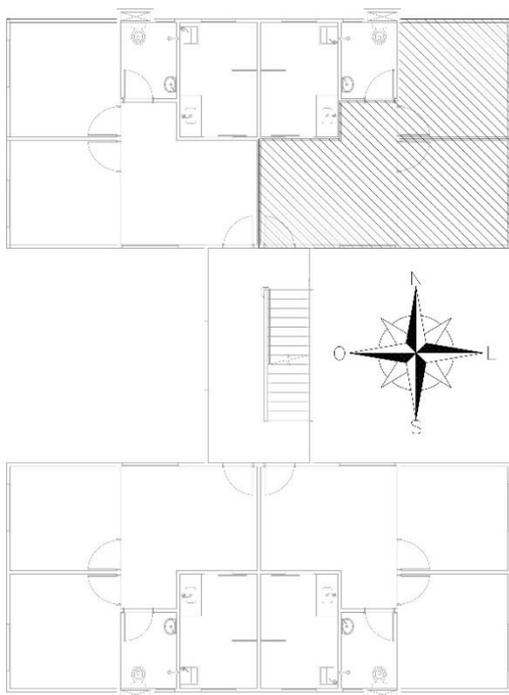
Quadro 9: Determinação da área das paredes externas das UHs de Final 02

UH	Ambiente	Identificação	Elevação	Área total da parede (m ²)	Área de abertura (m ²)	Área da parede (m ²)
FINAL 02 (102, 202, 302 e 402)	QUARTO 3	PAR.02-LSF PAR.02-CONC		7,99	-	7,99
		PAR.04-LSF PAR.04-CONC		8,7	1,76	6,94
	QUARTO 4	PAR.06-LSF PAR.06-CONC		7,92	1,76	6,16
		PAR.10-LSF PAR.10-CONC		7,99	-	7,99
	SALA 2	PAR.09-LSF PAR.09-CONC		6,35	2,08	4,27

Fonte: Arquivo pessoal (2018)

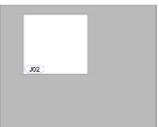
Legenda:  área considerada da parede

Figura 18: UHs de Final 02



Fonte: Arquivo pessoal (2018)

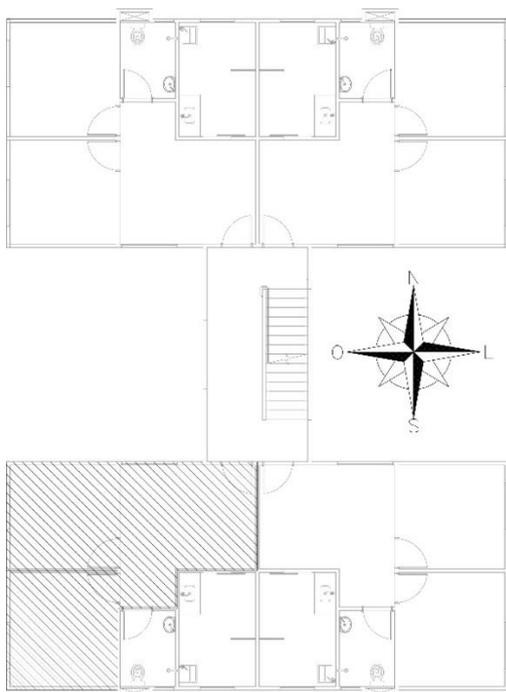
Quadro 10: Determinação da área das paredes externas das UHs de Final 03

UH	AMBIENTE	PAREDE EXT	ELEVAÇÃO	Área total da parede (m ²)	Área de abertura (m ²)	Área da parede (m ²)
FINAL 03 (103, 203, 303 e 403)	QUARTO 5	PAR.17-LSF PAR.17-CONC		8,7	1,76	6,94
		PAR.19-LSF PAR.19-CONC		7,99	-	7,99
	QUARTO 6	PAR.11-LSF PAR.11-CONC		7,99	-	7,99
		PAR.15-LSF PAR.15-CONC		7,92	1,76	6,16
	SALA 3	PAR.12-LSF PAR.12-CONC		6,35	2,08	4,27

Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Legenda:  área considerada da parede

Figura 19: UHs de Final 03



Fonte: Arquivo pessoal (2018)

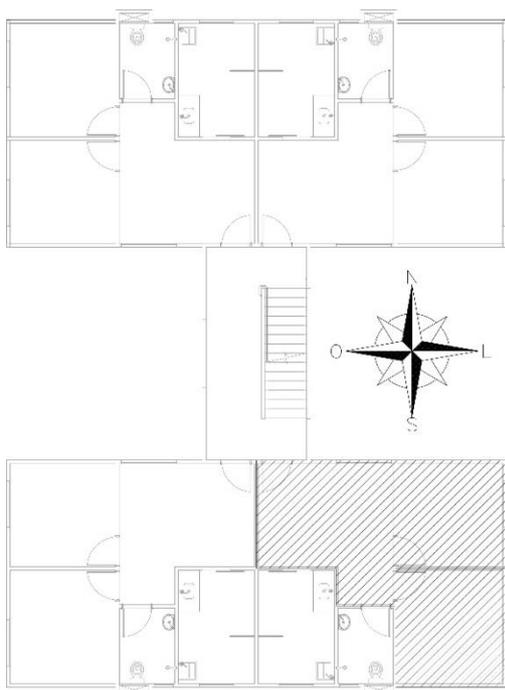
Quadro 11: Determinação da área das paredes externas das UHs de Final 04

UH	Ambiente	Identificação	Elevação	Área total da parede (m ²)	Área de abertura (m ²)	Área da parede (m ²)
FINAL 04 (104, 204, 304 e 404)	QUARTO 7	PAR.18-LSF PAR.18-CONC		8,7	1,76	6,94
		PAR.20-LSF PAR.20-CONC		7,99	-	7,99
	QUARTO 8	PAR.14-LSF PAR.14-CONC		7,99	-	7,99
		PAR.16-LSF PAR.16-CONC		7,92	1,76	6,16
	SALA 4	PAR.13-LSF PAR.13-CONC		6,35	2,08	4,27

Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Legenda:  área considerada da parede

Figura 20: UHs de Final 04



Fonte: Arquivo pessoal (2018)

3.2.5 Determinação da área das paredes internas dos ambientes de permanência prolongada

Nesta etapa foram calculadas as áreas das paredes internas dos ambientes de permanência prolongado (APP) (QUADRO 12).

Quadro 12: Determinação da área das paredes internas dos APP

UH	Ambiente	Perímetro total das paredes (m)	Altura das paredes (m)	Área total das paredes (m ²)
FINAL 01 (101, 201, 301 e 401)	QUARTO 1	6,35	2,62	16,64
	QUARTO 2	6,05	2,62	15,85
	SALA 1	13,6	2,62	35,63
UH	Ambiente	Perímetro total das paredes (m)	Altura das paredes (m)	Área total das paredes (m ²)
FINAL 02 (102, 202, 302 e 402)	QUARTO 3	6,35	2,62	16,64
	QUARTO 4	6,05	2,62	15,85
	SALA 2	13,6	2,62	35,63
UH	Ambiente	Perímetro total das paredes (m)	Altura das paredes (m)	Área total das paredes (m ²)
FINAL 03 (103, 203, 303 e 403)	QUARTO 5	6,35	2,62	16,64
	QUARTO 6	6,05	2,62	15,85
	SALA 3	13,6	2,62	35,63
UH	Ambiente	Perímetro total das paredes (m)	Altura das paredes (m)	Área total das paredes (m ²)
FINAL 04 (104, 204, 304 e 404)	QUARTO 7	6,35	2,62	16,64
	QUARTO 8	6,05	2,62	15,85
	SALA 4	13,6	2,62	35,63

Fonte: Arquivo pessoal (2018)

3.3 Caracterização climática das cidades selecionadas

A caracterização do clima das cidades selecionadas para a análise proposta neste trabalho se faz importante uma vez que apresenta um indicativo das condições climáticas locais, possibilitando o entendimento das estratégias naturais disponíveis para colaborar ou não para a melhoria do desempenho térmico dos edifícios.

Para desenvolvimento do trabalho foram selecionadas cidades representativas das regiões Sul, Sudeste e Norte do Brasil, com o objetivo de englobar regiões com climas distintos dentro do território nacional. As cidades selecionadas foram Passo Fundo - RS (ZB2), Belo Horizonte - MG (ZB3) e Manaus – AM (ZB8).

De acordo com as faixas de conforto térmico ideais disponíveis em biografias específicas (TABELA 8), foram dotados os valores médios das temperaturas mínimas e máximas, estipulados respectivamente em 19°C e 29°C. Desta forma, valores abaixo ou acima destes limites foram considerados fora dos padrões ideais de conforto.

Tabela 8: Determinação das temperaturas de conforto

Fonte	Temperatura mínima	Temperatura máxima
ASHARE standard 55 (2004)	18,5°C	30,5°C
EM 15251 (2007)	21,7°C	30,7°C
CIBSE (2006)	17°C	26°C
Givoni (1992)	20°C	29°C
Oliveira (2015)	18°C	29°C

Fonte: ASHARE (2004), EM 15251 (2017), CIBSE (2006), Givoni (1992) e Oliveira (2015)

Como pode-se observar na tabela 9, a cidade de Passo Fundo, no Rio Grande do Sul, possui médias diárias abaixo do limite mínimo de temperatura estipulado em boa parte do ano, sobretudo no inverno e de madrugada.

Tabela 9: Valores médios horários de temperatura mensal de Passo Fundo (ZB2)

Hora / Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	18,6	18,1	17,7	14,8	12,0	9,8	13,4	12,5	10,8	15,3	16,5	17,9
2	18,1	17,6	17,3	14,5	11,7	9,6	13,1	12,1	10,5	15,1	16,1	17,5
3	17,8	17,3	16,9	14,2	11,4	9,5	12,9	11,8	10,0	14,8	15,8	17,1
4	17,5	17,1	16,7	13,9	11,4	9,4	12,5	11,7	9,8	14,6	15,5	16,8
5	17,3	16,8	16,5	13,6	11,1	9,2	12,1	11,5	9,6	14,5	15,5	16,6
6	17,2	16,6	16,4	13,4	10,9	9,2	12,0	11,5	9,5	14,4	15,8	16,6
7	18,2	17,3	16,6	13,3	10,8	9,0	11,7	11,6	9,9	15,2	17,2	17,9
8	19,7	18,9	18,2	14,7	11,5	9,3	12,1	12,5	11,4	16,5	18,9	19,5
9	21,4	20,6	20,0	16,4	13,2	10,4	13,6	14,0	12,6	17,5	20,5	21,3
10	22,6	22,3	21,7	18,3	14,9	11,5	15,1	15,3	14,2	18,8	22,0	23,3
11	23,9	23,7	23,2	19,9	16,7	12,6	16,7	16,6	15,4	19,5	23,1	24,8
12	24,8	24,8	24,2	20,9	18,0	13,7	18,3	17,5	16,4	20,0	24,3	25,4
13	25,4	25,3	24,9	21,6	18,8	14,5	19,5	18,2	17,0	20,2	25,0	26,0
14	26,0	25,7	24,8	22,0	19,0	15,0	20,2	18,5	17,6	20,7	25,0	26,4
15	25,9	26,1	25,0	22,1	19,1	15,3	20,4	18,6	17,4	20,8	24,7	26,4
16	25,7	25,7	24,9	22,1	18,8	15,0	20,0	18,4	17,5	20,7	24,7	26,4
17	25,5	25,6	23,9	21,3	17,7	14,1	18,8	17,5	16,8	20,4	23,8	25,8
18	24,7	24,7	22,8	19,7	15,9	12,9	17,1	16,2	15,2	19,1	23,0	25,0
19	23,2	22,9	21,3	18,3	15,0	12,1	16,2	15,2	13,9	18,0	21,2	23,3
20	21,7	21,5	20,4	17,0	14,3	11,6	15,6	14,6	13,2	17,3	19,9	21,7
21	20,7	20,6	19,5	16,3	13,6	11,2	15,2	14,1	12,5	16,6	18,9	20,6
22	20,1	19,8	18,8	15,7	13,2	10,7	14,7	13,7	12,3	16,1	18,2	19,7
23	19,5	19,3	18,4	15,2	12,8	10,4	14,4	13,3	11,9	15,9	17,5	19,2
24	18,9	18,6	17,9	14,9	12,4	10,2	13,9	13,0	11,4	15,5	17,0	18,5

Fonte: Arquivo climático da cidade de Passo Fundo – RS (LABEEE, 2016)

Legenda: ■ $T < 19^{\circ}\text{C}$ ■ $19^{\circ}\text{C} \leq T \leq 29^{\circ}\text{C}$ ■ $T > 29^{\circ}\text{C}$.

Como pode-se observar na tabela 10, a cidade de Belo Horizonte, em Minas Gerais, possui médias diárias dentro dos limites de temperatura estipulados em boa parte do ano, apresentando temperaturas mais baixas apenas no inverno, em parte da madrugada e no final da noite.

Tabela 10: Valores médios horários de temperatura mensal de Belo Horizonte (ZB3)

Hora / Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	20,6	20,5	21,5	20,2	17,1	16,5	17,0	17,3	19,0	20,0	21,5	20,1
2	20,3	20,3	21,0	19,9	16,7	16,0	16,3	16,7	18,5	19,7	21,2	19,9
3	20,1	20,1	20,6	19,5	16,4	15,6	15,8	16,3	18,1	19,6	20,9	19,8
4	19,8	19,9	20,5	19,3	16,0	15,3	15,4	15,9	17,6	19,4	20,7	19,6
5	19,7	19,8	20,2	19,0	15,7	14,7	15,3	15,5	17,2	19,3	20,4	19,5
6	19,8	19,7	19,8	19,0	15,5	14,4	15,0	14,9	17,0	19,5	21,0	19,9
7	20,9	20,7	20,9	19,5	16,1	14,7	15,2	15,5	17,9	20,9	22,7	21,0
8	22,2	21,7	22,6	21,3	18,2	17,1	17,3	17,8	19,7	22,4	23,9	22,1
9	23,5	22,7	24,1	22,7	20,1	19,5	19,1	19,4	21,0	23,5	24,9	23,0
10	24,6	23,8	25,4	23,8	21,4	21,2	20,7	21,2	22,6	24,5	26,2	23,8
11	25,4	24,5	26,5	24,7	22,8	22,6	22,0	22,6	24,2	25,6	27,0	24,4
12	26,2	25,6	27,3	25,7	23,9	23,8	23,2	23,9	25,4	26,1	27,5	24,7
13	26,7	26,0	27,9	26,1	24,6	24,6	23,8	24,8	26,4	26,5	27,6	24,9
14	26,7	26,5	28,4	26,3	24,8	25,1	24,5	25,4	27,0	26,7	27,9	25,0
15	26,7	26,0	28,4	26,4	24,9	24,9	24,4	25,5	26,9	26,2	27,9	24,9
16	26,4	25,7	28,1	26,0	24,2	24,4	23,8	24,9	26,5	25,8	27,3	24,5
17	25,4	25,0	27,3	24,8	22,8	22,7	22,5	23,8	25,4	24,8	26,5	23,6
18	24,5	23,7	25,7	23,7	21,3	21,1	21,0	22,2	24,1	22,9	25,3	22,6
19	23,5	22,8	24,8	23,0	20,6	20,3	20,2	21,3	23,1	22,2	24,2	22,1
20	22,6	22,3	24,1	22,4	20,1	19,6	19,6	20,5	22,1	21,7	23,6	21,6
21	22,0	21,8	23,5	21,8	19,2	18,9	19,0	19,7	21,3	21,2	23,1	21,3
22	21,7	21,4	22,9	21,4	18,6	18,2	18,6	19,1	20,7	20,8	22,6	21,1
23	21,3	21,0	22,4	21,0	18,1	17,7	18,1	18,7	20,1	20,7	22,3	20,7
24	21,1	20,7	21,9	20,6	17,6	17,1	17,4	18,0	19,6	20,3	22,0	20,5

Fonte: Arquivo climático da cidade de Belo Horizonte – MG (LABEEE, 2016)

Legenda: ■ $T < 19^{\circ}\text{C}$ ■ $19^{\circ}\text{C} \leq T \leq 29^{\circ}\text{C}$ ■ $T > 29^{\circ}\text{C}$.

Como pode-se observar na tabela 11, a cidade de Manaus, no Amazonas, possui médias diárias dentro dos limites de temperatura estipulados em parte do ano, apresentando, porém, médias de temperaturas elevadas, ultrapassando os limites máximos estipulados em alguns meses do ano.

Tabela 11: Valores médios horários de temperatura mensal de Manaus (ZB8)

Hora / Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	24,8	25,0	25,3	25,5	25,6	25,1	25,4	26,2	26,8	25,9	25,8	25,2
2	24,7	24,8	25,1	25,3	25,5	25,0	25,2	26,0	26,6	25,7	25,7	25,0
3	24,5	24,6	25,1	25,1	25,4	24,8	25,1	25,7	26,3	25,5	25,6	24,8
4	24,3	24,4	25,0	24,9	25,3	24,7	24,9	25,5	26,0	25,3	25,4	24,7
5	24,2	24,2	24,9	24,8	25,2	24,5	24,8	25,3	25,8	25,1	25,3	24,5
6	24,1	24,1	24,8	24,7	25,1	24,3	24,6	25,1	25,5	24,9	25,2	24,3
7	24,1	23,9	24,7	24,5	25,0	24,1	24,4	24,9	26,1	25,8	25,9	25,0
8	24,7	24,5	25,2	25,2	25,6	24,9	25,3	25,9	26,6	26,7	26,5	25,7
9	25,3	25,1	25,9	26,0	26,2	25,8	26,2	26,9	27,4	27,6	27,2	26,4
10	26,0	25,7	26,6	26,7	26,8	26,6	27,1	27,9	28,2	28,6	27,9	27,1
11	26,6	26,4	27,3	27,4	27,4	27,5	28,0	29,0	29,0	29,5	28,6	27,8
12	27,2	27,0	28,0	28,2	28,0	28,4	28,9	30,0	29,8	30,5	29,3	28,5
13	27,9	27,7	28,7	28,9	28,6	29,2	29,8	31,0	30,6	31,4	30,0	29,2
14	28,5	28,3	29,4	29,7	29,2	30,1	30,7	32,0	31,4	32,4	30,7	29,9
15	28,1	27,9	28,9	29,1	28,7	29,4	29,9	31,3	30,8	31,5	30,0	29,4
16	27,6	27,5	28,4	28,5	28,2	28,7	29,2	30,5	30,2	30,7	29,3	28,8
17	27,2	27,1	27,8	28,0	27,7	28,0	28,4	29,7	29,5	29,9	28,6	28,2
18	26,8	26,7	27,3	27,4	27,2	27,4	27,7	28,9	28,9	29,0	27,9	27,6
19	26,4	26,3	26,8	26,8	26,7	26,7	26,9	28,2	28,3	28,2	27,2	27,1
20	25,9	25,9	26,3	26,3	26,2	26,0	26,2	27,4	27,6	27,4	26,5	26,5
21	25,8	25,7	26,0	26,1	26,1	25,9	26,0	27,2	27,4	27,1	26,3	26,3
22	25,5	25,5	25,8	26,0	26,0	25,7	25,9	27,0	27,2	26,8	26,1	26,0
23	25,3	25,4	25,6	25,8	25,8	25,5	25,7	26,7	27,0	26,5	26,0	25,7
24	25,1	25,2	25,4	25,7	25,7	25,3	25,5	26,5	26,9	26,2	25,9	25,4

Fonte: Arquivo climático da cidade de Manaus – AM (LABEEE, 2016)

Legenda: ■ T<19°C ■ 19°C≤T≤29°C ■ T>29°C

4 RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados da pesquisa de eficiência energética, de acordo com a metodologia adotada. Durante o desenvolvimento do trabalho foram desenvolvidas 96 planilhas de cálculo, cada uma referente a uma UH.

