

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO E DA  
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM EDIFÍCIO  
MULTIFAMILIAR EM ALVENARIA ESTRUTURAL NA  
ZONA BIOCLIMÁTICA 2**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Anne Lyse Moroni**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2015**



# **ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO E DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM EDIFÍCIO MULTIFAMILIAR EM ALVENARIA ESTRUTURAL NA ZONA BIOCLIMÁTICA 2**

**Anne Lyse Moroni**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM/RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil**.

**Orientador: Prof. Dr. Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2015**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Moroni, Anne Lyse  
Análise do desempenho térmico e da eficiência energética de um edifício multifamiliar em alvenaria estrutural na Zona Bioclimática 2 / Anne Lyse Moroni.- 2015.  
199 p.; 30cm

Orientador: Joaquim César Pizzuti dos Santos  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2015

1. Desempenho térmico 2. Eficiência energética 3. Edificação Multifamiliar 4. Alvenaria estrutural 5. Zona bioclimática 2 I. César Pizzuti dos Santos, Joaquim II. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

A comissão examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação de  
Mestrado

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO E DA EFICIÊNCIA  
ENERGÉTICA DE UM EDIFÍCIO MULTIFAMILIAR EM  
ALVENARIA ESTRUTURAL NA ZONA BIOCLIMÁTICA 2**

elaborada por  
**Anne Lyse Moroni**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Civil**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

**Joaquim Cesar Pizzuti dos Santos, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

**Minéia Johann Scherer, Dra.** (UNIFRA, RS)

**Giane de Campos Grigoletti, Dra.** (UFSM, RS)

Santa Maria, 28 de agosto de 2015.



Dedico este trabalho aos meus familiares,  
namorado e amigos.





## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil  
Universidade Federal de Santa Maria

### **ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO E DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM EDIFÍCIO MULTIFAMILIAR EM ALVENARIA ESTRUTURAL NA ZONA BIOCLIMÁTICA 2**

Autora: Anne Lyse Moroni

Orientador: Joaquim César Pizzuti dos Santos

Data e local da Defesa: Santa Maria, 28 de agosto de 2015.

Uma boa edificação é aquela que tem um bom desempenho térmico e uma boa eficiência energética, que esteja vinculado às condições do clima local e das estratégias projetuais. Este trabalho tem como fundamento a análise do desempenho térmico e da eficiência energética de uma edificação multifamiliar em alvenaria estrutural com bloco de concreto de padrão médio na Zona Bioclimática 2. A edificação multifamiliar estudada foi definida através de um levantamento em edificações em alvenaria estrutural com bloco de concreto, de padrão médio, localizadas na cidade de Santa Maria e com quatro apartamentos por pavimento. A avaliação do desempenho térmico da edificação foi realizada pelo método simplificado e de simulação da NBR 15.575:2013 e a eficiência energética foi avaliada pelo método prescritivo e de simulação do RTQ-R. As simulações foram realizadas com o programa *DesignBuilder*. Também foi analisada a influência das variáveis das propriedades térmicas de fechamentos opacos verticais no desempenho térmico. A edificação multifamiliar não atingiu ao critério de desempenho térmico simplificado da norma, porém classificou-se pelo método de simulação com desempenho superior no inverno e mínimo no verão, e na eficiência energética obteve Nível B pelo método prescritivo e Nível A pelo método de simulação. Na análise da influência das variáveis térmicas, observou-se que o desempenho térmico, no período de inverno, atinge os critérios da NBR 15.575:2013, com uma grande variação da temperatura interna mínima em relação à temperatura externa máxima e, no período de verão, a edificação também atinge o critério de desempenho térmico, porém com uma variação pequena de temperatura máxima em relação à temperatura externa, enfatizando a necessidade de se ter cuidado na elaboração de projetos, de acordo com as estratégias bioclimáticas.

**Palavras Chaves:** Norma de Desempenho, Eficiência Energética, Edificação Multifamiliar, Alvenaria Estrutural, RTQ-R, Zona Bioclimática 2.



## **ABSTRACT**

Master Course Dissertation  
Civil Engineering Post-Graduate Program  
Universidade Federal de Santa Maria

### **ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO E DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM EDIFÍCIO MULTIFAMILIAR EM ALVENARIA ESTRUTURAL NA ZONA BIOCLIMÁTICA 2**

Author: Anne Lyse Moroni

Advisor: Joaquim César Pizzuti dos Santos

Date: Santa Maria, August 28, 2015.