Buscando uma apresentação mais sucinta dos resultados, nos APÊNDICES A à I são apresentados os processos de cálculo detalhados referentes à UH 401, nos dois sistemas construtivos analisados e nas ZBs 2, 3 e 8. A avaliação de todas as demais UHs seguiram os mesmos parâmetros e critérios da UH 401.

A seguir será apresentada uma síntese esquemática dos resultados encontrados durante os testes. Para isto, os resultados de relevância para as análises foram selecionados e agrupados em tabelas, possibilitando uma comparação mais adequada dos resultados. Os dados apresentados nestas tabelas se dividem da seguinte forma:

- Desempenho térmico da envoltória dos ambientes de permanência prolongada, composto pelo índice de graus-hora para resfriamento (GHR), dado em °C.h e pelo Consumo relativo para aquecimento (CA), dado em kWh/m².ano.
- Pré-requisitos por ambiente, referentes aos índices de iluminação e ventilação natural.
- Avaliação da UH, levando em consideração todos os pré-requisitos e bonificações estipulados pelo RTQ-R.
- Avaliação da edificação multifamiliar, calculada através da média de avaliação das UHs.

Os resultados serão apresentados para as Zonas Bioclimáticas 2, 3 e 8, na Situação 1: LSF e Situação 2: CONC.

4.1 Resultados dos indicadores de graus-hora para resfriamento (GHR) e consumo relativo para aquecimento (CA) dos ambientes de permanência prolongada (APP)

Esta etapa relaciona todos os resultados encontrados durante o desenvolvimento do trabalho, no que se refere valores encontrados para os indicadores de Graus-hora para resfriamento (GHR) e Consumo relativo para aquecimento (CA). Seguindo os parâmetros e os limites estipulados pelo RTQ-R para

cada zona bioclimática, os resultados foram agrupados e divididos por grupos de avaliação, que vão de A a E, sendo A a melhor avaliação possível.

Como os limites de avaliação variam de acordo com a zona bioclimática, impossibilitando uma comparação direta dos resultados numéricos entre as ZBs 2, 3 e 8, optou-se por apresentar os resultados dos cálculos encontrados em cada zona, avaliando-os de acordo com os parâmetros estipulados (A-E), para posteriormente comparar as avaliações entre as três zonas bioclimáticas. De acordo com o manual, o indicador de CA não se aplica à ZB8, por isto foram apresentados para esta zona apenas os resultados de GHR.

4.1.1 Resultados de GHR e CA dos APPs na Zona Bioclimática 2

A tabela 12 mostra os resultados dos indicadores de Graus-hora para resfriamento (GHR) na Zona Bioclimática 2, na Situação 1: LSF e Situação 2: CONC.

Tabela 12: Indicador GHR de desempenho térmico da envoltória para verão na ZB2

ZB 2		Desempenho térmico da envoltória dos ambientes de permanência prolongada							
		GHR (°C·h) - Verão							
UH	Ambiente	LSF	CONC	Ambiente	LSF	CONC	Ambiente	LSF	CONC
101	SALA 1	6138	5567	QUARTO 1	6642	6404	QUARTO 2	5629	5442
102	SALA 2	6138	5567	QUARTO 3	6518	6365	QUARTO 4	5459	5347
103	SALA 3	7452	6830	QUARTO 5	5435	5291	QUARTO 6	6836	6555
104	SALA 4	7452	6830	QUARTO 7	5311	5252	QUARTO 8	6666	6460
201	SALA 1	7947	7376	QUARTO 1	8401	8164	QUARTO 2	7376	7189
202	SALA 2	7947	7376	QUARTO 3	8278	8125	QUARTO 4	7206	7093
203	SALA 3	9261	8639	QUARTO 5	7194	7051	QUARTO 6	8583	8302
204	SALA 4	9261	8639	QUARTO 7	7071	7012	QUARTO 8	8413	8206
301	SALA 1	7947	7376	QUARTO 1	8401	8164	QUARTO 2	7376	7189
302	SALA 2	7947	7376	QUARTO 3	8278	8125	QUARTO 4	7206	7093
303	SALA 3	9261	8639	QUARTO 5	7194	7051	QUARTO 6	8583	8302
304	SALA 4	9261	8639	QUARTO 7	7071	7012	QUARTO 8	8413	8206
401	SALA 1	10296	9727	QUARTO 1	10452	10215	QUARTO 2	9347	9160
402	SALA 2	10296	9727	QUARTO 3	10329	10176	QUARTO 4	9177	9065
403	SALA 3	11610	10988	QUARTO 5	9245	9102	QUARTO 6	10554	10273
404	SALA 4	11610	10988	QUARTO 7	9122	9063	QUARTO 8	10384	10177

Fonte: PROCEL:2012 (Adaptado)

Legenda: ■ A ≤ 2310 ■ 2310 < B ≤ 4396 ■ 4396 < C ≤ 6481
■ 6481 < D ≤ 8567 ■ E > 8567

A tabela 13 apresenta os resultados dos indicativos de Consumo relativo para aquecimento (CA) na Zona Bioclimática 2, na Situação 1: LSF e Situação 2: CONC.

Tabela 13: Indicador CA de desempenho térmico da envoltória para inverno na ZB2

ZB 2		Desempenho térmico da envoltória dos ambientes de permanência prolongada							
		CA (kWh/m ² .ano) - Inverno							
UH	Ambiente	LSF	CONC	Ambiente	LSF	CONC	Ambiente	LSF	CONC
101	SALA 1	1975	1972	QUARTO 1	1773	1771	QUARTO 2	1949	1947
102	SALA 2	1975	1972	QUARTO 3	1876	1874	QUARTO 4	2063	2061
103	SALA 3	1358	1355	QUARTO 5	1774	1772	QUARTO 6	1948	1945
104	SALA 4	1358	1355	QUARTO 7	1878	1876	QUARTO 8	2062	2059
201	SALA 1	1972	1969	QUARTO 1	1770	1768	QUARTO 2	1946	1943
202	SALA 2	1972	1969	QUARTO 3	1873	1871	QUARTO 4	2060	2057
203	SALA 3	1355	1352	QUARTO 5	1771	1769	QUARTO 6	1944	1942
204	SALA 4	1355	1352	QUARTO 7	1875	1872	QUARTO 8	2058	2056
301	SALA 1	1972	1969	QUARTO 1	1770	1768	QUARTO 2	1946	1943
302	SALA 2	1972	1969	QUARTO 3	1873	1871	QUARTO 4	2060	2057
303	SALA 3	1355	1352	QUARTO 5	1771	1769	QUARTO 6	1944	1942
304	SALA 4	1355	1352	QUARTO 7	1875	1872	QUARTO 8	2058	2056
401	SALA 1	1980	1977	QUARTO 1	1780	1778	QUARTO 2	1957	1954
402	SALA 2	1980	1977	QUARTO 3	1883	1881	QUARTO 4	2071	2068
403	SALA 3	1363	1360	QUARTO 5	1781	1779	QUARTO 6	1955	1953
404	SALA 4	1363	1360	QUARTO 7	1885	1882	QUARTO 8	2069	2067

Fonte: PROCEL:2012 (Adaptado)

Legenda: ■ $A \leq 15,591$ ■ $15,591 < B \leq 31,182$ ■ $31,182 < C \leq 46,772$
■ $46,772 < D \leq 62,363$ ■ $E > 62,363$

4.1.2 Resultados de GHR e CA dos APPs na Zona Bioclimática 3

A tabela 14 apresenta os resultados dos indicadores de Graus-hora para resfriamento (GHR) na Zona Bioclimática 3, na Situação 1: LSF e Situação 2: CONC.

Tabela 14: Indicador GHR de desempenho térmico da envoltória para verão na ZB3

ZB 3		Desempenho térmico da envoltória dos ambientes de permanência prolongada							
		GHR (°C·h) - Verão							
UH	Ambiente	LSF	CONC	Ambiente	LSF	CONC	Ambiente	LSF	CONC
101	SALA 1	2011	1013	QUARTO 1	1947	1269	QUARTO 2	1632	810
102	SALA 2	2011	1013	QUARTO 3	2008	1448	QUARTO 4	1692	974
103	SALA 3	2265	1335	QUARTO 5	1560	756	QUARTO 6	2019	1324
104	SALA 4	2265	1335	QUARTO 7	1621	935	QUARTO 8	2078	1488
201	SALA 1	2724	1726	QUARTO 1	2632	1488	QUARTO 2	2311	1955
202	SALA 2	2724	1726	QUARTO 3	2693	2134	QUARTO 4	2370	1652
203	SALA 3	2978	2048	QUARTO 5	2246	1441	QUARTO 6	2698	2002
204	SALA 4	2978	2048	QUARTO 7	2307	1620	QUARTO 8	2757	2166
301	SALA 1	2724	1726	QUARTO 1	2632	1488	QUARTO 2	2311	1955
302	SALA 2	2724	1726	QUARTO 3	2693	2134	QUARTO 4	2370	1652
303	SALA 3	2978	2048	QUARTO 5	2246	1441	QUARTO 6	2698	2002
304	SALA 4	2978	2048	QUARTO 7	2307	1620	QUARTO 8	2757	2166
401	SALA 1	3815	2817	QUARTO 1	3613	2439	QUARTO 2	3262	2936
402	SALA 2	3815	2817	QUARTO 3	3674	3115	QUARTO 4	3321	2603
403	SALA 3	4069	3140	QUARTO 5	3226	2422	QUARTO 6	3649	2953
404	SALA 4	4069	3140	QUARTO 7	3287	2601	QUARTO 8	3708	3117

Fonte: PROCEL:2012 (Adaptado)

Legenda: $A \leq 822$ $822 < B \leq 1643$ $1643 < C \leq 2465$
 $2465 < D \leq 3286$ $E > 3286$

A tabela 15 apresenta os resultados dos indicativos de Consumo relativo para aquecimento (CA) na Zona Bioclimática 3, na Situação 1: LSF e Situação 2: CONC.

Tabela 15: Indicador CA de desempenho térmico da envoltória para inverno na ZB3

ZB 3		Desempenho térmico da envoltória dos ambientes de permanência prolongada							
		CA (kWh/m ² .ano) - Inverno							
UH	Ambiente	LSF	CONC	Ambiente	LSF	CONC	Ambiente	LSF	CONC
101	SALA 1	11,57	13,35	QUARTO 1	9,72	11,451	QUARTO 2	10,928	12,663
102	SALA 2	11,57	13,35	QUARTO 3	9,72	11,451	QUARTO 4	10,928	12,663
103	SALA 3	9,211	10,991	QUARTO 5	11,263	12,995	QUARTO 6	9,385	11,12
104	SALA 4	9,211	10,991	QUARTO 7	11,263	12,995	QUARTO 8	9,385	11,12
201	SALA 1	8,768	10,548	QUARTO 1	6,918	9,861	QUARTO 2	8,126	8,649
202	SALA 2	8,768	10,548	QUARTO 3	6,918	9,649	QUARTO 4	8,126	9,861
203	SALA 3	6,408	8,188	QUARTO 5	8,461	10,192	QUARTO 6	6,583	8,318
204	SALA 4	6,408	8,188	QUARTO 7	8,461	10,192	QUARTO 8	6,583	8,318
301	SALA 1	8,768	10,548	QUARTO 1	6,918	9,861	QUARTO 2	8,126	8,649
302	SALA 2	8,768	10,548	QUARTO 3	6,918	8,649	QUARTO 4	8,126	9,861
303	SALA 3	6,408	8,188	QUARTO 5	8,461	10,192	QUARTO 6	6,583	8,318
304	SALA 4	6,408	8,188	QUARTO 7	8,461	10,192	QUARTO 8	6,583	8,318
401	SALA 1	11,122	12,902	QUARTO 1	9,272	12,215	QUARTO 2	10,48	11,003
402	SALA 2	11,122	12,902	QUARTO 3	9,272	11,003	QUARTO 4	10,48	12,215
403	SALA 3	8,763	10,543	QUARTO 5	10,815	12,546	QUARTO 6	8,937	10,672
404	SALA 4	8,763	10,543	QUARTO 7	10,815	12,546	QUARTO 8	8,937	10,672

Fonte: PROCEL:2012 (Adaptado)

Legenda: ■ A ≤ 6,429 ■ 6,429 < B ≤ 12,858 ■ 12,858 < C ≤ 19,287
■ 19,287 < D ≤ 25,716 ■ E > 25,716

4.1.3 Resultados de GH_R dos APPs na Zona Bioclimática 8

A tabela 16 mostra os resultados dos indicadores de Graus-hora para resfriamento (GH_R) na Zona Bioclimática 8, na Situação 1: LSF e Situação 2: CONC.

Tabela 16: Indicador GHR de desempenho térmico da envoltória para verão na ZB8

ZB 8		Desempenho térmico da envoltória dos ambientes de permanência prolongada							
		GHR (°C·h) - Verão							
UH	Ambiente	LSF	CONC	Ambiente	LSF	CONC	Ambiente	LSF	CONC
101	SALA 1	10898	7440	QUARTO 1	10302	8761	QUARTO 2	8687	6567
102	SALA 2	10898	7440	QUARTO 3	8820	7113	QUARTO 4	7179	4911
103	SALA 3	11670	9294	QUARTO 5	8547	6494	QUARTO 6	10442	8834
104	SALA 4	11670	9294	QUARTO 7	7065	4846	QUARTO 8	8934	7178
201	SALA 1	11057	8408	QUARTO 1	11203	9662	QUARTO 2	9570	7450
202	SALA 2	11057	8408	QUARTO 3	9721	8014	QUARTO 4	8062	5794
203	SALA 3	12637	10261	QUARTO 5	9448	7395	QUARTO 6	11325	9717
204	SALA 4	12637	10261	QUARTO 7	7966	5747	QUARTO 8	9816	8061
301	SALA 1	11057	8408	QUARTO 1	11203	9662	QUARTO 2	9570	7450
302	SALA 2	11057	8408	QUARTO 3	9721	8014	QUARTO 4	8062	5794
303	SALA 3	12637	10261	QUARTO 5	9448	7395	QUARTO 6	11325	9717
304	SALA 4	12637	10261	QUARTO 7	7966	5747	QUARTO 8	9816	8061
401	SALA 1	14010	11361	QUARTO 1	13834	12292	QUARTO 2	12114	9994
402	SALA 2	14010	11361	QUARTO 3	12352	10644	QUARTO 4	10606	8338
403	SALA 3	15591	13215	QUARTO 5	12079	10025	QUARTO 6	13869	12261
404	SALA 4	15591	13215	QUARTO 7	10597	8377	QUARTO 8	12361	10605

Fonte: PROCEL:2012 (Adaptado)

Legenda: ■ $A \leq 5209$ ■ $5209 < B \leq 8365$ ■ $8365 < C \leq 11520$
■ $11520 < D \leq 14676$ ■ $E > 14676$

Como descrito anteriormente, de acordo com o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edificações Residenciais, a avaliação do desempenho térmico da envoltória para inverno não se aplica à zona bioclimática 8.

4.2 Resultados das avaliações das envoltórias dos APPs para verão e inverno

A partir dos resultados de GHR e CA, foram avaliados o desempenho das envoltórias para verão e inverno, nos ambientes de permanência prolongada, nas três zonas bioclimáticas e nos dois sistemas construtivos.

4.2.1 Resultados das avaliações das envoltórias dos APPs para verão

O quadro 13 apresenta os resultados do desempenho térmico da envoltória para verão nos ambientes de permanência prolongada, nas Zonas Bioclimáticas 2, 3 e 8, na Situação 1: LSF e Situação 2: CONC, nas UHs dos pavimentos 1 e 2.

Quadro 13: Avaliação dos APPs para verão nos pavimentos 1 e 2

UH	Ambiente	ZB2		ZB3		ZB8	
		LSF	CONC	LSF	CONC	LSF	CONC
101	SALA 1	3	3	3	4	3	4
	QUARTO1	2	3	3	4	3	4
	QUARTO2	3	3	4	5	3	4
102	SALA 2	3	3	3	4	3	4
	QUARTO 3	2	3	3	4	3	3
	QUARTO 4	3	3	3	4	4	5
103	SALA 3	2	2	3	4	2	3
	QUARTO 5	3	3	4	5	3	4
	QUARTO 6	2	2	3	4	3	3
104	SALA 4	2	2	3	4	2	3
	QUARTO 7	3	3	4	4	4	5
	QUARTO 8	2	2	3	4	3	4
201	SALA 1	2	2	2	3	3	3
	QUARTO1	2	2	2	4	3	3
	QUARTO2	2	2	3	3	3	4
202	SALA 2	2	2	2	3	3	3
	QUARTO 3	2	2	2	3	3	4
	QUARTO 4	2	2	3	3	4	4
203	SALA 3	1	1	2	3	2	3
	QUARTO 5	2	2	3	4	3	4
	QUARTO 6	1	2	2	3	3	3
204	SALA 4	1	1	2	3	2	3
	QUARTO 7	2	2	3	4	4	4
	QUARTO 8	2	2	2	3	3	4

Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Legenda: ■ A=5,0 ■ B=4,0 ■ C=3,0 ■ D=2,0 ■ E=1,0

O quadro 14 apresenta os resultados do desempenho térmico da envoltória para verão nos ambientes de permanência prolongada, nas Zonas Bioclimáticas 2, 3 e 8, na Situação 1: LSF e Situação 2: CONC, nas UHs dos pavimentos 3 e 4.

Quadro 14: Avaliação dos APPs para verão nos pavimentos 3 e 4

UH	Ambiente	ZB2		ZB3		ZB8	
		LSF	CONC	LSF	CONC	LSF	CONC
301	SALA 1	2	2	2	3	3	3
	QUARTO1	2	2	2	4	3	3
	QUARTO2	2	2	3	3	3	4
302	SALA 2	2	2	2	3	3	3
	QUARTO 3	2	2	2	3	3	4
	QUARTO 4	2	2	3	3	4	4
303	SALA 3	1	1	2	3	2	3
	QUARTO 5	2	2	3	4	3	4
	QUARTO 6	1	2	2	3	3	3
304	SALA 4	1	1	2	3	2	3
	QUARTO 7	2	2	3	4	4	4
	QUARTO 8	2	2	2	3	3	4
401	SALA 1	1	1	1	2	2	3
	QUARTO1	1	1	1	3	2	2
	QUARTO2	1	1	2	2	2	3
402	SALA 2	1	1	1	2	2	3
	QUARTO 3	1	1	1	2	2	3
	QUARTO 4	1	1	1	2	2	4
403	SALA 3	1	1	1	2	1	2
	QUARTO 5	1	1	2	3	2	3
	QUARTO 6	1	1	1	2	2	2
404	SALA 4	1	1	1	2	1	2
	QUARTO 7	1	1	1	2	3	3
	QUARTO 8	1	1	1	2	2	3

Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Legenda: ■ A=5,0 ■ B=4,0 ■ C=3,0 ■ D=2,0 ■ E=1,0

4.2.2 Resultados das avaliações dos APPs para inverno

O quadro 15 apresenta os resultados do desempenho térmico da envoltória para inverno nos ambientes de permanência prolongada, nas Zonas Bioclimáticas 2, e 3, na Situação 1: LSF e Situação 2: CONC, nas UHs dos pavimentos 1 e 2.

Quadro 15: Avaliação dos APPs para inverno nos pavimentos 1 e 2

UH	Ambiente	ZB2		ZB3	
		Situação 1 LSF	Situação 2 CONC	Situação 1 LSF	Situação 2 CONC
101	SALA 1	1	1	4	3
	QUARTO 1	1	1	4	4
	QUARTO 2	1	1	4	4
102	SALA 2	1	1	4	3
	QUARTO 3	1	1	4	4
	QUARTO 4	1	1	4	4
103	SALA 3	1	1	4	4
	QUARTO 5	1	1	4	3
	QUARTO 6	1	1	4	4
104	SALA 4	1	1	4	4
	QUARTO 7	1	1	4	3
	QUARTO 8	1	1	4	4
201	SALA 1	1	1	4	4
	QUARTO 1	1	1	4	4
	QUARTO 2	1	1	4	4
202	SALA 2	1	1	4	4
	QUARTO 3	1	1	4	4
	QUARTO 4	1	1	4	4
203	SALA 3	1	1	5	4
	QUARTO 5	1	1	4	4
	QUARTO 6	1	1	4	4
204	SALA 4	1	1	5	4
	QUARTO 7	1	1	4	4
	QUARTO 8	1	1	4	4

Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Legenda: ■ A=5,0 ■ B=4,0 ■ C=3,0 ■ D=2,0 ■ E=1,0

O quadro 16 mostra os resultados do desempenho térmico da envoltória para inverno nos ambientes de permanência prolongada, nas Zonas Bioclimáticas 2, 3 e 8, na Situação 1: LSF e Situação 2: CONC, nas UHs dos pavimentos 3 e 4.

Quadro 16: Avaliação dos APPs para inverno nos pavimentos 3 e 4

UH	Ambiente	ZB2		ZB3	
		Situação 1 LSF	Situação 2 CONC	Situação 1 LSF	Situação 2 CONC
301	SALA 1	1	1	4	4
	QUARTO 1	1	1	4	4
	QUARTO 2	1	1	4	4
302	SALA 2	1	1	4	4
	QUARTO 3	1	1	4	4
	QUARTO 4	1	1	4	4
303	SALA 3	1	1	5	4
	QUARTO 5	1	1	4	4
	QUARTO 6	1	1	4	4
304	SALA 4	1	1	5	4
	QUARTO 7	1	1	4	4
	QUARTO 8	1	1	4	4
401	SALA 1	1	1	4	3
	QUARTO 1	1	1	4	4
	QUARTO 2	1	1	4	4
402	SALA 2	1	1	4	3
	QUARTO 3	1	1	4	4
	QUARTO 4	1	1	4	4
403	SALA 3	1	1	4	4
	QUARTO 5	1	1	4	4
	QUARTO 6	1	1	4	4
404	SALA 4	1	1	4	4
	QUARTO 7	1	1	4	4
	QUARTO 8	1	1	4	4

Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Legenda: ■ A=5,0 ■ B=4,0 ■ C=3,0 ■ D=2,0 ■ E=1,0

4.3 Resultados das avaliações das UHs

O quadro 17 apresenta os resultados das avaliações térmicas das UHs no verão, nas Zonas Bioclimáticas 2, 3 e 8, na Situação 1: LSF e Situação 2: CONC.

Quadro 17: Avaliação térmica das UHs para verão

Avaliação final da UHs para verão						
UH	ZB2		ZB3		ZB8	
	Situação 1: LSF	Situação 2: CONC	Situação 1: LSF	Situação 2: CONC	Situação 1: LSF	Situação 2: CONC
101	2,69	3	3	3	3	3
102	2,69	3	3	3	3	3
103	2,31	2,31	3	3	2,59	3
104	2,31	2,31	3	3	2,59	3
201	2	2	2,28	3	3	3
202	2	2	2,28	3	3	3
203	1,31	1,59	2,31	3	2,59	3
204	1,31	1,59	2,31	3	2,59	3
301	2	2	2,28	3	3	3
302	2	2	2,28	3	3	3
303	1,31	1,59	2,31	3	2,59	3
304	1,31	1,59	2,31	3	2,59	3
401	1	1	1,28	2,28	2	2,69
402	1	1	1,28	2	2,28	3
403	1	1	1,31	2,31	1,59	2,31
404	1	1	1,31	2	1,9	2,59

Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Legenda: ■ $A \geq 4,5$ ■ $3,5 \leq B < 4,5$ ■ $2,5 \leq C < 3,5$ ■ $1,5 \leq D < 2,5$ ■ $E < 1,5$

O quadro 18 mostra os resultados das avaliações térmicas das UHs no inverno, nas Zonas Bioclimáticas 2 e 3, na Situação 1: LSF e Situação 2: CONC.

Quadro 18: Avaliação térmica das UHs para inverno

Desempenho térmico de envoltória para inverno das UHs				
Avaliação da envoltória para inverno				
UH	ZB2		ZB3	
	Situação 1: LSF	Situação 2: CONC	Situação 1: LSF	Situação 2: CONC
101	1	1	3	3
102	1	1	3	3
103	1	1	3	3
104	1	1	3	3
201	1	1	3	3
202	1	1	3	3
203	1	1	3	3
204	1	1	3	3
301	1	1	3	3
302	1	1	3	3
303	1	1	3	3
304	1	1	3	3
401	1	1	3	3
402	1	1	3	3
403	1	1	3	3
404	1	1	3	3
404	1	1	3	3

Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Legenda: ■ $A \geq 4,5$ ■ $3,5 \leq B < 4,5$ ■ $2,5 \leq C < 3,5$ ■ $1,5 \leq D < 2,5$ ■ $E < 1,5$

O quadro 19 apresenta os resultados das avaliações finais das UHs nas Zonas Bioclimáticas 2, 3 e 8, na Situação 1: LSF e Situação 2: CONC.

Quadro 19: Avaliação final das UHs

Avaliação final das UHs						
UH	ZB2		ZB3		ZB8	
	LSF	SCONC	LSF	CONC	LSF	CONC
101	1,88	1,97	2,7	2,7	3,3	3,3
102	1,88	1,97	2,7	2,7	3,3	3,3
103	1,77	1,77	2,7	2,7	2,91	3,3
104	1,77	1,77	2,7	2,7	2,91	3,3
201	1,69	1,69	2,4	2,7	3,3	3,3
202	1,69	1,69	2,4	2,7	3,3	3,3
203	1,49	1,57	2,41	2,7	2,91	3,3
204	1,49	1,57	2,41	2,7	2,91	3,3
301	1,69	1,69	2,4	2,7	3,3	3,3
302	1,69	1,69	2,4	2,7	3,3	3,3
303	1,49	1,57	2,41	2,7	2,91	3,3
304	1,49	1,57	2,41	2,7	2,91	3,3
401	1,4	1,4	1,98	2,4	2,35	3,01
402	1,4	1,4	1,98	2,4	2,62	3,3
403	1,4	1,4	2	2,41	1,96	2,64
404	1,4	1,4	2	2,28	2,25	2,91

Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Legenda: ■ $A \geq 4,5$ ■ $3,5 \leq B < 4,5$ ■ $2,5 \leq C < 3,5$ ■ $1,5 \leq D < 2,5$ ■ $E < 1,5$

4.4 Resultados das avaliações finais das edificações multifamiliares

O quadro 20 apresenta os resultados das avaliações finais das edificações multifamiliares nas Zonas Bioclimáticas 2, 3 e 8, na Situação 1: LSF e Situação 2: CONC.

Quadro 20: Avaliação final das edificações multifamiliares

Avaliação da edificação multifamiliar					
ZB2		ZB3		ZB8	
Situação 1: LSF	Situação 2: CONC	Situação 1: LSF	Situação 2: CONC	Situação 1: LSF	Situação 2: CONC
1,6	1,63	2,38	2,62	2,9	3,22

Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Legenda: ■ $A \geq 4,5$ ■ $3,5 \leq B < 4,5$ ■ $2,5 \leq C < 3,5$ ■ $1,5 \leq D < 2,5$ ■ $E < 1,5$

5 ANÁLISE DE RESULTADOS

A partir dos resultados encontrados durante as avaliações de eficiência energética, foram desenvolvidas uma série de análises, tendo como referência os padrões de classificação do RTQ-R, que estipulam níveis de eficiência, que vão de A a E, sendo A a melhor classificação possível. Além do estipulado pelo regulamento, também foram levados em consideração conhecimentos específicos relacionados as temáticas de eficiência energética e conforto térmico.

De acordo com as avaliações realizadas para a envoltória de verão, os melhores resultados foram encontrados no sistema construtivo de concreto (Situação 2). Os quartos com numeração ímpar apresentaram resultados mais satisfatórios que os de numeração par, tendo sido as salas responsáveis pelo maior número de resultados ruins. Percebe-se também uma tendência de resultados mais satisfatórios nas fachadas Sul, Leste, Oeste e Norte, nesta ordem, sendo os piores resultados encontrados na fachada Norte.

Analisando a Transmitância térmica (U), a Capacidade térmica (CT) e a absorvância (α) das paredes externas dos dois sistemas construtivos estudados, observa-se que o sistema em Light Steel Framing apresenta valores de U e CT baixos, enquanto o sistema de paredes de concreto moldadas in loco apresenta valores de U e CT considerados altos. Os valores de α são os mesmos para os dois sistemas, se apresentando dentro dos limites estipulados. De acordo com o RTQ-R, o ideal para o bom desempenho das envoltórias são valores de U baixos e CT altos. Sendo assim, a Situação 1:LSF apresentou valores de U dentro dos limites estipulados, porém os valores de CT estão abaixo do estipulado nas ZB2 e ZB3, apresentando melhores resultados na ZB8. Já a Situação 2: CONC apresentou valores de CT satisfatórios e de U acima dos níveis ideais (QUADRO 21).

Quadro 21: Pré-requisitos do sistema construtivo

Análise dos coeficientes térmicos das envoltórias						
Paredes externas						
ZB 2	Situação 1: LSF			Situação 2: CONC		
	U (W/m ² K)	CT (kJ/m ² K)	α	U (W/m ² K)	CT (kJ/m ² K)	α
	0,53	32	0,4	4,4	240	0,4
ZB 3	Situação 1: LSF			Situação 2: CONC		
	U (W/m ² K)	CT (kJ/m ² K)	α	U (W/m ² K)	CT (kJ/m ² K)	α
	0,53	32	0,4	4,4	240	0,4
ZB 8	Situação 1: LSF			Situação 2: CONC		
	U (W/m ² K)	CT (kJ/m ² K)	α	U (W/m ² K)	CT (kJ/m ² K)	α
	0,53	32	0,4	4,4	240	0,4

Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Legenda: ■ atende ■ não atende

Analisando a Transmitância térmica (U), a Capacidade térmica (CT) e a absorvância (α) das coberturas, cujos valores são idênticos nos dois sistemas construtivos estudados, têm-se valores de CT e α satisfatórios em todas as ZBs e valores de U atendendo aos limites máximos estipulados na ZB2, porém superiores aos limites estipulados para as ZBs 3 e 8 (QUADRO 22).

Quadro 22: Pré-requisitos do sistema construtivo

Análise dos coeficientes térmicos das envoltórias						
Coberturas						
ZB 2	Situação 1: LSF			Situação 2: CONC		
	U (W/m ² ·K)	CT (kJ/m ² ·K)	α	U (W/m ² ·K)	CT (kJ/m ² ·K)	α
	2,05	238	0,75	2,05	238	0,75
ZB 3	Situação 1: LSF			Situação 2: CONC		
	U (W/m ² ·K)	CT (kJ/m ² ·K)	α	U (W/m ² ·K)	CT (kJ/m ² ·K)	α
	2,05	238	0,75	2,05	238	0,75
ZB 8	Situação 1: LSF			Situação 2: CONC		
	U (W/m ² ·K)	CT (kJ/m ² ·K)	α	U (W/m ² ·K)	CT (kJ/m ² ·K)	α
	2,05	238	0,75	2,05	238	0,75

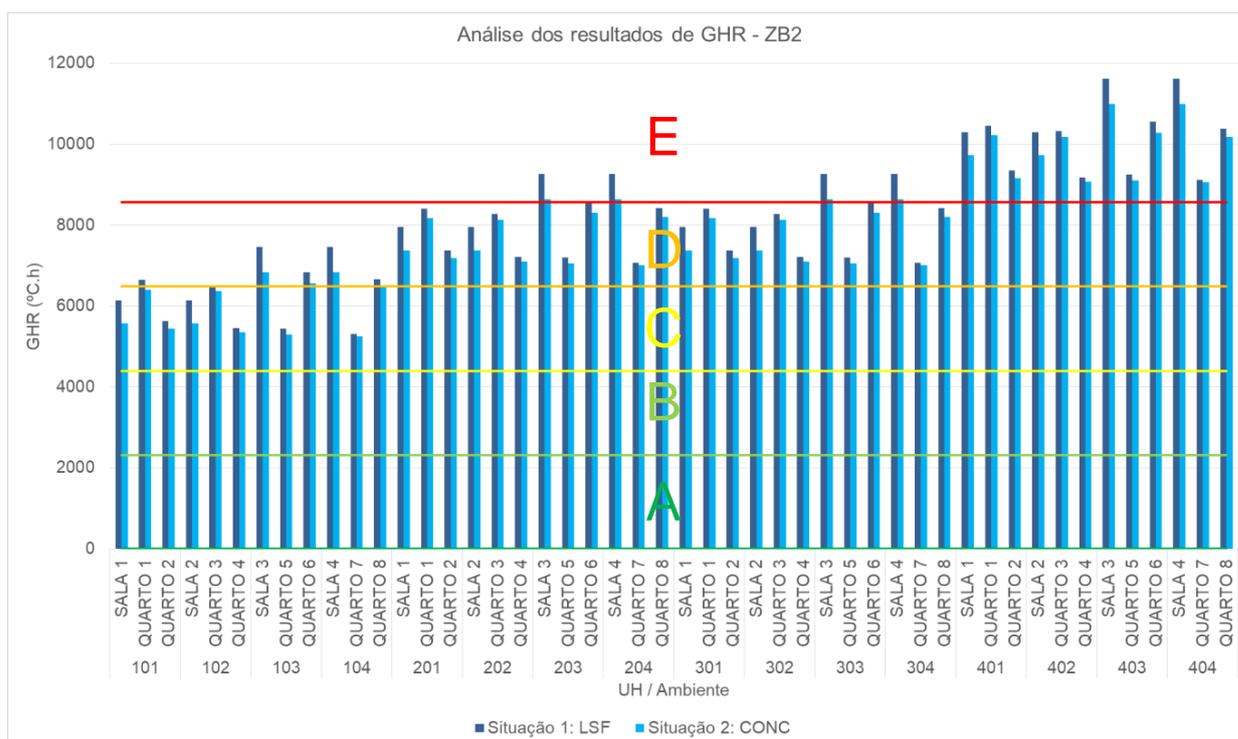
Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Legenda: ■ atende ■ não atende

5.1 Análise dos indicadores de Graus-hora para Resfriamento (GHR)

Analisando os resultados encontrados nos cálculos dos indicadores de Graus-hora para resfriamento na ZB2 (GRÁFICO 5), observa-se que as avaliações foram pouco satisfatórias em todos os APPs, com avaliações inferiores ao nível C de eficiência.

Gráfico 5: Análise dos resultados de GHR na ZB2



Fonte: Arquivo pessoal (2018)

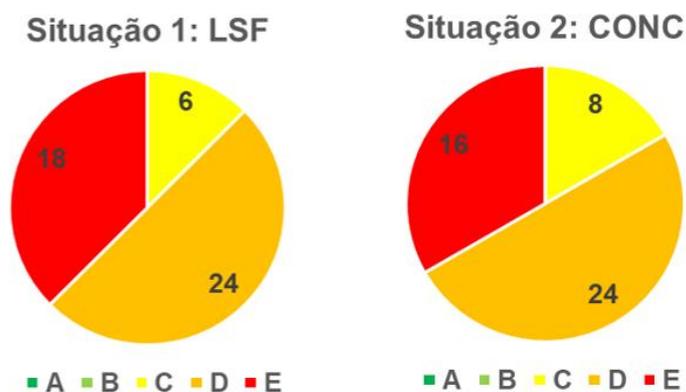
Os resultados encontrados na Situação 2: CONC foram inferiores aos encontrados na Situação 1: LSF, em 100% dos casos, embora em proporções pouco significativas: A média global dos resultados de GHR na Situação 1: LSF foi de 8166°C.h, enquanto na Situação 2: CONC foi de 7852°C.h (4% menor).

É possível observar ainda que as avaliações apresentaram piores resultados nas UHs dos pavimentos superiores, atingindo os piores resultados no quarto pavimento, que está em contato com a cobertura.

O gráfico 6 apresenta o número de avaliações encontradas em cada um dos níveis de eficiência. É possível observar que os resultados encontrados nas duas

Situações foram muito semelhantes, com resultados levemente superiores na Situação 2: CONC.

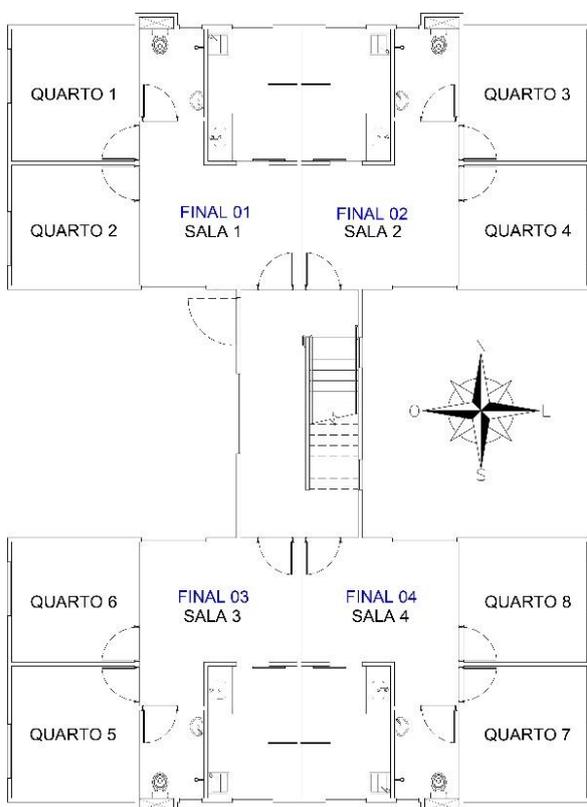
Gráfico 6: Níveis de GHR na ZB2



Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Observando a planta do edifício e a orientação solar dos APP (FIGURA 21), é possível perceber que os resultados encontrados em cada ambiente podem estar diretamente relacionados aos índices de radiação solar incidentes em cada fachada.