A good building is one that has good thermal performance and energy efficiency, which is linked to the conditions of the local climate and projective strategies. This work is based on the analysis of thermal performance and energy efficiency of a multifamiliar building in structural masonry with concrete blocks and an average standard in the bioclimatic area 2. The multifamiliar building to be studied was defined by a survey of buildings in structural masonry concrete blocks, of average standard, located in the city of Santa Maria and with four apartments per floor. The evaluation of the thermal performance of the building was carried out by simplified method and simulation of NBR 15575: 2013, and energy efficiency was evaluated by the prescriptive method and simulation of the RTQ-R. The simulations were performed with the DesignBuilder program. The influence of the variables of thermal properties of opaque vertical locks in thermal performance was also analyzed. The multifamiliar building did not reach the criteria for simplified thermal performance of the standard, but ranked by simulation method with superior performance in winter and minimum in summer. Energy efficiency is obtained by the prescriptive method Level B and Level A by the simulation method. In the analysis of the influence of thermal variable properties, it was observed that the thermal performance in winter period reaches the NBR 15.575:2013 criteria, with a large variation of the minimum internal temperature and external temperature. During the summer the building also reaches the criteria for thermal performance, but with a slight variation of maximum temperature and the external temperature, emphasizing the necessity of preparing projects with careful accordance with the bioclimatic strategies.

**Keyword:** thermal performance, energy efficiency, homy building, concrete blocks, bioclimatic area 2.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Fluxo energético no Brasil em 2012.....	22
Figura 2.1 - Zonas bioclimáticas brasileiras .....	27
Figura 2.2 - Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 2 brasileira .....	28
Figura 2.3 - Trocas de calor em vedações opacas.....	29
Figura 2.4 - Absortância solar nas diferentes cores .....	31
Figura 2.5 - Fluxograma ilustrativo dos procedimentos de avaliação do desempenho térmico da edificação .....	35
Figura 2.6 - Níveis de eficiência da etiquetagem.....	44
Figura 2.7 - Exemplo de avaliação de edificação multifamiliar .....	52
Figura 2.8 - Efeitos da forma e altura na rigidez do prédio, comprimento (C), altura (H) e largura (L).....	62
Figura 2.9 - Diferentes arranjos.....	62
Figura 2.10 - Diferentes tipos de arranjos .....	63
Figura 2.11 - Diferentes blocos de concreto da Família 39 .....	63
Figura 3.1 - Modelagem do objeto de estudo no <i>software DesignBuilder</i> . .....	68
Figura 3.2 – Diferentes composições de fechamentos verticais opacos analisados .	77
Figura 3.3 - Esquema da composição das 54 simulações dos fechamentos opacos considerados no objeto de estudo.....	77
Figura 4.1 - Mapa de localização do Residencial do Parque.....	80
Figura 4.2 – Fachadas sul-leste e oeste-sul do Residencial do Parque.....	81
Figura 4.3 - Planta baixa pavimento tipo do Residencial do Parque .....	81
Figura 4.4 - Acabamentos dos banheiros do Residencial do Parque, espera para água quente no banheiro e saída para aquecimento a gás na área de serviço .....	82
Figura 4.5 - Laje técnica reservado para as unidades externas dos splits e cobogós com função estética e de “esconder” unidades externas .....	82
Figura 4.6 – Sala de Estar do apartamento de dois dormitórios do Residencial do Parque.....	83
Figura 4.7 – Composição da cobertura impermeabilizada da edificação residencial, apresentando: manta asfáltica (1), painel XPS extrudado (2), manta geotêxtil (3) e brita (4).....	83
Figura 4.8 - Fluxograma resumido da análise comparativa da avaliação do desempenho térmico.....	90
Figura 4.9 - Planilha com variáveis do GHR e CA dos ambientes da UH 201.....	95
Figura 4.10 - Planilha com as variáveis para o cálculo do pré-requisito para o sistema de aquecimento de água.....	96
Figura 4.11 - Planilha com variáveis para o cálculo do sistema de aquecimento de água por aquecimento a gás e resultado final.....	96
Figura 4.12 - Planilha com variáveis para avaliação das bonificações.....	97
Figura 4.13 - Pontuação total do nível de eficiência energética da unidade habitacional .....	98
Figura 4.14 - Bomba de recalque da edificação .....	102
Figura 4.15 - Gráfico da temperatura mínima interna em relação a transmitância térmica no período inverno.....	122
Figura 4.16 - Gráfico da temperatura máxima interna em relação a transmitância térmica no período verão .....	123
Figura 4.17 - Gráfico da temperatura mínima interna em relação a capacidade térmica no período de inverno.....	123
Figura 4.18 - Gráfico da temperatura máxima interna em relação a capacidade térmica no período de verão.....	124