Figura 21: Orientação solar dos APP



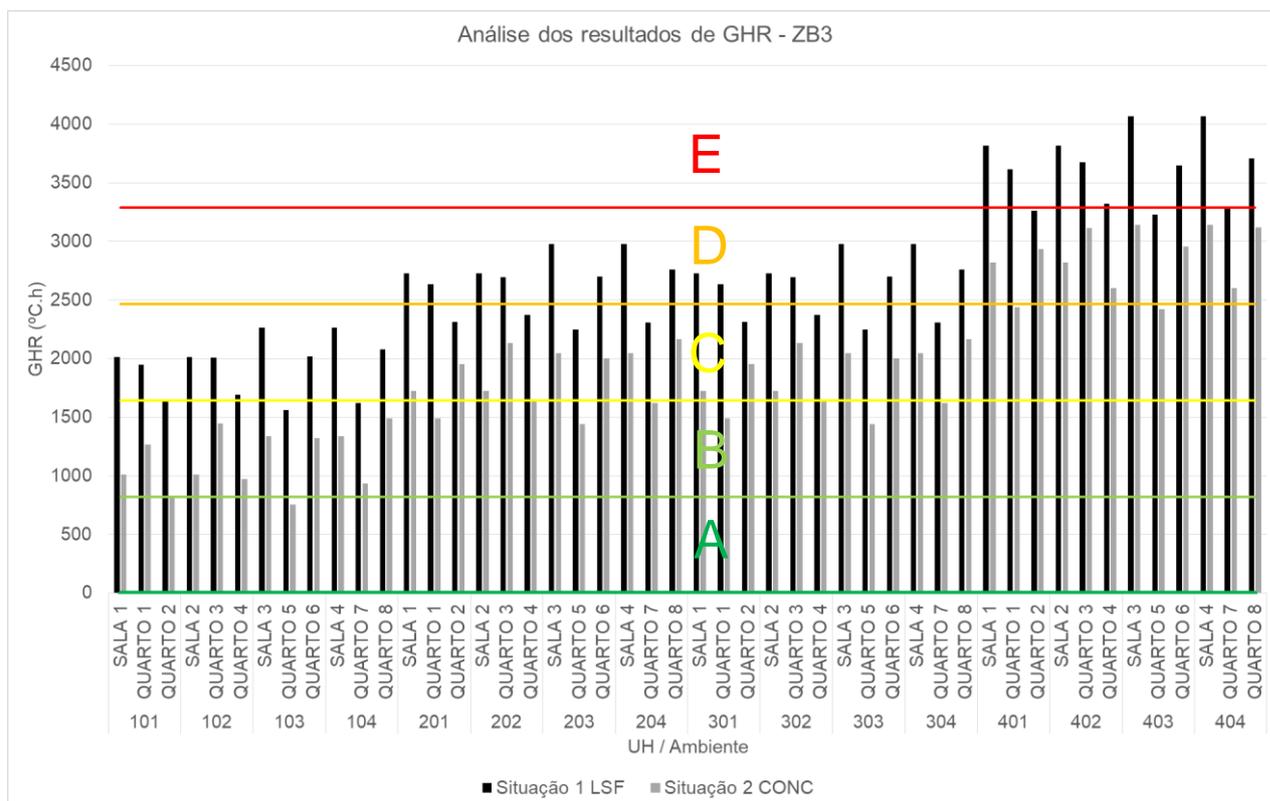
Fonte: Caixa (2018) (Adaptado)

Analisando as tendências contidas nas avaliações, observa-se que as salas 1 e 2 apresentaram avaliações superiores quando comparadas as salas 3 e 4. Isto pode ser explicado pelo fato das salas 3 e 4 receberem mais insolação durante o dia, por terem suas paredes externas e aberturas voltadas para a fachada Norte, enquanto nas salas 1 e 2 as mesmas são voltadas para Sul. No entanto, vale destacar que o nível de sombreamento proporcionado pela própria edificação, não levado em consideração durante os testes, poderia influenciar nas avaliações dos ambientes.

Foi possível avaliar ainda que, dentre os quartos, os melhores resultados foram encontrados, respectivamente, nos quartos 7, 5, 4, 2, 3, 1, 8 e 6. Mais uma vez, os resultados foram mais satisfatórios nos ambientes cuja orientação solar estão voltadas para Sul, quando comparados aos voltados para Norte. Nos casos analisados, os resultados foram superiores nos ambientes voltados para a fachada Leste, quando comparados aos voltados para a fachada Oeste.

Analisando os resultados encontrados nos cálculos dos indicadores de Graus-hora para resfriamento na ZB3 (GRÁFICO 7), observa-se que foram encontrados resultados superiores ao nível C de eficiência em alguns ambientes, em sua maioria localizados nos primeiros pavimentos.

Gráfico 7: Análise dos resultados de GHR na ZB3

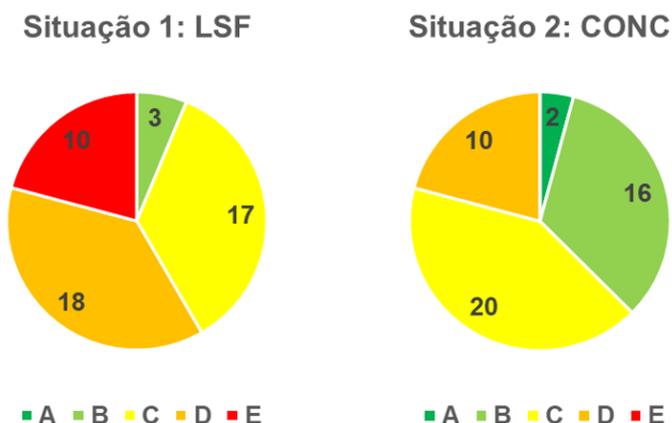


Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Os resultados encontrados na Situação 1: LSF foram superiores aos encontrados na Situação 2: CONC em 100% dos casos, apresentando diferenças consideráveis: A média global dos resultados de GHR na Situação 1: LSF foi de 2697°C.h, enquanto na Situação 2: CONC foi de 1913°C.h (29% menor).

Como pode-se constatar no gráfico 8, os resultados dos níveis de eficiência foram significativamente superiores na Situação 2: CONC, com 38 avaliações iguais ou superiores ao nível C, num total de 48. A Situação 1: LSF, por sua vez, apresentou resultados iguais ou superiores ao nível C em apenas 20 das 48 avaliações.

Gráfico 8: Níveis de GHR na ZB3



Fonte: Arquivo pessoal (2018)

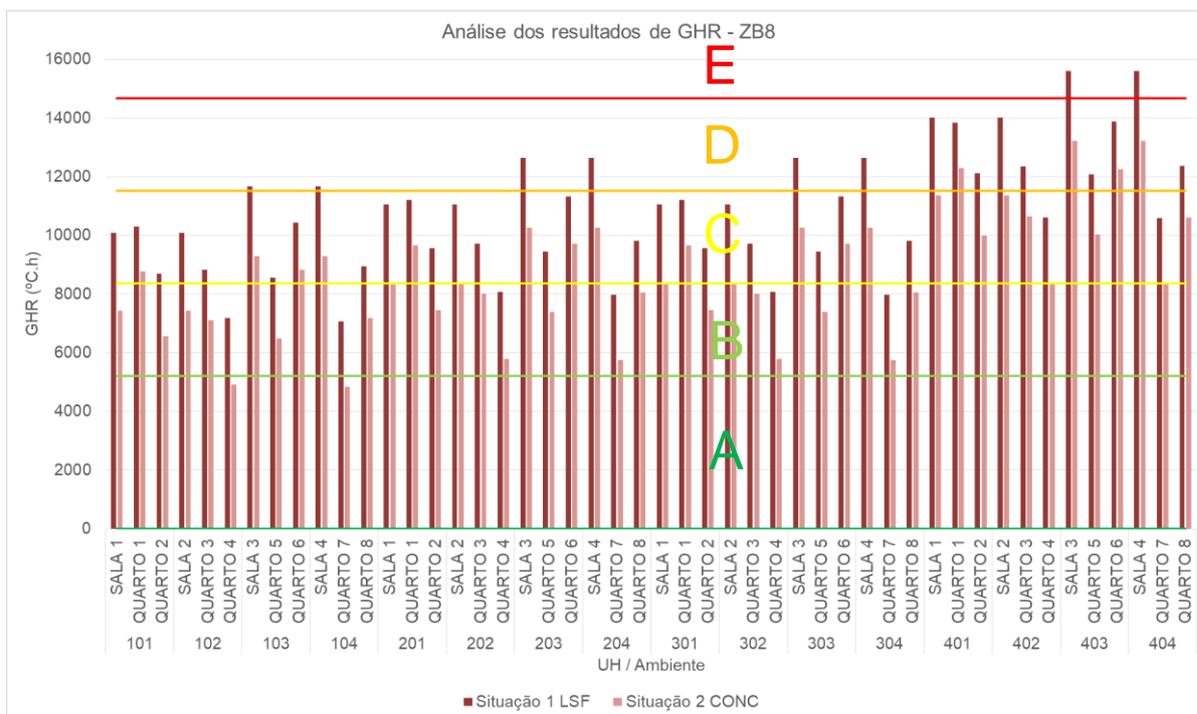
As avaliações apresentaram piores resultados nas UHs dos pavimentos superiores, atingindo os piores níveis de avaliação nas UHs do quarto pavimento, que está em contato com a cobertura.

Analisando as tendências contidas nas avaliações, observa-se que as salas 1 e 2, que têm as paredes externas voltadas para Norte, apresentaram avaliações superiores em comparação com as salas 3 e 4, que possuem paredes externas voltadas para a fachada Sul.

Foi possível avaliar ainda que, dentre os quartos, os melhores resultados foram encontrados, respectivamente, nos quartos 5, 7, 2, 4, 1, 3, 6 e 8. Neste caso, é possível observar que os melhores resultados foram encontrados nos ambientes cujas paredes externas estão voltadas para as fachadas Sul e Oeste.

Analisando os resultados encontrados nos cálculos dos indicadores de Graus-hora para resfriamento na ZB8 (GRÁFICO 9), observa-se que os resultados encontrados na Situação 1: LSF foram superiores aos encontrados na Situação 2: CONC. em 100% dos casos, apresentando diferenças consideráveis: A média global dos resultados de GHR na Situação 1: LSF foi de aproximadamente 10823°C.h, enquanto na Situação 2: CONC foi de 8713°C.h (20% menor).

Gráfico 9: Análise dos resultados de GHR na ZB8



Fonte: Arquivo pessoal (2018)

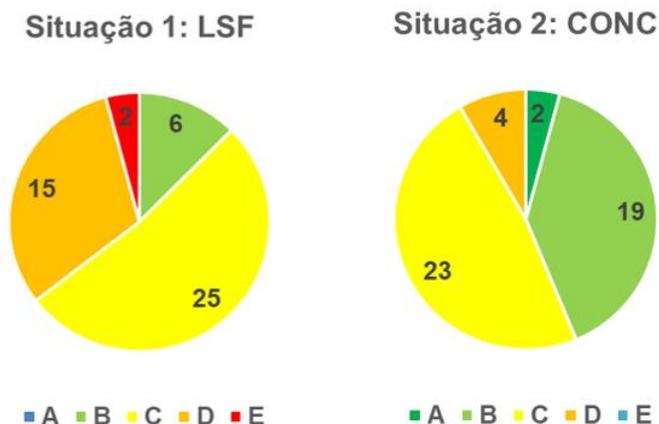
As piores avaliações foram encontradas nos pavimentos superiores, atingindo os piores níveis no quarto pavimento.

Observa-se que as salas 1 e 2, cujas paredes externas estão voltadas para a fachada Norte, apresentaram avaliações superiores em comparação com as salas 3 e 4, que possuem paredes externas voltadas para a fachada Sul.

Já dentre os quartos, os melhores resultados foram encontrados, respectivamente, nos quartos 7, 4, 5, 2, 3, 8, 1 e 6. Nesta zona bioclimática, é possível observar que os melhores resultados foram encontrados nos ambientes cujas paredes externas estão voltadas para as fachadas Sul e Leste.

Os resultados dos níveis de eficiência foram significativamente superiores na Situação 2: CONC, com apenas 4 avaliações inferiores ao nível C, num total de 48. A Situação 1: LSF, por sua vez, apresentou resultados inferiores ao nível C em 17 das 48 avaliações, como representado na FIGURA 28.

Gráfico 10: Níveis de GHR na ZB8

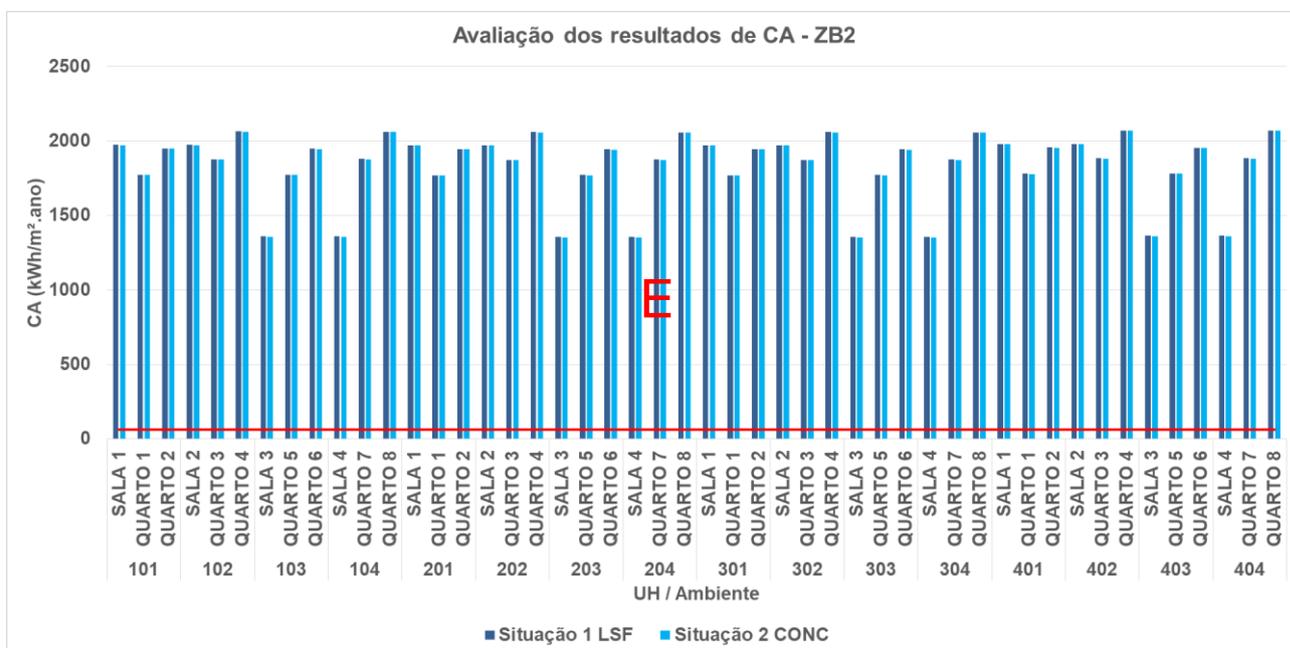


Fonte: Arquivo pessoal (2018)

5.2 Análise dos indicadores de Consumo Relativo para Aquecimento (CA)

Os resultados encontrados na ZB2 (GRÁFICO 11), relativos aos indicadores de CA apresentaram valores extremamente insatisfatórios.

Gráfico 11: Análise dos resultados de CA na ZB2



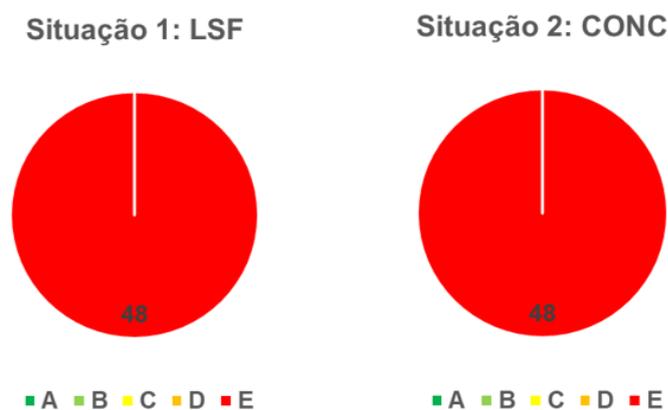
Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Todos os resultados encontrados superaram a casa dos quatro dígitos, enquanto o nível mínimo de avaliação (E) é estipulado para valores acima de 62,363 kWh/m².ano, nesta zona bioclimática. Os resultados encontrados foram semelhantes

nos dois sistemas construtivos A média global dos resultados de CA na Situação 1: LSF foi de aproximadamente 1832 kWh/m².ano, enquanto na Situação 2: CONC foi de 1830 kWh/m².ano.

Como pode-se constatar no gráfico 12, os resultados dos níveis de eficiência tiveram 100% das avaliações no nível E, tanto na Situação 1: LSF, quanto na Situação 2: CONC.

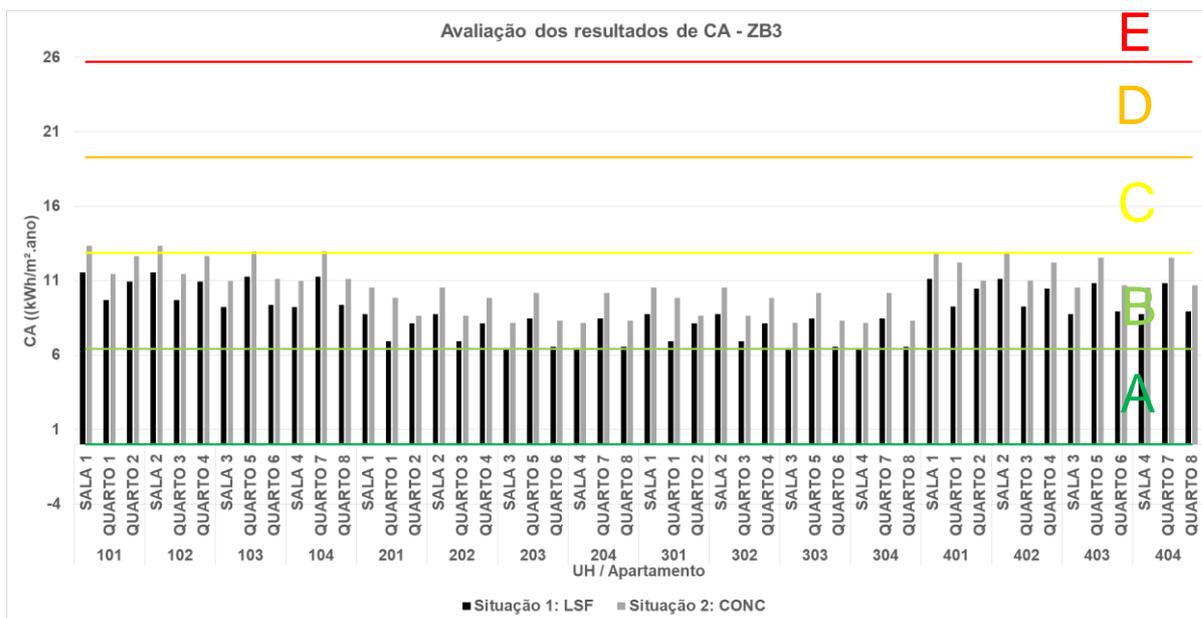
Gráfico 12: Níveis de CA na ZB2



Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Já na ZB3 as avaliações das envoltórias no inverno (GRÁFICO 13) apresentaram resultados satisfatórios, alcançando o nível mínimo C em todas as UHs analisadas, com nível B na maior parte dos casos.

Gráfico 13: Análise dos resultados de CA na ZB3

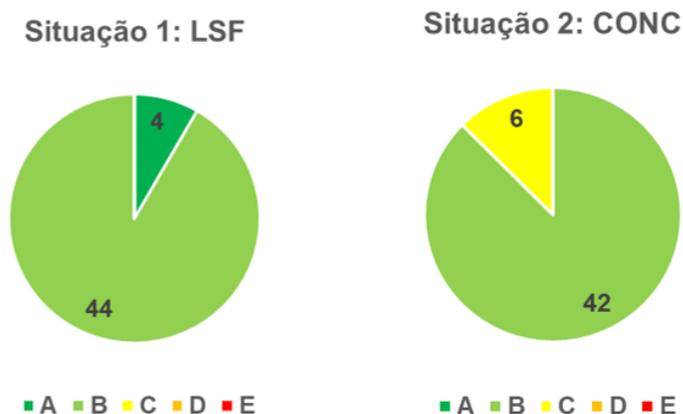


Fonte: Arquivo pessoal (2018)

A Situação 1: LSF apresentou melhores resultados que a Situação 2: CONC, em proporções consideráveis. A média global dos resultados de CA na Situação 1: LSF foi de aproximadamente 8,83 kWh/m².ano, enquanto na Situação 2: CONC foi de 10,58 kWh/m².ano (20% maior).

Como pode-se constatar no gráfico 14, os resultados dos níveis de eficiência foram superiores na Situação 1: LSF, que teve 100% das avaliações acima do nível C. A Situação 2: CONC, por sua vez, também apresentou bons resultados, porém inferiores, se comparados aos da primeira situação.

Gráfico 14: Níveis de CA na ZB3

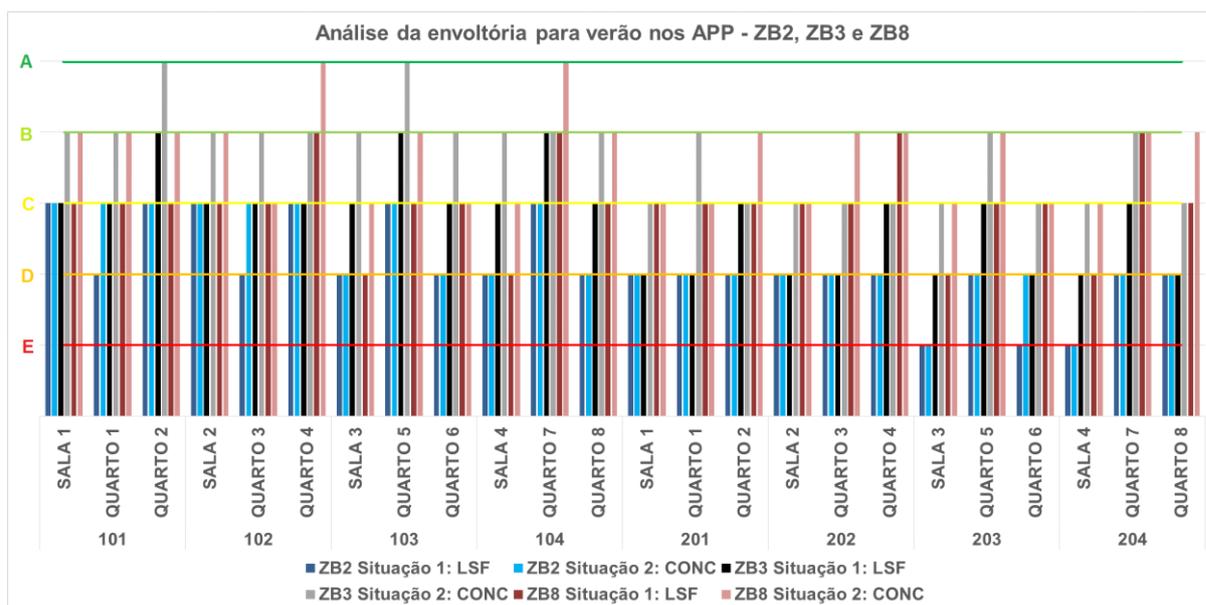


Fonte: Arquivo pessoal (2018)

5.3 Análise da avaliação da envoltória para verão dos APP

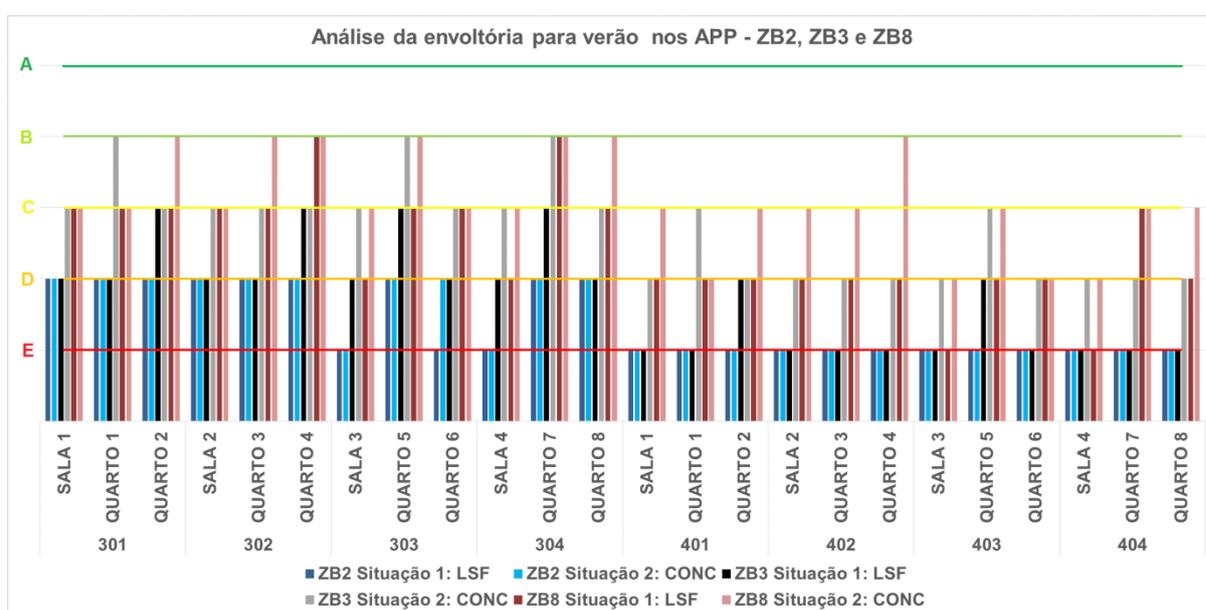
Analisando os resultados das avaliações das envoltórias no verão (GRÁFICOS 15 e 16), pode-se constatar resultados mais satisfatórios, respectivamente, na ZB8, ZB3 e ZB2.

Gráfico 15: Análise da avaliação da envoltória para verão nos APP



Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Gráfico 16: Análise da avaliação da envoltória para verão nos APP



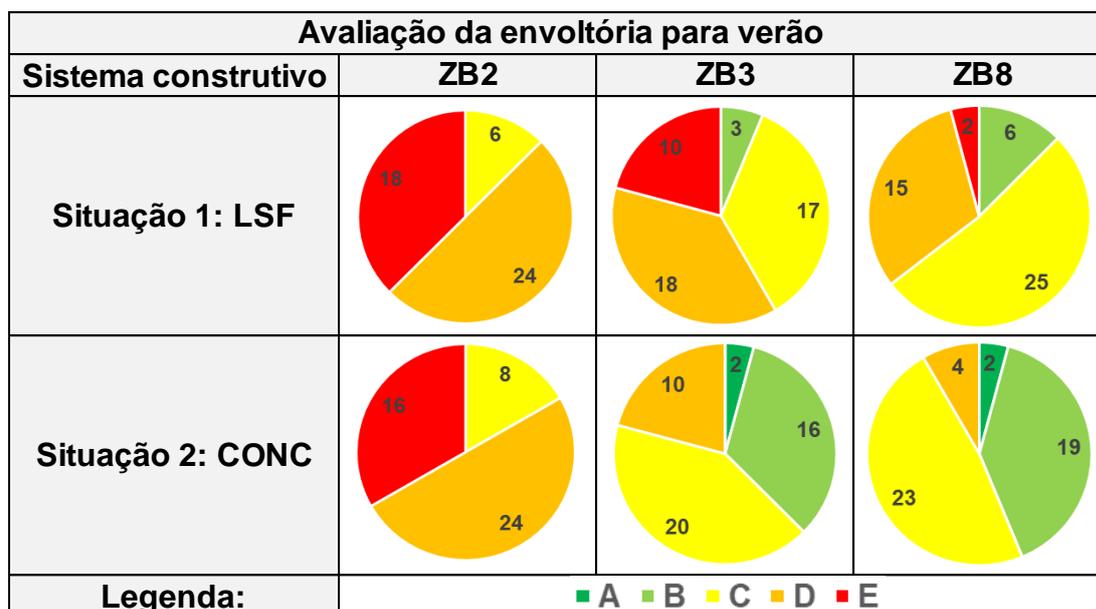
Fonte: Arquivo pessoal (2018)

É possível constatar ainda uma tendência geral a avaliações mais satisfatórias nos quartos, em comparação com as salas, salvo em alguns casos. De forma geral, as UHs de final 03 e 04 apresentaram melhores resultados que as de final 01 e 02, salvo na ZB2, na qual as avaliações foram muito semelhantes. Na ZB3, por sua vez, os melhores resultados foram encontrados nas UHs de final 02 e 04.

Também é possível observar que dentre os primeiros pavimentos, o primeiro obteve avaliações mais satisfatórias que o segundo, que por sua vez apresentou avaliações semelhantes as encontradas no terceiro pavimento e melhores que as do quarto pavimento.

Como pode-se observar no quadro 23, as melhores avaliações da envoltória no verão pertencem à Situação 2: CONC, apresentando diferenças sutis na ZB2 e consideráveis nas ZB3 e ZB8. O quadro ainda confirma a tendência de melhores resultados, respectivamente, nas ZB8, ZB3 e ZB2, como constatado anteriormente.

Quadro 23: Resultados encontrados para a envoltória de verão em todas as ZBs

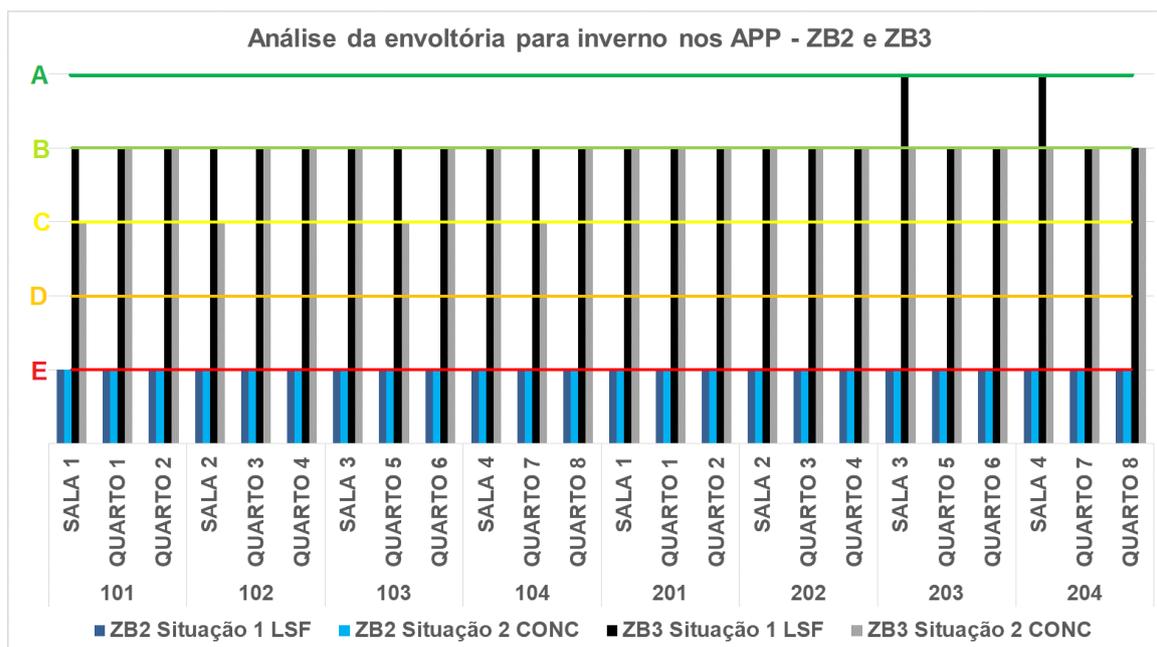


Fonte: Arquivo pessoal (2018)

5.4 Análise da avaliação da envoltória para inverno dos APP

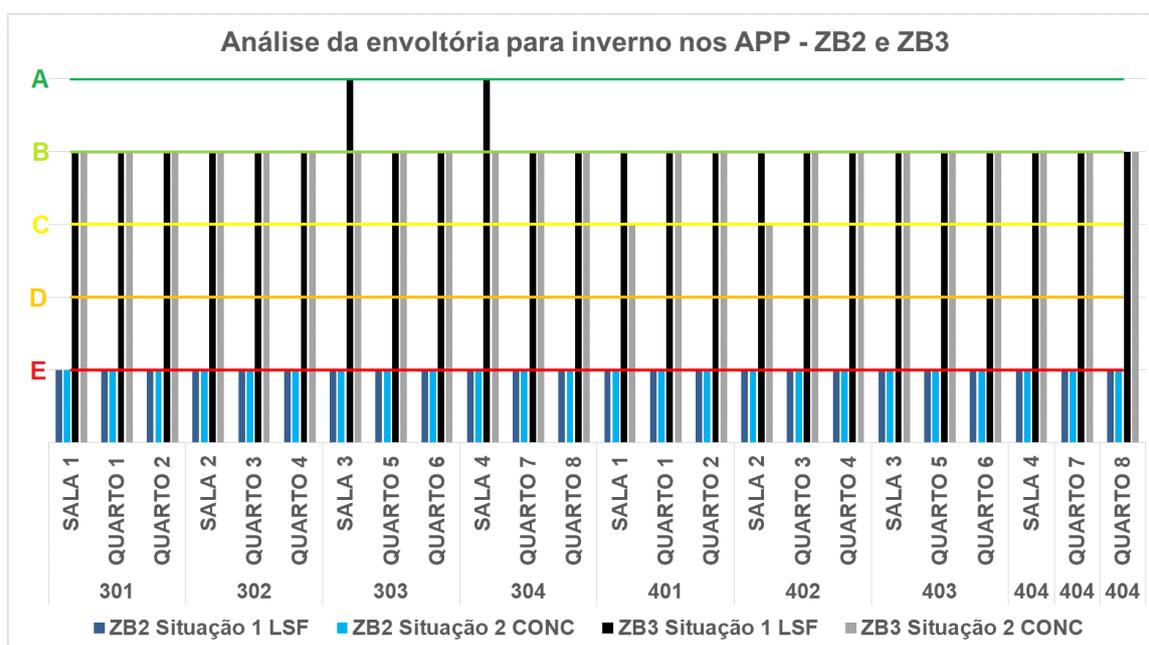
Analisando os gráficos 17 e 18, percebe-se que os resultados foram muito distintos em cada uma das zonas bioclimáticas analisadas.

Gráfico 17: Análise da avaliação da envoltória para inverno nos APP



Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Gráfico 18: Análise da avaliação da envoltória para inverno nos APP



Fonte: Arquivo pessoal (2018)

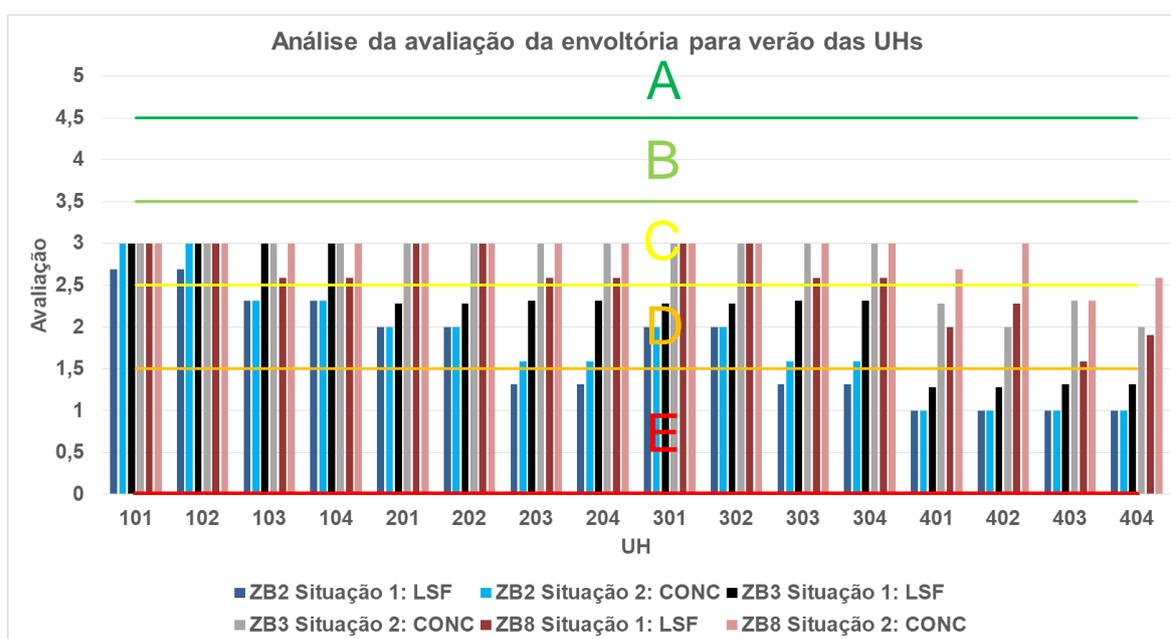
Nos dois gráficos, referentes as avaliações da envoltória realizadas para o inverno em cada um dos ambientes analisados, destaca-se que 100% dos resultados na ZB2 obtiveram o nível de eficiência E, nos dois sistemas construtivos analisados. Por sua vez, na ZB3, os resultados se mostraram bem mais satisfatórios, com a maioria das avaliações no nível B de eficiência. Esta diferença entre os resultados das duas zonas pode ser explicado pelo fato da ZB2 englobar uma região cujo inverno é mais rigoroso, exigindo portanto uma envoltória que tenha um comportamento melhor quando submetida a climas mais frios.

Vale destacar ainda que a Situação 1: LSF obteve melhores resultados que a Situação 2: CONC na ZB3, embora em pequenas proporções. Os melhores resultados foram encontrados nas salas das UHs 203, 204, 303 e 304, atingindo o nível A de eficiência. Estes ambientes têm suas fachadas externas voltadas para Norte e não estão em contato com o solo nem com a cobertura, o que acaba minimizando as trocas de calor com o ambiente externo.

5.5 Análise da avaliação da envoltória para verão das UHs

O gráfico 19 apresenta uma análise das avaliações da envoltória para verão, realizadas em cada UH, individualmente.

Gráfico 19: Análise da envoltória para verão nas UHs



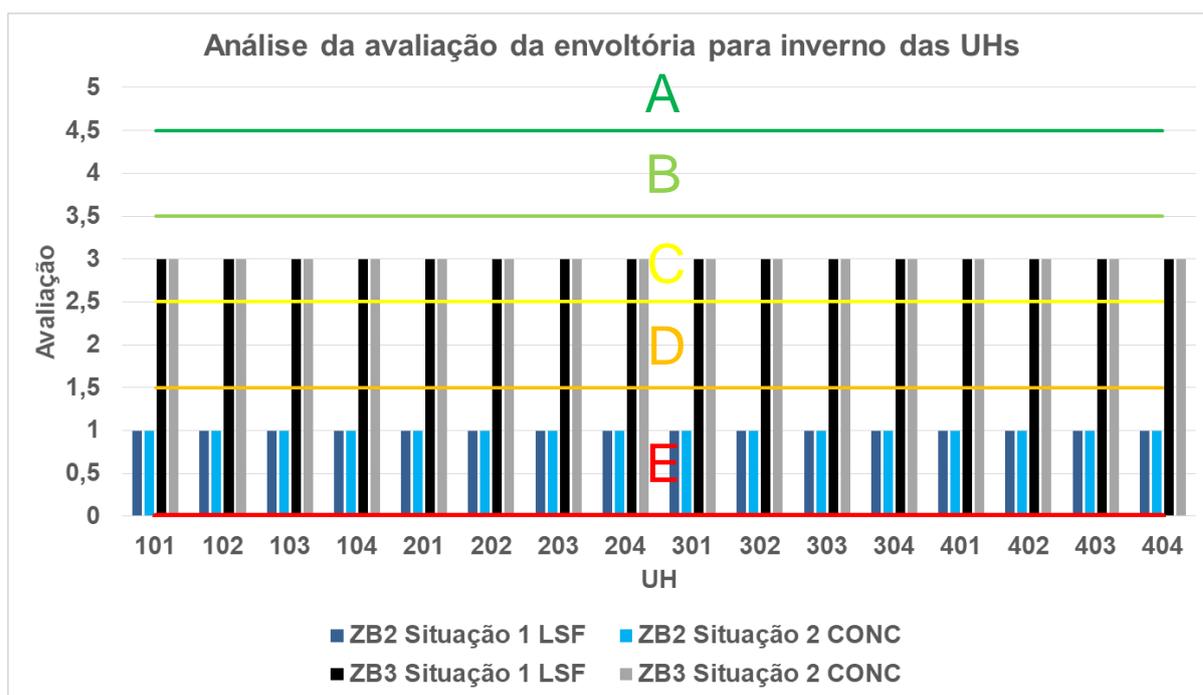
Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Analisando o gráfico acima pode-se constatar que os melhores resultados foram obtidos, respectivamente, nas ZBs 8, 3 e 2. Ainda é possível destacar uma tendência constante de melhores resultados na Situação 2: CONC, em todas as zonas bioclimáticas analisadas. As UHs do quarto pavimento obtiveram os piores resultados, com os melhores sendo encontrados no primeiro pavimento e os pavimentos 2 e 3 tendo obtido resultados semelhantes.