Figura 4.19 - Gráfico da temperatura mínima interna em relação a absorptância solar no período de inverno.....	125
Figura 4.20 - Gráfico da temperatura máxima interna em relação a absorptância solar no período de verão.....	125
Figura 4.21 - Relação das variáveis térmicas no desempenho térmico em edificações multifamiliares para a Zona Bioclimática 2.....	126

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Transmitâncias térmicas exigidas nas zonas bioclimáticas brasileiras ..	36
Tabela 2.2 - Capacidades térmicas exigidas para paredes externas .....	37
Tabela 2.3 - Áreas mínimas para ventilação em aberturas .....	37
Tabela 2.4 - Critérios e nível de desempenho de coberturas quanto à transmitância térmica .....	38
Tabela 2.5 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão .....	39
Tabela 2.6 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno .....	39
Tabela 2.7 - Equivalente numérico (EqNum) para cada nível de eficiência.....	45
Tabela 2.8 - Classificação do nível de eficiência de acordo com a pontuação obtida .....	45
Tabela 2.9 - Pré-requisito de absorvância solar, transmitância térmica e capacidade térmica para a Zona Bioclimática 2 .....	46
Tabela 2.10 - Percentual de áreas mínimas para ventilação em relação à área útil do ambiente.....	46
Tabela 2.11 - Equivalentes numéricos da envoltória do ambiente para resfriamento	49
Tabela 2.12 - Equivalentes numéricos da envoltória do ambiente para aquecimento .....	49
Tabela 2.13 - Equivalentes numéricos da envoltória do ambiente condicionado artificialmente para refrigeração .....	49
Tabela 2.14 - Espessura mínima de isolamento de tubulações para aquecimento de água .....	50
Tabela 2.15 - Pontuações máximas das bonificações.....	51
Tabela 2.16 - Critérios para classificação da iluminação artificial de áreas comuns de uso frequente de acordo com o nível pretendido .....	54
Tabela 2.17 - Categoria de uso dos elevadores de acordo com a VDI 4707.....	55
Tabela 2.18 - Limites da demanda específica de energia para cada nível de eficiência energética em função da categoria de uso do elevador .....	55
Tabela 2.19 - Pontuações máximas das bonificações.....	56
Tabela 3.1 - Padrão de ocupação para dias de semana e final de semana do RTQ-R e norma de desempenho .....	69
Tabela 3.2 - Padrão de uso iluminação .....	70
Tabela 3.3 - Equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento na Zona Bioclimática 2 .....	72
Tabela 3.4 - Equivalente numérico da envoltória do ambiente para aquecimento na Zona Bioclimática 2 .....	73
Tabela 3.5 - Equivalente numérico da envoltória do ambiente condicionado artificialmente para refrigeração na Zona Bioclimática 2 .....	73
Tabela 3.6 - Taxas metabólicas para cada atividade .....	74
Tabela 3.7 - Cargas internas de equipamentos .....	75
Tabela 3.8 - Temperatura do solo da edificação .....	75
Tabela 4.1 – Exemplo de edificação executada em alvenaria estrutural com bloco do concreto na cidade de Santa Maria.....	79
Tabela 4.2 - Materiais e espessuras da vedação vertical e cobertura do objeto de estudo .....	84
Tabela 4.3 - Valores de absorvância de acordo com Dornelles.....	84
Tabela 4.4 - Materiais de vedação vertical e cobertura e suas propriedades térmicas .....	85