5.6 Análise da avaliação da envoltória para inverno das UHs

O gráfico 20 apresenta uma análise das avaliações da envoltória para inverno, realizadas em cada UH, individualmente, nas ZBs 2 e 3.

Gráfico 20: Análise da envoltória para inverno nas UHs



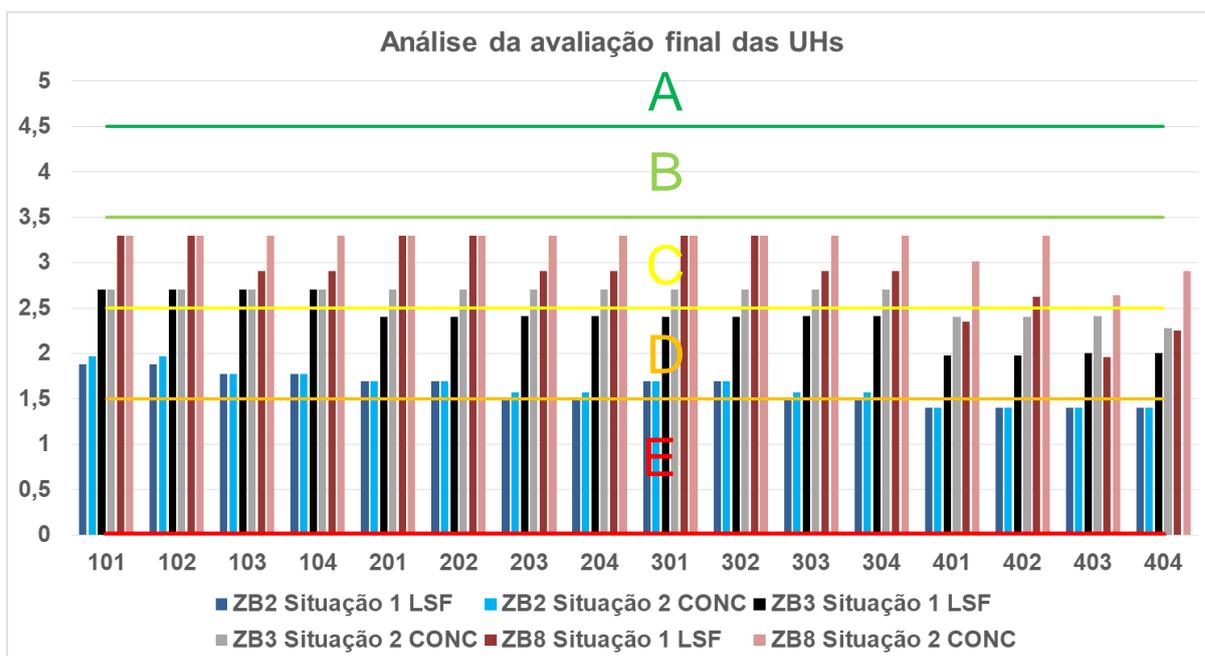
Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Analisando o gráfico acima pode-se constatar que os melhores resultados foram obtidos na ZB 3, com avaliações de eficiência energética no nível C em 100% dos casos; A ZB2, por sua vez, obteve nível de eficiência E em todas as UHs analisadas. Ainda é possível destacar que os resultados encontrados para a envoltória de inverno foram semelhantes nos dois sistemas construtivos analisados, com as mesmas avaliações para a Situação 1: LSF e Situação 2: CONC.

5.7 Análise da avaliação final da envoltória das UHs

O gráfico 21 apresenta uma análise das avaliações finais da envoltória, realizadas em cada UH, nas ZBs 2,3 e 8.

Gráfico 21: Análise da avaliação final das UHs



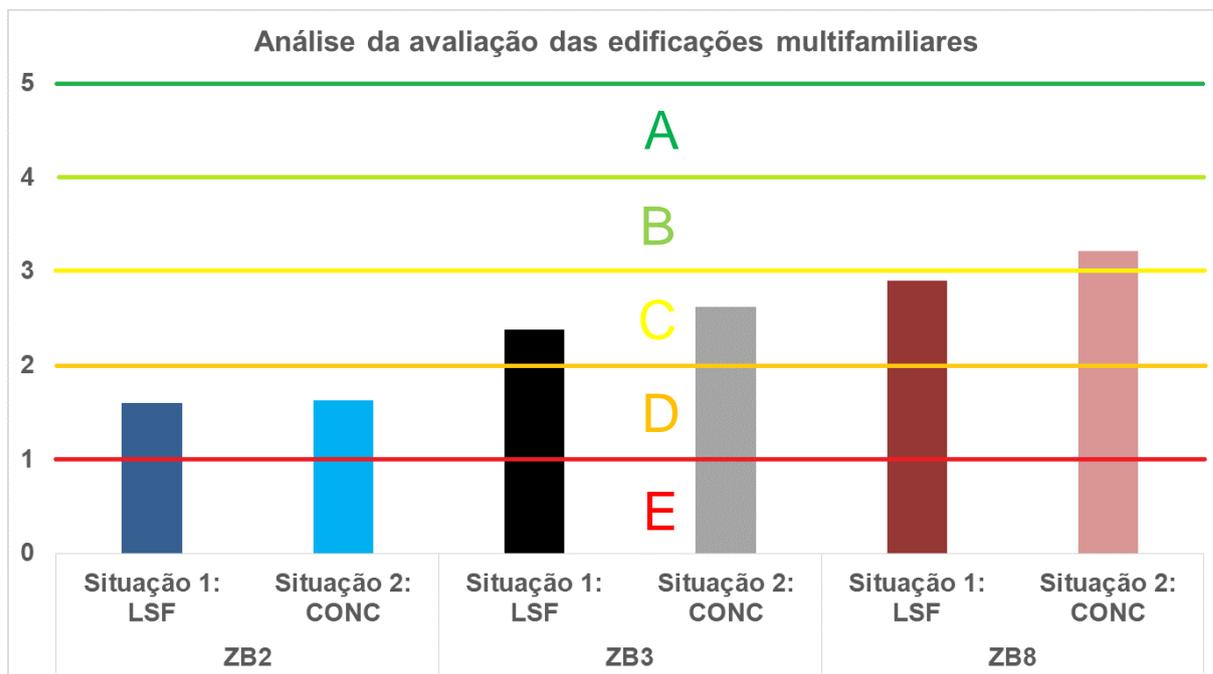
Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Analisando o gráfico acima pode-se constatar que os melhores resultados foram obtidos, respectivamente, nas ZBs 8, 3 e 2. Os resultados levam em consideração as análises realizadas para as envoltórias de verão e inverno, podendo-se considerar que as avaliações apresentadas acima se enquadram a todas as épocas do ano, de uma forma geral. O gráfico confirma a tendência amplamente destacada anteriormente, com a obtenção de níveis de eficiência energética mais elevados na Situação 2: CONC.

5.8 Análise da avaliação das edificações multifamiliares

O gráfico 22 apresenta uma análise das avaliações finais da envoltória das edificações multifamiliares nas ZBs 2,3 e 8.

Gráfico 22: Análise da avaliação das edificações multifamiliares



Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Como pode-se observar no gráfico, os melhores resultados foram encontrados, respectivamente, nas ZBs 8, 3 e 2, com níveis mais satisfatórios na Situação 2: CONC, em 100% dos casos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das análises realizadas e considerando os parâmetros adotados, é possível concluir que, dentre os sistemas construtivos analisados no trabalho, a edificação de concreto armado moldado *in loco* (Situação 2: CONC) obteve melhores resultados que a edificação em Light Steel Framing (Situação 1: LSF). Essa tendência se manteve constante em todas as zonas bioclimáticas analisadas no decorrer do trabalho: ZB2 – Passo Fundo, ZB3 – Belo Horizonte e ZB8 – Manaus. Vale destacar no entanto que os dois sistemas construtivos obtiveram avaliações menos satisfatórias na ZB2, obtendo o nível mais baixo (E), estipulado pelo Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), na época de inverno. Esta constatação pode configurar um indício de que as habitações de interesse social construídas no Brasil, quando adotado um dos sistemas construtivos e os critérios analisados, são mais adaptadas a climas quentes que a baixas temperaturas.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

Buscando-se a ampliação dos parâmetros e variantes, sugerem-se como trabalhos futuros a abordagem de outros sistemas construtivos, com soluções teoricamente mais eficientes. Pode-se também fazer uma comparação dos resultados alterando-se o norte geográfico e uma abordagem ainda mais completa, implantando o projeto em todas as zonas bioclimáticas brasileiras.

Ampliando ainda mais as variantes, os resultados encontrados neste trabalho por meio do método do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) poderiam englobar também outros tipos de avaliação, com o LEED, o AQUA e o programa CASA AZUL, bem como os parâmetros indicados pela NBR 15.220:2005 – Desempenho térmico de edificações – e pela NBR 15.575:2013 – Edificações habitacionais: desempenho.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR15220-1 - Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades.** Rio de Janeiro, ABNT, 2005.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR15220-2 - Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.** Rio de Janeiro, ABNT, 2005.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR15220-3 - Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro, ABNT, 2005.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR15253 – Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações – Requisitos gerais.** Rio de Janeiro, ABNT, 2014.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR15575- Edifícios habitacionais: Desempenho.** Rio de Janeiro, ABNT, 2013.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR16055- Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações: R.** Rio de Janeiro, ABNT, 2012.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE; AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE 55-2004:** Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2004.

BARROS, A. D. M **A adoção de sistemas de avaliação ambiental de edifícios (LEED e processo AQUA) no Brasil: motivações, benefícios e dificuldades.** Dissertação de mestrado apresentada a Universidade de São Carlos, São Carlos. 2012. 185f.

BATISTA, E. M. **Journal of Constructional Steel Research.** Development of Brazilian steel construction. Agosto, 2005.

CAMPOS, P. F. **Light Steel Framing: Uso em construções habitacionais empregando a modelagem virtual como processo de projeto e planejamento.** Dissertação de mestrado apresentada a Universidade de São Paulo, São Paulo. 2014. 198f.

CARVALHO, L. F. (). **Sistema construtivo em paredes de concreto para edifícios: dimensionamento da estrutura e aspectos construtivos .** Dissertação de mestrado apresentada a Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2012. 112f.

CASTRO, R. C. M. **Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: Light Steel Framing**. Dissertação de mestrado apresentada a Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2005. 231f.

CHARTERED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES ENGINEERS - CIBSE. **Guide A: Environmental design**. London: Chartered Institution of Building Services Engineers, 2006.

DIAS, L. A. (1999). **Edificações de aço no Brasil**. 2ª ed. São Paulo.

EUROPEAN STANDARD. **EN15251**. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. Brussels. Comité Européen de Normalisation, 2007

FIGUEIREDO, C. M., & Frota, A. B. **Ventilação Natural para Conforto Térmico em Edifícios de Escritórios – Avaliação com Modelos Adaptativos**. Dissertação de mestrado apresentada a Universidade de São Paulo, São Paulo. 2008

FLIZIKOWSKI, L. C. **Estimativa de emissões de dióxido de carbono na construção civil e neutralização com espécies florestais: um estudo de caso**. Dissertação de mestrado apresentada a Universidade Federal Do Paraná. Curitiba. 2012. 121f.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Centro de Estatística e Informação (CEI). **Déficit Habitacional no Brasil 2013-2014**. Belo Horizonte. 2016

GIVONI, B. **Comfort, Climate Analysis and Building Design Guidelines**. *Energy and Buildings*, v.18, n.1, p. 11-23, 1992.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produto Interno Bruto**. 2014.

LABEE. **Arquivos climáticos INMET 2016**. Disponível em: <<http://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2016>>. Acesso em: 12 de Novembro de 2017.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INFORMAÇÃO. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 2 ed. 2014

MATCON. **Sistema construtivo de casas em paredes de concreto**. 2017. Disponível em: <<http://matconsupply.com.br/sistema-construtivo-de-casas-em-paredes-de-concreto/>>. Acesso em: 29 de Agosto de 2017.

OLIVEIRA, R. D. **Classificação do desempenho térmico da envoltória de habitação popular em concreto armado**. Dissertação de doutorado apresentada a Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2015. 227f.

PROCEL. **Manual para Aplicação do RTQ-R**. 2012

PROCEL. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. 2012

Rego, D. J. M. **Estruturas de Edifícios em Light Steel Framing**. Dissertação de mestrado apresentada a Universidade técnica de Lisboa. Lisboa. 2012

Rodrigues, A. C. **Minha Casa Minha Vida: Análise do desempenho térmico pela NBR 15.220-3, NBR 15.575, Selo Casa Azul E RTQ-R**. Dissertação de mestrado apresentada a Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2013.

SORGATO, M. J. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente**. Dissertação de mestrado apresentada a Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina. 2009.

TAVARES. L. R. (). **Eficiência energética em edificações: aplicação do RTQ-C – Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos na cidade de Uberlândia-MG**. Dissertação de mestrado apresentada a Universidade de Brasília. Brasília. 2011

ANEXOS

Figura 22: Perspectiva sul-oeste da edificação no sistema de Light Steel Framing



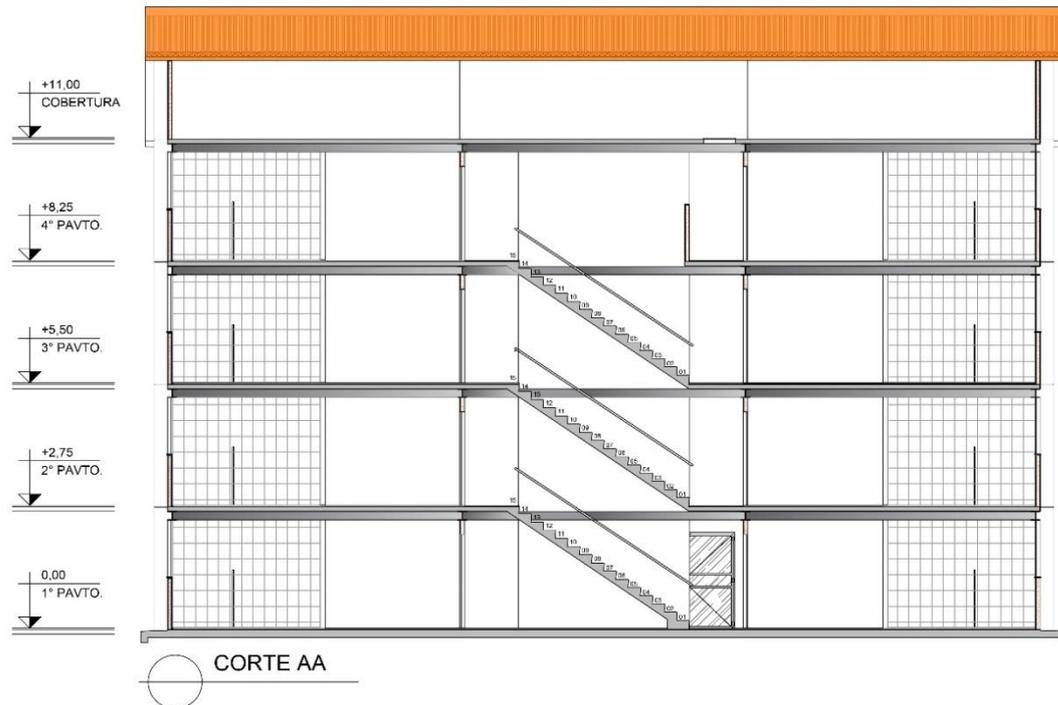
Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Figura 23: Perspectiva norte-leste no sistema de Light Steel Framing



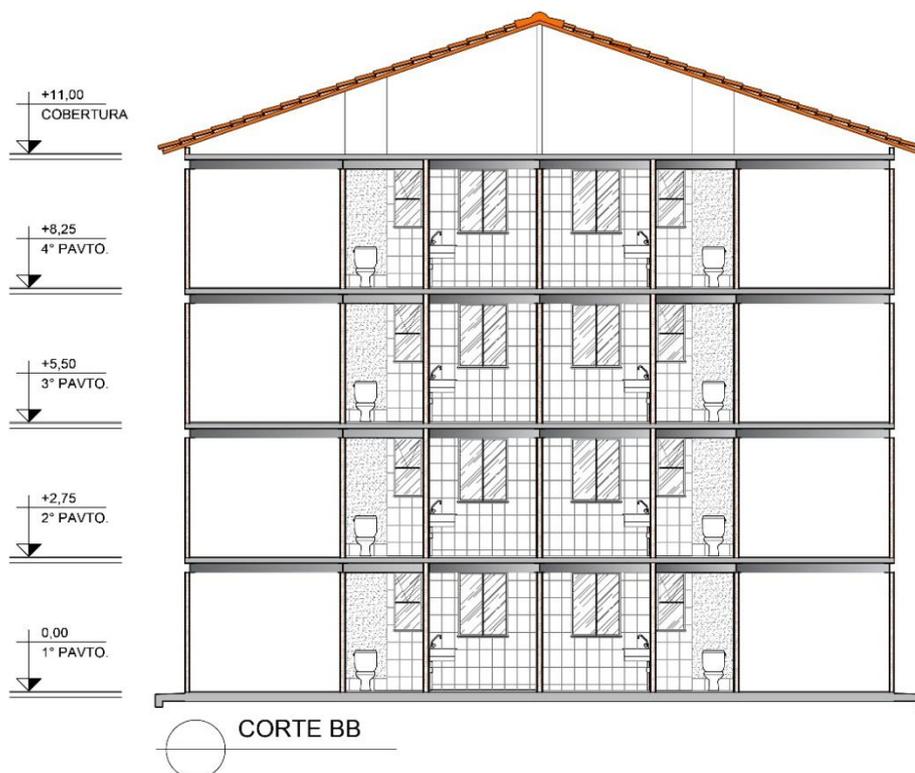
Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Figura 24: Corte AA no sistema de Light Steel Framing



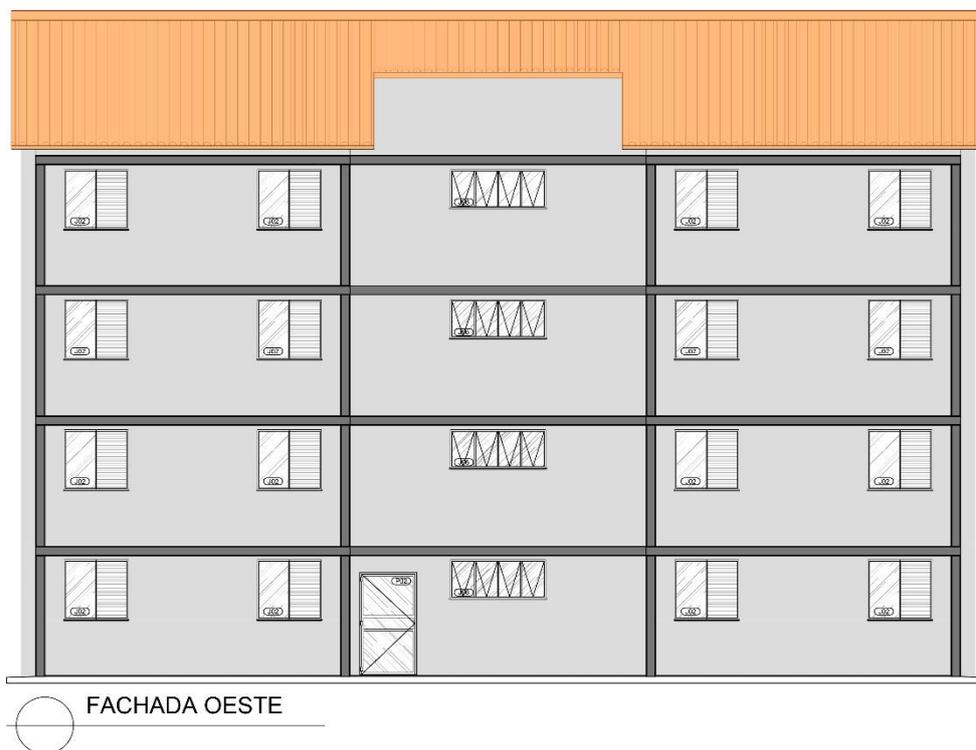
Fonte: Caixa (2018) (Adaptado)