Tabela 4.5 - Valores do desempenho térmico para vedações .....	86
Tabela 4.6 - Aberturas para ventilação em ambientes de permanência prolongada.	86
Tabela 4.7 - Valores do desempenho térmico para cobertura.....	87
Tabela 4.8 - Desempenho térmico no inverno por simulação .....	88
Tabela 4.9 - Desempenho térmico no verão por simulação.....	89
Tabela 4.10 - Pré-Requisitos transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância .....	92
Tabela 4.11 - Pré-requisito de ventilação natural .....	92
Tabela 4.12 - Pré-requisito de iluminação natural.....	93
Tabela 4.13 - Pré-requisito de ventilação cruzada.....	93
Tabela 4.14 - Resultados da pontuação total de eficiência dos apartamentos da edificação.....	99
Tabela 4.15 – Determinação da eficiência na edificação multifamiliar .....	99
Tabela 4.16 - Especificações, classificação e eficiência das lâmpadas nas áreas de uso frequente.....	101
Tabela 4.17 – Especificação, classificação e eficiência das lâmpadas nas áreas comuns de uso eventual.....	103
Tabela 4.18 - Iluminação natural de áreas comuns de uso frequente.....	104
Tabela 4.19 - Ventilação natural de áreas comuns de uso frequente .....	105
Tabela 4.20 – Determinação $EqNumEnv_{Resfr}$ do 2º Pavimento .....	106
Tabela 4.21 - Determinação do $EqNumEnv_A$ do 2º pavimento .....	107
Tabela 4.22 - Determinação do $EqNumEnv_{Refrig}$ do 2º pavimento.....	108
Tabela 4.23 – Determinação $EqNumEnv_{Resfr}$ do 5º Pavimento .....	109
Tabela 4.24 - Determinação do $EqNumEnv_A$ do 5º pavimento .....	109
Tabela 4.25 - Determinação do $EqNumEnv_{Refrig}$ do 5º pavimento.....	110
Tabela 4.26 - Determinação $EqNumEnv_{Resfr}$ do 7º Pavimento .....	111
Tabela 4.27 - Determinação do $EqNumEnv_A$ do 7º pavimento .....	112
Tabela 4.28 - Determinação do $EqNumEnv_{Refrig}$ do 7º pavimento.....	113
Tabela 4.29 – Classificação das unidades habitacionais pelo método de simulação do RTQ-R .....	114
Tabela 4.30 – Determinação da eficiência energética na edificação multifamiliar por simulação.....	114
Tabela 4.31 - Resultados do método prescritivo e de simulação dos ambientes de permanência prolongada dos apartamentos analisado .....	115
Tabela 4.32 – Resultado da pontuação das unidades habitacionais no método prescritivo e por simulação .....	117
Tabela 4.33 - Síntese dos resultados obtidos pelo método prescritivo e método de simulação.....	118
Tabela 5.4 - Resultados das 64 simulações das variáveis nos períodos de inverno e período de verão.....	120



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$\alpha$	Absortância Solar
<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>ASHARE</b>	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
<b>C<sub>A</sub></b>	Consumo Relativo para Aquecimento
<b>CBIC</b>	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
<b>CB3E</b>	Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações
<b>CSTB</b>	<i>Centre Scientifique et Technique du Batiment</i>
<b>C<sub>T</sub></b>	Capacidade Térmica
<b>C<sub>R</sub></b>	Consumo para refrigeração
<b>DOE</b>	Departamento de Energia dos Estados Unidos
<b>ENCE</b>	Resistência Térmica
<b>GH<sub>R</sub></b>	Indicador Graus-Hora para Resfriamento
<b>INMETRO</b>	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
<b>MW</b>	Megawatts
<b>NBR</b>	Norma Brasileira
<b>ONU</b>	Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento da Organização das Nações Unidas
<b>PROCEL</b>	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
<b>RAC-R</b>	Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais
<b>R<sub>T</sub></b>	Resistência Térmica
<b>RTQ-C</b>	Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edificações Comerciais, Públicos e de Serviço
<b>RTQ-R</b>	Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edificações Residenciais
<b>TRY</b>	<i>Test Reference Year</i>
<b>U</b>	Transmitância Térmica
<b>UH</b>	Unidade Habitacional