Figura 25: Corte BB no sistema de Light Steel Framing



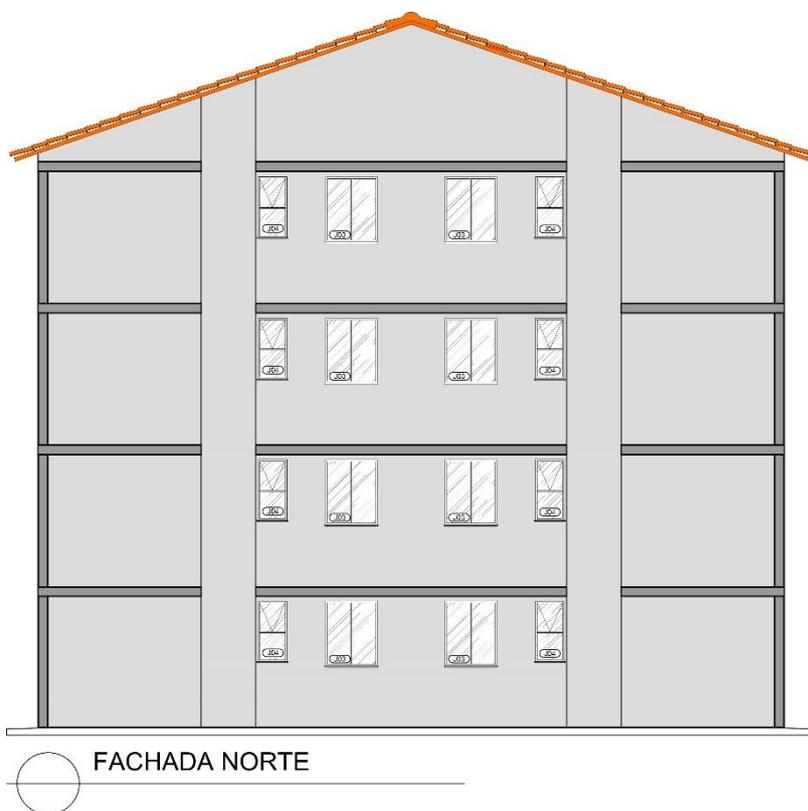
Fonte: Caixa (2018) (Adaptado)

Figura 26: Fachada Oeste no sistema de Light Steel Framing



Fonte: Caixa (2018) (Adaptado)

Figura 27: Fachada Norte no sistema de Light Steel Framing



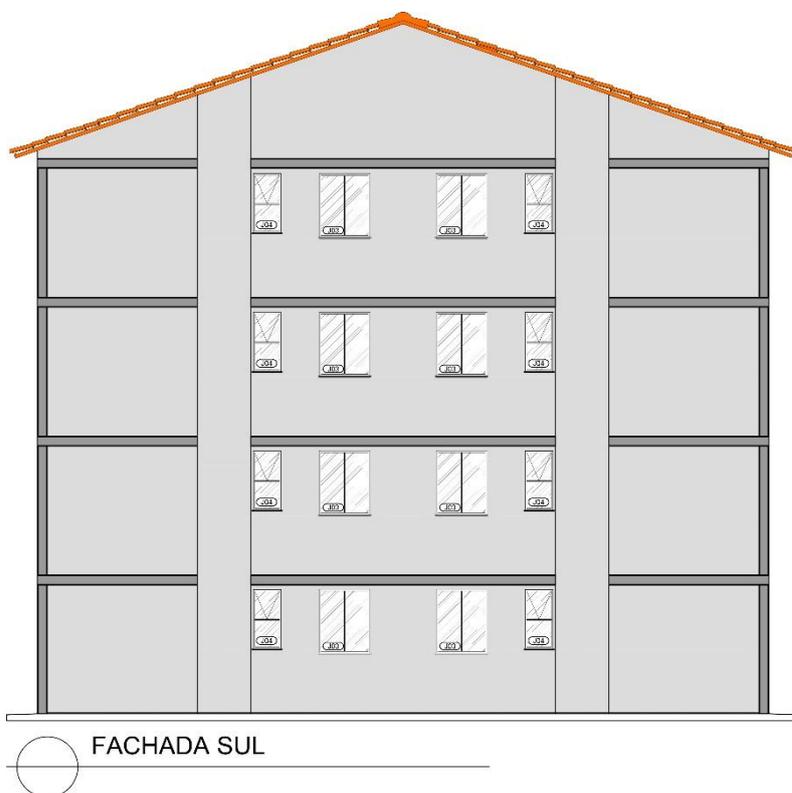
Fonte: Caixa (2018) (Adaptado)

Figura 28: Fachada Leste no sistema de Light Steel Framing



Fonte: Caixa (2018) (Adaptado)

Figura 29: - Fachada Sul no sistema de Light Steel Framing



Fonte: Caixa (2018) (Adaptado)

Figura 30: Perspectiva sul-oeste no sistema de paredes de concreto



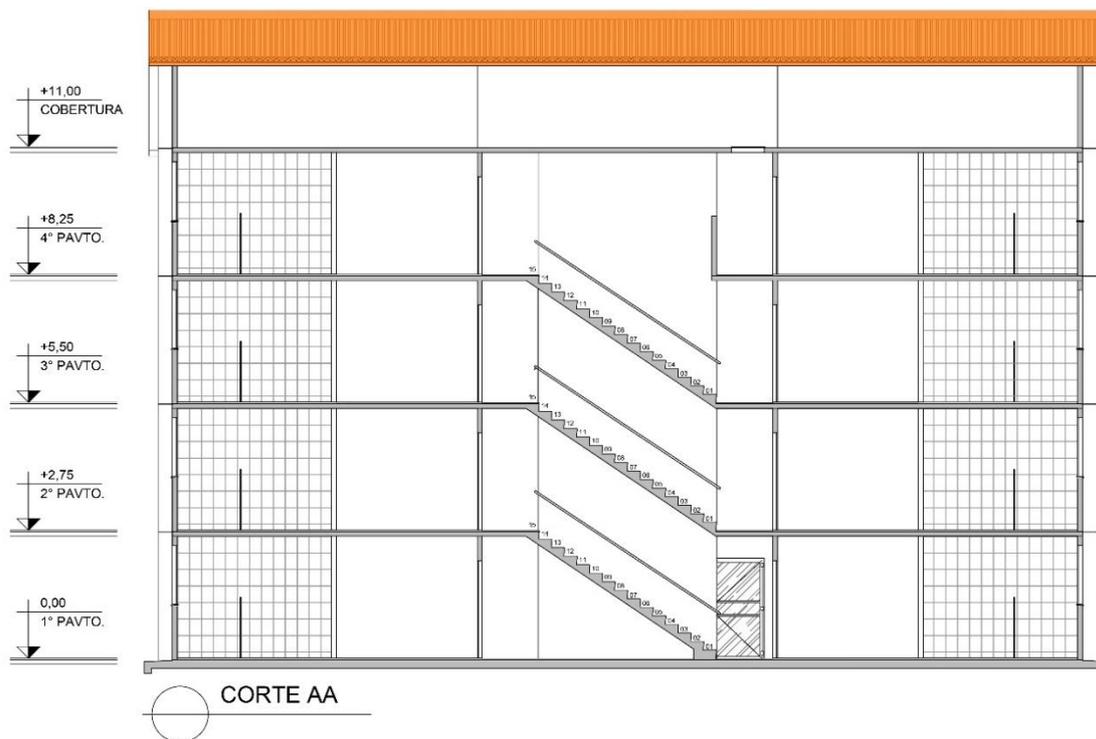
Fonte: Caixa (2018) (Adaptado)

Figura 31: Perspectiva norte-leste no sistema de paredes de concreto



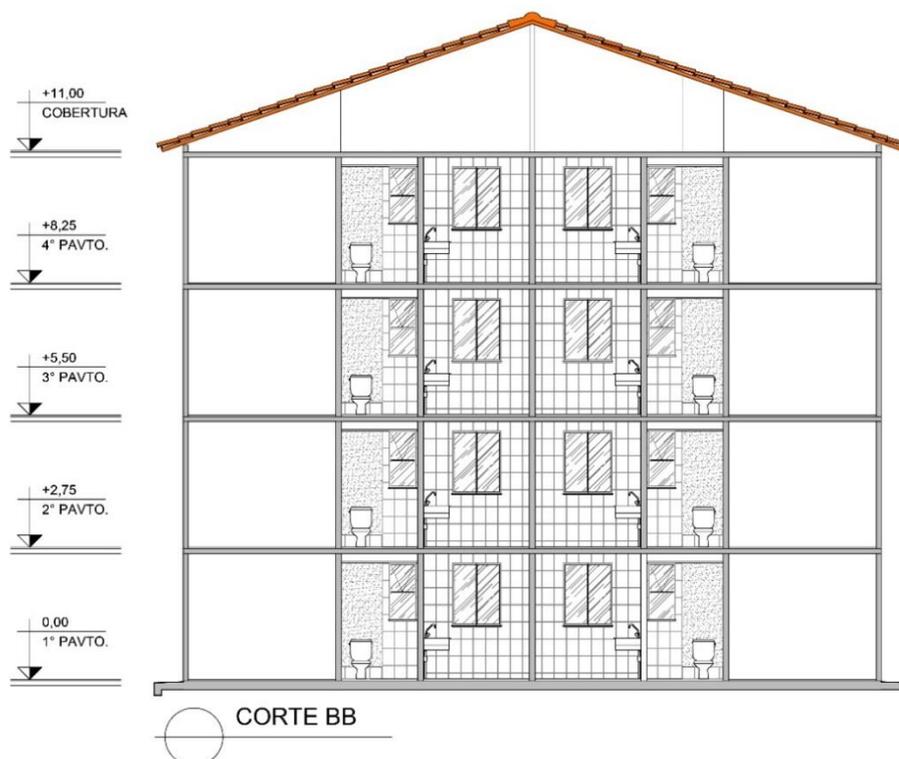
Fonte: Caixa (2018) (Adaptado)

Figura 32: Corte AA no sistema de paredes de concreto



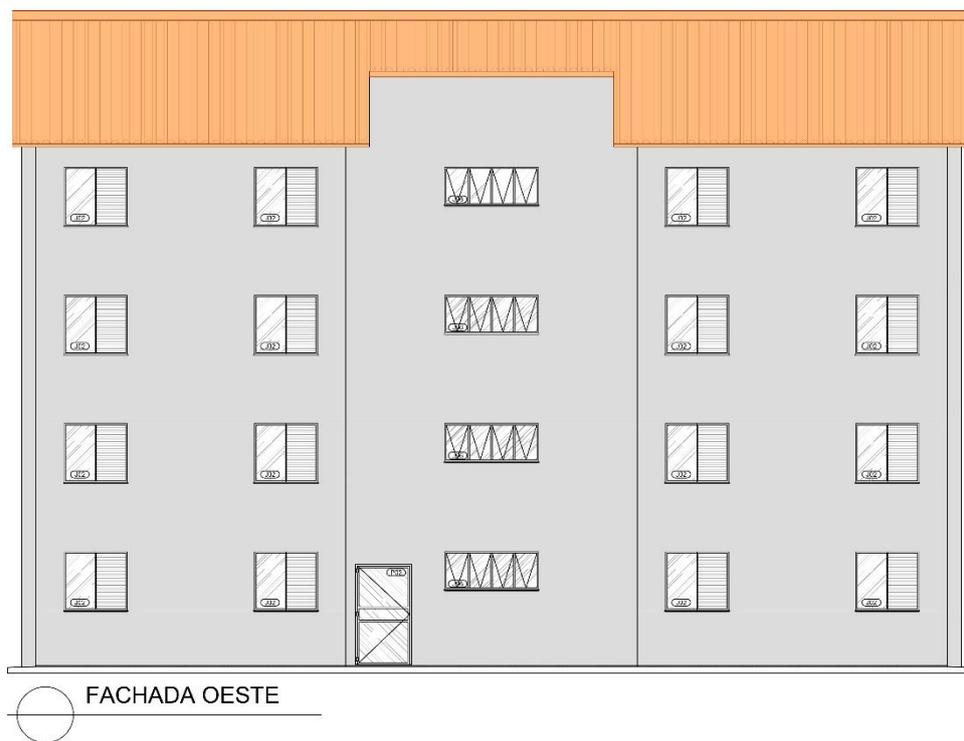
Fonte: Caixa (2018) (Adaptado)

Figura 33: Corte BB no sistema de paredes de concreto



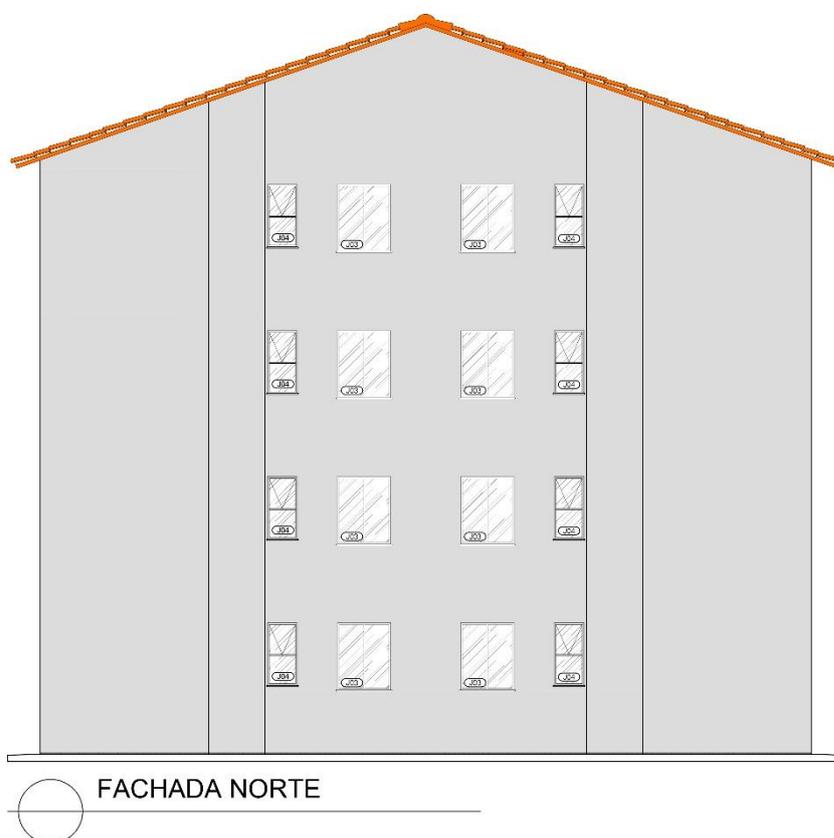
Fonte: Caixa (2018) (Adaptado)

Figura 34: Fachada oeste no sistema de paredes de concreto



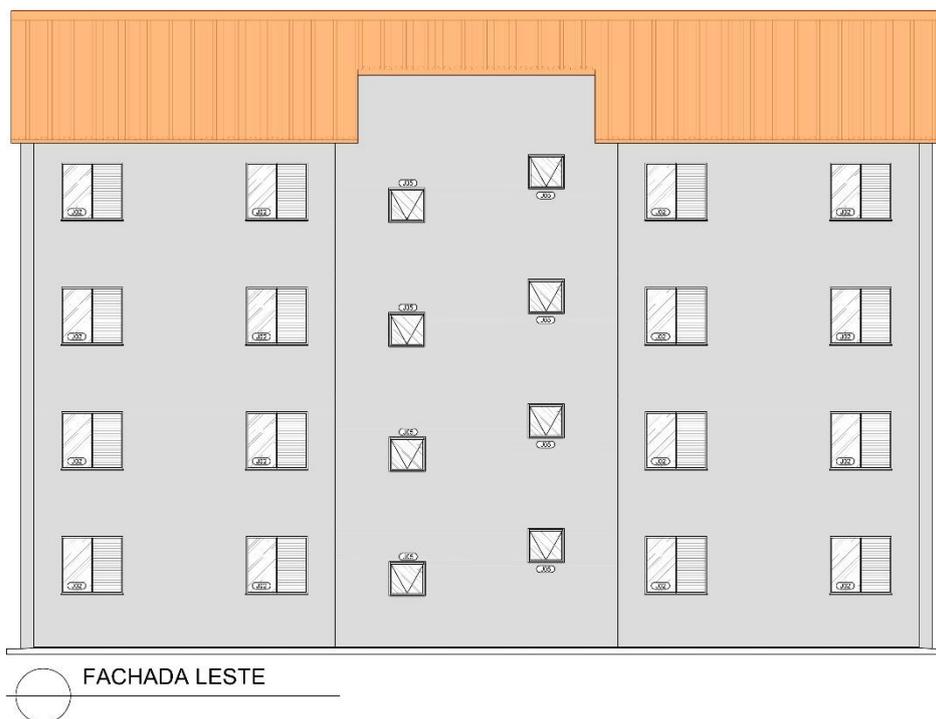
Fonte: Caixa (2018) (Adaptado)

Figura 35: Fachada norte no sistema de paredes de concreto



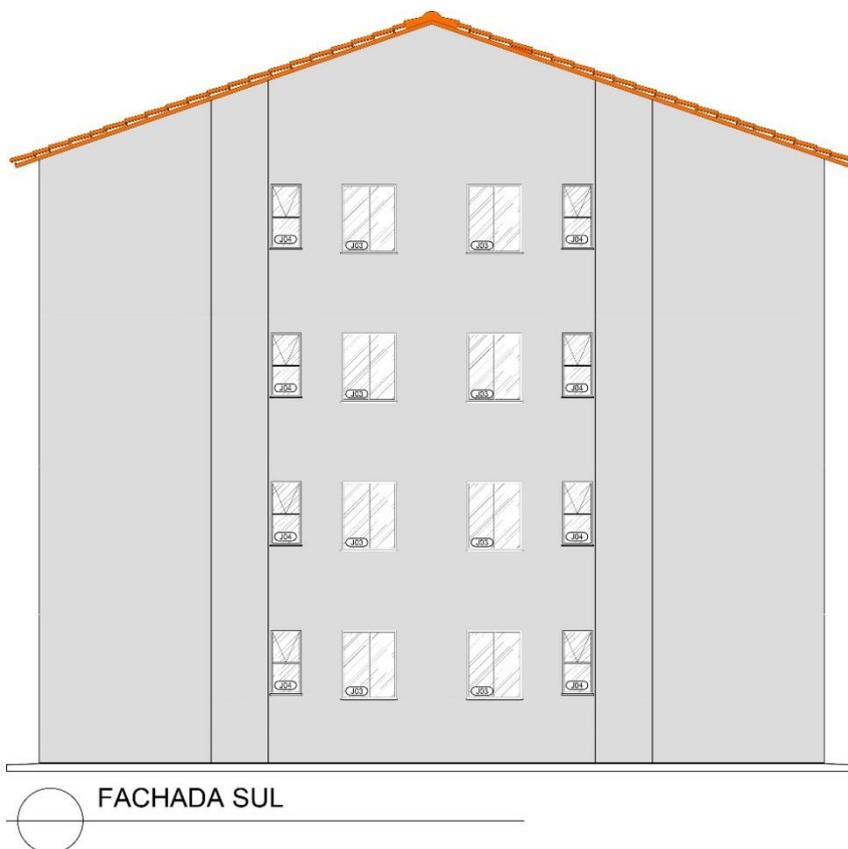
Fonte: Caixa (2018) (Adaptado)

Figura 36: Fachada leste no sistema de paredes de concreto



Fonte: Caixa (2018) (Adaptado)

Figura 37: Fachada sul no sistema de paredes de concreto



Fonte: Caixa (2018) (Adaptado)

APÊNDICES

APÊNDICE A - Levantamento de dados de entrada referentes aos coeficientes térmicos das envoltórias

Quadro 24: Coeficientes térmicos das envoltórias

Ambiente	Identificação	Sala 1, Quarto 1 e Quarto 2					
Zona Bioclimática	ZB	ZB 2		ZB 3		ZB 8	
Situação	Sistema construtivo	LSF	CONC	LSF	CONC	LSF	CONC
Situação do piso e cobertura	Cobertura	1	1	1	1	1	1
	Contato com o solo	0	0	0	0	0	0
	Sobre Pilotis	0	0	0	0	0	0
Cobertura	U (W/m ² K)	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05
	CT (kJ/m ² K)	238	238	238	238	238	238
	α	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Paredes externas	U (W/m ² K)	0,53	4,4	0,53	4,4	0,53	4,4
	CT (kJ/m ² K)	32	240	32	240	32	240
	α	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Características construtivas	Ctbaixa	1	0	2	0	1	0
	Ctalta	0	0	0	0	0	0

Fonte: PROCEL:2012

Legenda: U – Transmitância térmica, CT – Capacidade térmica, α – Absortância

APÊNDICE B - Determinação dos indicadores de graus-hora para resfriamento (GHR) e do consumo relativo para aquecimento (CA)

De acordo com o RTQ-R, calculou-se o indicador de graus-hora para resfriamento (°C.h) e o Consumo Relativo para Aquecimento (kWh/m².ano) de cada ambiente de permanência prolongada da UH através de equações específicas para cada uma das Zonas Bioclimáticas (QUADROS 25, 26 E 27).