## LISTA DE ANEXOS E APÊNDICES

ANEXO 01 - Residencial do Parque – Planta Baixa (subsolo).....	139
ANEXO 02 - Residencial do Parque – Planta Baixa (térreo).....	140
ANEXO 03 - Residencial do Parque – Planta Baixa (pavimento tipo).....	141
ANEXO 04 - Residencial do Parque – Planta Baixa (cobertura).....	142
ANEXO 05 - Residencial do Parque – Elevações .....	143
ANEXO 06 - Residencial do Parque – Cortes .....	144
APÊNDICE 01 - Levantamento de edificações executadas em alvenaria estrutural com quatro ou mais pavimentos.....	145
APÊNDICE 02 - Planilha com as variáveis do GHr e Ca dos ambientes do UH 202 .....	155
APÊNDICE 03 - Planilha com a análise da envoltória e dos pré-requisitos da UH 202 .....	156
APÊNDICE 04 - Planilha com variáveis para o sistema de aquecimento de água por aquecimento à gás da UH 202.....	156
APÊNDICE 05 - Planilha com variáveis de para avaliação das bonificações da UH 202.....	157
APÊNDICE 06 - Pontuação total do nível da eficiência energética da UH 202.....	158
APÊNDICE 07 - Planilha com as variáveis do GHr e Ca dos ambientes do UH 203 .....	159
APÊNDICE 08 - Planilha com a análise da envoltória e dos pré-requisitos da UH 203 .....	160
APÊNDICE 09 - Planilha com variáveis para o sistema de aquecimento de água por aquecimento à gás da UH 203.....	160
APÊNDICE 10 - Planilha com variáveis de para avaliação das bonificações da UH 203.....	161
APÊNDICE 11 - Pontuação total do nível da eficiência energética da UH 203.....	162
APÊNDICE 12 - Planilha com as variáveis do GHr e Ca dos ambientes do UH 204 .....	163
APÊNDICE 13 - Planilha com variáveis para o sistema de aquecimento de água por aquecimento à gás da UH 204.....	164
APÊNDICE 14 - Planilha com variáveis de para avaliação das bonificações da UH 204.....	165
APÊNDICE 15 - Pontuação total do nível da eficiência energética da UH 204.....	166
APÊNDICE 16 - Planilha com as variáveis do GHr e Ca dos ambientes do UH 501 .....	167
APÊNDICE 17 - Planilha com variáveis para o sistema de aquecimento de água por aquecimento à gás da UH 501.....	168
APÊNDICE 18 - Planilha com variáveis de para avaliação das bonificações da UH 501.....	169
APÊNDICE 19 - Pontuação total do nível da eficiência energética da UH 501.....	170
APÊNDICE 20 - Planilha com as variáveis do GHr e Ca dos ambientes do UH 502 .....	171
APÊNDICE 21 - Planilha com a análise da envoltória e dos pré-requisitos da UH 502 .....	172
APÊNDICE 22 - Planilha com variáveis para o sistema de aquecimento de água por aquecimento à gás da UH 502.....	172
APÊNDICE 23 - Planilha com variáveis de para avaliação das bonificações da UH 502.....	173

APÊNDICE 24 - Pontuação total do nível da eficiência energética da UH 502 .....	174
APÊNDICE 25 - Planilha com as variáveis do GHr e Ca dos ambientes do UH 503 .....	175
APÊNDICE 26 - Planilha com a análise da envoltória e dos pré-requisitos da UH 503 .....	176
APÊNDICE 27 - Planilha com variáveis para o sistema de aquecimento de água por aquecimento à gás da UH 503 .....	176
APÊNDICE 28 - Planilha com variáveis de para avaliação das bonificações da UH 503.....	177
APÊNDICE 29 - Pontuação total do nível da eficiência energética da UH 503 .....	178
APÊNDICE 30 - Planilha com as variáveis do GHr e Ca dos ambientes do UH 504 .....	179
APÊNDICE 31 - Planilha com variáveis para o sistema de aquecimento de água por aquecimento à gás da UH 504 .....	180
APÊNDICE 32 - Planilha com variáveis de para avaliação das bonificações da UH 504.....	181
APÊNDICE 33 - Pontuação total do nível da eficiência energética da UH 504 .....	182
APÊNDICE 34 - Planilha com as variáveis do GHr e Ca dos ambientes do UH 701 .....	183
APÊNDICE 35 - Planilha com variáveis para o sistema de aquecimento de água por aquecimento à gás da UH 701 .....	184
APÊNDICE 36 - Planilha com variáveis de para avaliação das bonificações da UH 701.....	185
APÊNDICE 37 - Pontuação total do nível da eficiência energética da UH 701 .....	186
APÊNDICE 38 - Planilha com as variáveis do GHr e Ca dos ambientes do UH 702 .....	187
APÊNDICE 39 - Planilha com a análise da envoltória e dos pré-requisitos da UH 702 .....	188
APÊNDICE 40 - Planilha com variáveis para o sistema de aquecimento de água por aquecimento à gás da UH 702 .....	188
APÊNDICE 41 - Planilha com variáveis de para avaliação das bonificações da UH 702.....	189
APÊNDICE 42 - Pontuação total do nível da eficiência energética da UH 702 .....	190
APÊNDICE 43 - Planilha com as variáveis do GHr e Ca dos ambientes do UH 703 .....	191
APÊNDICE 44 - Planilha com a análise da envoltória e dos pré-requisitos da UH 703 .....	192
APÊNDICE 45 - Planilha com variáveis para o sistema de aquecimento de água por aquecimento à gás da UH 703 .....	192
APÊNDICE 46 - Planilha com variáveis de para avaliação das bonificações da UH 703.....	193
APÊNDICE 47 - Pontuação total do nível da eficiência energética da UH 703 .....	194
APÊNDICE 48 - Planilha com as variáveis do GHr e Ca dos ambientes do UH 704 .....	195
APÊNDICE 49 - Planilha com variáveis para o sistema de aquecimento de água por aquecimento à gás da UH 704 .....	196
APÊNDICE 50 - Planilha com variáveis de para avaliação das bonificações da UH 704.....	197
APÊNDICE 51 - Pontuação total do nível da eficiência energética da UH 704 .....	198