Quadro 25: Indicadores de Graus-hora para Resfriamento e do Consumo Relativo para Aquecimento

Ambiente	Identificação	Sala 1					
		ZB2		ZB3		ZB8	
Zona Bioclimática	ZB	Situação 1: LSF	Situação 2: CONC	Situação 1: LSF	Situação 2: CONC	Situação 1: LSF	Situação 2: CONC
Situação	Sistema construtivo						
Ambiente	Área útil (m ²)	13,46	13,46	13,46	13,46	13,46	13,46
Áreas de Paredes Externas do Ambiente (m ²)	NORTE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	SUL	4,27	4,27	4,27	4,27	4,27	4,27
	LESTE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	OESTE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Áreas de Aberturas Externas (m ²)	NORTE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	SUL	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02
	LESTE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	OESTE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Características das Aberturas	Fvent	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
	Somb	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Características Gerais	Área das Paredes Internas (m ²)	35,63	35,63	35,63	35,63	35,63	35,63
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	1	0	0	0	0	0
	vid	0	0	0	0	0	0
	Uvid (W/m ² .K)	5700	5700	0	0	0	0
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR (°C.h)	10296	9725	3815	2817	14010	11361
Consumo Relativo para Aquecimento	CA (kWh/m ² .ano)	1980	1977	11,122	12,902	NA	NA

Fonte: PROCEL:2012

Legenda: Fvent – Relação entre abertura para ventilação e a área do vão, Somb – Dispositivos de proteção solar, isol – isolamento térmico, vid – vidro duplo, Uvid – Transmitância térmica do vidro

Quadro 26: Indicadores de Graus-hora para Resfriamento e do Consumo Relativo para Aquecimento

Ambiente	Identificação	Quarto 1					
		ZB2		ZB3		ZB8	
Zona Bioclimática	ZB	Situação 1: LSF	Situação 2: CONC	Situação 1: LSF	Situação 2: CONC	Situação 1: LSF	Situação 2: CONC
Situação	Sistema construtivo						
Ambiente	Área útil (m ²)	10,06	10,06	10,06	10,06	10,06	10,06
Áreas de Paredes Externas do Ambiente (m ²)	NORTE	7,99	7,99	7,99	7,99	7,99	7,99
	SUL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	LESTE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	OESTE	6,94	6,94	6,94	6,94	6,94	6,94
Áreas de Aberturas Externas (m ²)	NORTE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	SUL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	LESTE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	OESTE	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70
Características das Aberturas	Fvent	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
	Somb	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Características Gerais	Área das Paredes Internas (m ²)	16,63	16,63	16,63	16,63	16,63	16,63
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	1	0	0	0	0	0
	vid	0	0	0	0	0	0
	Uvid (W/m ² .K)	5700	5700	0	0	0	0
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR (°C.h)	10452	10215	3613	2439	13834	12292
Consumo Relativo para Aquecimento	CA (kWh/m ² .ano)	1780	1778	9,272	12,215	NA	NA

Fonte: PROCEL:2012

Quadro 27: Indicadores de Graus-hora para Resfriamento e do Consumo Relativo para Aquecimento

Ambiente	Identificação	Quarto 2					
		ZB2		ZB3		ZB8	
Zona Bioclimática	ZB	Situação 1: LSF	Situação 2: CONC	Situação 1: LSF	Situação 2: CONC	Situação 1: LSF	Situação 2: CONC
Situação	Sistema construtivo						
Ambiente	Área útil (m ²)	9,15	10,06	10,06	10,06	10,06	10,06
Áreas de Paredes Externas do Ambiente (m ²)	NORTE	0,00	7,99	7,99	7,99	7,99	7,99
	SUL	7,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	LESTE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	OESTE	6,16	6,94	6,94	6,94	6,94	6,94
Áreas de Aberturas Externas (m ²)	NORTE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	SUL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	LESTE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	OESTE	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70
Características das Aberturas	Fvent	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
	Somb	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Características Gerais	Área das Paredes Internas (m ²)	15,85	16,63	16,63	16,63	16,63	16,63
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	1	0	0	0	0	0
	vid	0	0	0	0	0	0
	Uvid (W/m ² .K)	5700	5700	0	0	0	0
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR (°C.h)	9347	9160	3262	2936	12114	9994
Consumo Relativo para Aquecimento	CA (kWh/m ² .ano)	1957	1954	10,48	11,003	NA	NA

Fonte: PROCEL:2012

Legenda: Fvent – Relação entre abertura para ventilação e a área do vão, Somb – Dispositivos de proteção solar, isol – isolamento térmico, vid – vidro duplo, Uvid – Transmitância térmica do vidro

APÊNDICE C - Determinação dos dados arquitetônicos que interferem na avaliação da envoltória dos ambientes de permanência prolongada

Nesta etapa foram levantados os componentes relacionados ao projeto que influenciam na avaliação das envoltórias, para cada ambiente de permanência prolongada (QUADRO 28). Os fatores iluminação e ventilação naturais são determinantes nas avaliações.

Quadro 28: Pré-requisitos da envoltória dos APP

Zona bioclimática		ZB2, ZB3 E ZB8		
Sistema construtivo		Situação 1: LSF e Situação 2: CONC		
Ambiente		SALA	QUARTO 1	QUARTO 2
Fatores para iluminação e ventilação natural	O ambiente é um dormitório?	Não	Sim	Sim
	Há corredor no ambiente?	Sim	Não	Não
	Se sim, qual é a Auamb sem contar a área deste corredor	11,7m ²	-	-
Iluminação natural	Área de abertura para iluminação (m ²)	1,82	0,76	0,76
	Ai/Auamb(%)	15,56	7,55	8,31
Ventilação natural	Área de abertura para ventilação (m ²)	0,95	0,79	8,63
	Av/Auamb (%)	8,12	7,85	8,63
	Tipo de abertura	2 folhas de correr	2 folhas de correr com veneziana	2 folhas de correr com veneziana
	Abertura passível de fechamento?	Sim	Sim	Sim
	ZB 8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C	Sim	Sim	Sim

Fonte: PROCEL:2012

Legenda: AUamb – área útil do ambiente Ai – área de iluminação Av – área de ventilação

Ao analisar a iluminação natural dos ambientes de permanência prolongada, segundo os critérios estipulados pelo RTQ-R, percebe-se que as aberturas para

iluminação cumprem com os limites mínimos definidos apenas para as salas (QUADRA 29). O não atendimento deste critério nos quartos se justifica pela utilização de venezianas de alumínio nestes ambientes, o que acaba reduzindo a área de iluminação.

Quadro 29: Pré-requisitos de iluminação natural

ZB2, ZB3 e ZB8	Iluminação Natural		
	SALA 1	QUARTO 1	QUARTO 2
SALA 2	QUARTO 3	QUARTO 4	
SALA 3	QUARTO 5	QUARTO 6	
SALA 4	QUARTO 7	QUARTO 8	
UH			
101 a 404			

Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Legenda: atende não atende

Ao analisar a ventilação natural dos ambientes de permanência prolongada (QUADRO 30), segundo os critérios estipulados pelo RTQ-R, percebe-se que as aberturas para iluminação cumprem com os critérios de área e modelo estipulados pela norma em todos os ambientes, com exceção do critério relacionado à área mínima nos quartos 1, 3, 5 e 7. A relação entre a área de ventilação (A_v) e a área útil do ambiente (A_{Uamb}) nos quartos supra citados não cumpre com a porcentagem mínima estipulada. Como os quartos de numeração ímpar possuem maiores áreas que os de numeração par, possuindo áreas de abertura para ventilação semelhantes, a relação A_v/A_{Uamb} é inferior nos quartos que não atendem aos valores estipulados.

Quadro 30: Pré-requisitos de ventilação natural

ZB2, ZB3 e ZB8	Ventilação Natural					
	SALA 1		QUARTO 1		QUARTO 2	
	SALA 2		QUARTO 3		QUARTO 4	
	SALA 3		QUARTO 5		QUARTO 6	
	SALA 4		QUARTO 7		QUARTO 8	
UH	Área	Tipo	Área	Tipo	Área	Tipo
101 a 404						

Fonte: Arquivo pessoal (2018)

Legenda:  atende  não atende

ANPÊNDICE D - Determinação da avaliação para verão e inverno dos app

De acordo com os valores obtidos para os indicadores de graus-hora para resfriamento (GHR) e consumo relativo para aquecimento (CA) e após as análises dos pré-requisitos dos APP, foram avaliadas as envoltórias destes ambientes, pontuadas de 1 à 5, sendo 1 a menor pontuação possível (QUADROS 31, 32 E 33). As avaliações das envoltórias para verão e inverno foram estipuladas de acordo com os valores de GHR e CA, respectivamente.

Quadro 31: Pontuação para verão e inverno dos APP

Ambiente	Sala 1					
Zona bioclimática	ZB 2		ZB 3		ZB 8	
Sistema construtivo	Situação 1: LSF	Situação 2: CONC	Situação 1: LSF	Situação 2: CONC	Situação 1: LSF	Situação 2: CONC
Pontuação da envoltória para verão	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	3,00
Pontuação da envoltória para inverno	1,00	1,00	3,00	3,00	NA	NA

Fonte: PROCEL:2012

Quadro 32: Pontuação para verão e inverno dos APP

Ambiente	Quarto 1					
Zona bioclimática	ZB 2		ZB 3		ZB 8	
Sistema construtivo	Situação 1: LSF	Situação 2: CONC	Situação 1: LSF	Situação 2: CONC	Situação 1: LSF	Situação 2: CONC
Pontuação da envoltória para verão	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	3,00
Pontuação da envoltória para inverno	1,00	1,00	3,00	3,00	NA	NA

Fonte: PROCEL:2012

Quadro 33: Pontuação para verão e inverno dos APP

Ambiente	Quarto 2					
Zona bioclimática	ZB 2		ZB 3		ZB 8	
Sistema construtivo	Situação 1: LSF	Situação 2: CONC	Situação 1: LSF	Situação 2: CONC	Situação 1: LSF	Situação 2: CONC
Pontuação da envoltória para verão	1,00	1,00	2,00	3,00	2,00	3,00
Pontuação da envoltória para inverno	1,00	1,00	3,00	3,00	NA	NA

Fonte: PROCEL:2012

APÊNDICE E - Determinação dos dados arquitetônicos que interferem na avaliação da envoltória da UH

Nesta etapa foram levantados os componentes relacionados aos pré-requisitos da envoltória, para a UH, relacionados aos sistemas de medição individualizadas, ventilação dos banheiros e ventilação cruzada (QUADRO 34).

Quadro 34: Pré-requisitos da envoltória das UHs

Zona bioclimática		ZB2, ZB3 E ZB8
Sistema construtivo		Situação 1: LSF e Situação 2: CONC
Medição individual de água?		Sim
Medição individual de energia?		Sim
Ventilação cruzada	Área aberturas orientação norte	0,89
	Área aberturas orientação sul	0,95
	Área aberturas orientação leste	0
	Área aberturas orientação oeste	1,58
	A1	1,84
	A2	1,58
	A2/A1	1,164
	A2/A1 maior ou igual a 0,25?	Sim
Banheiros com ventilação natural	N° BWC	1
	N° banheiros com ventilação natural	1
	50% ou mais dos banheiros com ventilação natural ?	Sim

Fonte: PROCEL:2012

Legenda: A2 – Somatório das áreas de aberturas para ventilação localizadas na fachada com maior área de abertura para ventilação, A1 - somatório das áreas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas das demais orientações

APÊNDICE F - Determinação da avaliação da envoltória para verão e inverno da UH

A partir das avaliações das envoltórias para verão e inverno desenvolvidas para os APP, foram avaliadas as UHs (QUADRO 35).

Quadro 35: Pontuação para verão e inverno da UH

Zona bioclimática	ZB 2		ZB 3		ZB 8	
Sistema construtivo	Situação 1: LSF	Situação 2: CONC	Situação 1: LSF	Situação 2: CONC	Situação 1: LSF	Situação 2: CONC
Pontuação da envoltória para verão	1,00	1,00	1,28	2,28	2,00	2,69
Pontuação da envoltória para inverno	1,00	1,00	3,00	3,00	NA	NA

Fonte: PROCEL:2012

APÊNDICE G - Determinação dos parâmetros indicativos das bonificações

Nesta etapa foram levantados todos os parâmetros relacionados às bonificações, que se cumpridas possibilitam elevação na avaliação final das UHs. Foram determinadas as bonificações relacionadas à Ventilação Natural (QUADRO 36) e Iluminação Natural (QUADRO 37). As demais bonificações foram descritas No quadro 38.

Quadro 36: Bonificações relacionadas à Ventilação Natural

Bonificações: Ventilação Natural		
Zona Bioclimática	ZB2, ZB3 e ZB8	
Sistema construtivo	Situação 1: LSF e Situação 2: CONC	
Porosidade	Área aberturas orientação Norte (m ²)	0,89
	Área aberturas orientação Sul (m ²)	0,95
	Área aberturas orientação Leste (m ²)	0
	Área aberturas orientação Oeste (m ²)	1,58
	Área total paredes externas orientação Norte (m ²)	17,48
	Área total paredes externas orientação Sul (m ²)	14,28
	Área total paredes externas orientação Leste (m ²)	0
	Área total paredes externas orientação Oeste (m ²)	16,51
	Porosidade Norte	5,1%
	Porosidade Sul	6,7%
	Porosidade Leste	0,0%
	Porosidade Oeste	9,6%
	Duas ou mais fachadas apresentam porosidade acima de 14%?	Não
	Bonificação	0
Dispositivos Especiais	Todos os APP apresentam dispositivos especiais?	Não
	Bonificação	0
Centro Geométrico	Todos os APP apresentam abertura com centro geométrico entre 0,40 e 0,70m?	Não
	Bonificação	0
Permeabilidade	Todos APP apresentam abertura intermediária com área livre \geq 30% da área da abertura?	Não
	Bonificação	0

Fonte: PROCEL:2012

Quadro 37: Bonificações relacionadas à Iluminação Natural

Bonificações: Iluminação Natural		
Zona Bioclimática	ZB2, ZB3 e ZB8	
Sistema construtivo	Situação 1: LSF e Situação 2: CONC	
Profundidade	50%+1 dos APP, cozinha e lavanderia atendem $P \leq 2,4 \text{ ha}$?	Sim
	Bonificação	0,2
Refletância Teto	Todos os APPs, cozinha e lavanderia apresentam refletância do teto maior que 0,6?	Sim
	Bonificação	0,1

Fonte: PROCEL:2012

Quadro 38: Outras Bonificações

Outras Bonificações		
Zona Bioclimática	ZB2, ZB3 e ZB8	
Sistema construtivo	Situação 1: LSF e Situação 2: CONC	
Uso Racional de Água	Bonificação de uso racional de água	0
Condicionamento Artificial de Ar	Bonificação de condicionamento artificial de ar	0
Iluminação Artificial	Porcentagem das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75 lm/W ou com Selo Procel (em todos os ambientes)	100%
	Bonificação	0,1
Ventiladores de Teto	Ventiladores de teto com Selo Procel em 2/3 dos ambientes de permanência prolongada?	Não
	Bonificação	0
Refrigeradores	Apresenta refrigerador(es) com ENCE nível A ou Selo Procel?	Não
	Garante as condições adequadas de instalação conforme recomendações do fabricante?	Não
	Bonificação	0
Medição Individualizada de Aquecimento de Água	Apresenta medição individualizada de água quente?	Não
	Bonificação	0

Fonte: PROCEL:2012

APÊNDICE H - Determinação dos parâmetros indicativos do sistema de aquecimento de água

Nesta etapa foram levantados os parâmetros relacionados aos pré-requisitos do sistema de aquecimento, como representado no quadro 39.

Quadro 39: Pré-requisitos do sistema de aquecimento de água

Zona bioclimática	ZB2, ZB3 e ZB8
Sistema construtivo	Situação 1: LSF e Situação 2: CONC
As tubulações para água quente são apropriadas para a função de condução a que se destinam e atendem as normas técnicas de produtos aplicáveis?	NA
A edificação apresenta sistema de aquecimento de água?	NA
O sistema apresenta aquecimento solar?	Não
A estrutura do reservatório apresenta resistência térmica maior ou igual a 2,20 (m ² K)/W?	Não
As tubulações para água quente são metálicas?	NA
A condutividade térmica da tubulação está entre 0,032 e 0,040 W/(mK)?	NA
Diâmetro nominal da tubulação (cm)	NA
Condutividade do material alternativo à temperatura média indicada para a temperatura da água (W/mK)	-
Potência máxima dos equipamentos elétricos (W)	5000
Demanda dos equipamentos	100
Classificação	1

Fonte: PROCEL:2012

APÊNDICE I - Determinação da avaliação final da UH

Com base nas pontuações obtidas para as envoltórias no verão e no inverno, pelo sistemas de aquecimento de água e bonificações, calculou-se a pontuação final da UH, numa escala que vai de 1 à 5, sendo 5 a maior pontuação possível (QUADRO 40).

Quadro 40: Avaliação final da UH

Zona Bioclimática	ZB2		ZB3		ZB8	
Sistema construtivo	Situação 1: LSF	Situação 2: CONC	Situação 1: LSF	Situação 2: CONC	Situação 1: LSF	Situação 2: CONC
Pontuação da envoltória para Verão	1,00	1,00	1,28	2,28	2,00	2,69
Pontuação da envoltória para Inverno	1,00	1,00	3,00	3,00	NA	NA
Pontuação do sistema de aquecimento de água	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Pontuação por bonificações	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Pontuação Final da UH	1,40	1,40	1,98	2,40	2,35	3,01

Fonte: PROCEL:2012