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>11</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>13</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	<b>15</b>
<b>LISTA DE ANEXOS E APÊNDICES</b> .....	<b>17</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>21</b>
1.1 <b>Objetivo geral</b> .....	<b>24</b>
1.2 <b>Objetivos específicos</b> .....	<b>24</b>
1.3 <b>Estrutura da dissertação</b> .....	<b>24</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>27</b>
2.1 <b>Desempenho térmico em edificações</b> .....	<b>27</b>
2.1.1 <b>Propriedades térmicas dos materiais construtivos</b> .....	<b>30</b>
2.2 <b>Desempenho térmico e eficiência energética em edificações residenciais na zona bioclimática 2</b> .....	<b>32</b>
2.3 <b>NBR 15575 – Desempenho de edificações habitacionais</b> .....	<b>34</b>
2.3.1 <b>Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas</b> .....	<b>36</b>
2.3.2 <b>Requisitos para o sistema de cobertura</b> .....	<b>38</b>
2.3.3 <b>Avaliação pelo método de simulação</b> .....	<b>39</b>
2.4 <b>Eficiência energética em edificações</b> .....	<b>39</b>
2.4.1 <b>Do PROCEL até o PROCEL Edifica</b> .....	<b>42</b>
2.5 <b>Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações residenciais – RTQ-R</b> .....	<b>43</b>
2.5.1 <b>Unidade Habitacional Autônoma – UH</b> .....	<b>44</b>
2.5.2 <b>Edificação Multifamiliar</b> .....	<b>51</b>
2.6 <b>Alvenaria Estrutural</b> .....	<b>60</b>
2.6.1 <b>Projeto arquitetônico em alvenaria estrutural</b> .....	<b>60</b>
2.7 <b>Design Builder 2.0</b> .....	<b>64</b>
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>65</b>
3.1 <b>Definição do objeto de estudo</b> .....	<b>65</b>
3.2 <b>Avaliação do desempenho térmico – método simplificado</b> .....	<b>66</b>
3.3 <b>Avaliação do desempenho térmico – método de simulação</b> .....	<b>67</b>
3.3.1 <b>Modelagem da edificação</b> .....	<b>67</b>
3.3.2 <b>Arquivo climático</b> .....	<b>68</b>
3.3.3 <b>Padrão de Ocupação</b> .....	<b>68</b>
3.3.4 <b>Padrão de Iluminação</b> .....	<b>69</b>
3.3.5 <b>Dia típico</b> .....	<b>70</b>
3.4 <b>Avaliação da eficiência energética – método prescritivo</b> .....	<b>71</b>
3.5 <b>Avaliação da eficiência energética – método de simulação</b> .....	<b>72</b>

3.5.1	Simulação da edificação ventilada naturalmente .....	73
3.5.2	Simulação da edificação ventilada artificialmente .....	76
<b>3.6</b>	<b>Avaliação da influência dos diferentes valores de transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância do fechamento opaco sobre o desempenho térmico.....</b>	<b>76</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>79</b>
<b>4.1</b>	<b>Objeto de estudo.....</b>	<b>79</b>
<b>4.2</b>	<b>Avaliação do Desempenho térmico.....</b>	<b>85</b>
4.2.1	Desempenho térmico - método simplificado .....	85
4.2.2	Desempenho térmico - método de simulação.....	87
4.2.3	Comparação da avaliação do desempenho térmico entre o método simplificado e de simulação da NBR15.575:2013.....	89
<b>4.3</b>	<b>Avaliação da Eficiência Energética .....</b>	<b>91</b>
4.3.1	Eficiência energética das unidades habitacionais – método prescritivo.....	91
4.3.2	Eficiência energética das áreas de uso comum – método prescritivo.....	100
4.3.3	Eficiência energética – método de simulação .....	105
4.3.4	Comparação da avaliação da eficiência energética do método prescritivo e de simulação do RTQ-R .....	115
<b>4.4</b>	<b>Influência dos diferentes valores de transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância do fechamento vertical opaco sobre o desempenho térmico.....</b>	<b>119</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>129</b>
5.1	Sugestão de trabalhos futuros .....	131
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>133</b>
	<b>ANEXO .....</b>	<b>138</b>
	<b>APÊNDICE .....</b>	<b>144</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A edificação possui a função básica de abrigar o usuário, permitindo um ambiente interno confortável nas suas variáveis térmicas, acústicas e de qualidade do ar, ou seja, de amenizar os climas severos e proporcionar ambientes tão confortáveis quanto o ambiente externo em situações de clima ameno.

Após a Revolução Industrial, onde houve a mecanização das produções industriais, acelerando a fabricação dos produtos e conseqüentemente barateando os preços, ocorrem também um aumento da migração da população para as cidades, onde a urbanização passou a um rápido e desorganizado crescimento, deixando a população em condições precárias e desconfortáveis. Criou-se, na arquitetura, o estilo internacional, baseado na mecanização do processo construtivo. Esse modelo reproduziu em lugares de diferentes condições ambientais, a mesma solução arquitetônica. Diferentemente do que acontecia na prática tradicional, o estilo internacional foi amplamente aplicado sem que as características climáticas fossem consideradas, e a garantia do conforto humano começou a ser mantido através de mecanismos artificiais, efeito do desenvolvimento tecnológico vindo da revolução (BRASIL, 2015).

A partir da crise do petróleo, ocorrida na década de 1970, foi reconhecido como problema o grande consumo de energia necessário para a manutenção das edificações. As questões energéticas e ambientais não eram compreendidas como urgentes e delicadas, pois o custo da energia era baixo e também não havia a conscientização geral sobre a poluição ambiental gerada pela produção de energia. Após o conhecimento da população mundial a respeito da crise energética e ambiental, ficou evidente a necessidade de mudança na solução arquitetônica até então empregada. Segundo Lamberts, Dutra, Pereira (2014), para superar, a crise a produção de energia teve um forte crescimento, ocasionando inconvenientes impactos ambientais, devido às usinas que utilizavam novas fontes energéticas. O forte investimento dos governos nesses projetos de geração de energia, que aumentaram os problemas ambientais, levou à redução de investimento em outros setores, quando a solução mais eficiente seria a economia de energia através da utilização de equipamentos domésticos mais econômicos e a preocupação em projetos arquitetônicos visando o bom desempenho térmico com o mínimo consumo de energia.

Ainda segundo BRASIL (2011, pg. 69) a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento da Organização das Nações Unidas (ONU), através do relatório Nosso Futuro Comum de 1987, elabora o conceito de desenvolvimento sustentável, um modelo capaz de atender as necessidades de consumo da geração atual, sem comprometer os recursos necessários para satisfação das necessidades das gerações futuras. A arquitetura com esse conceito é desenvolvida através dos preceitos fundamentais desse paradigma, modifica o ambiente natural de maneira a produzir um espaço confortável, adequado ao clima local, energeticamente eficiente e com baixo custo de manutenção, consequentemente causando um baixo impacto ambiental. A valorização do processo construtivo que emprega soluções passivas visando o conforto do usuário diminuindo a necessidade de suporte nos sistemas de iluminação e climatização artificial.

Os dados da energia consumida no Brasil, no ano de 2012, mostram que o consumo no setor residencial foi de 19,8% do total consumido, enquanto os setores públicos e comerciais consomem, respectivamente, 6,7% e 13,5% da produção nacional, conforme Figura 1.1. Conforme os dados do Ministério de Minas e Energia (2013), o consumo de energia residencial aumentou 2,1% de 2011 para 2012 e esse consumo tende cada vez mais a crescer.

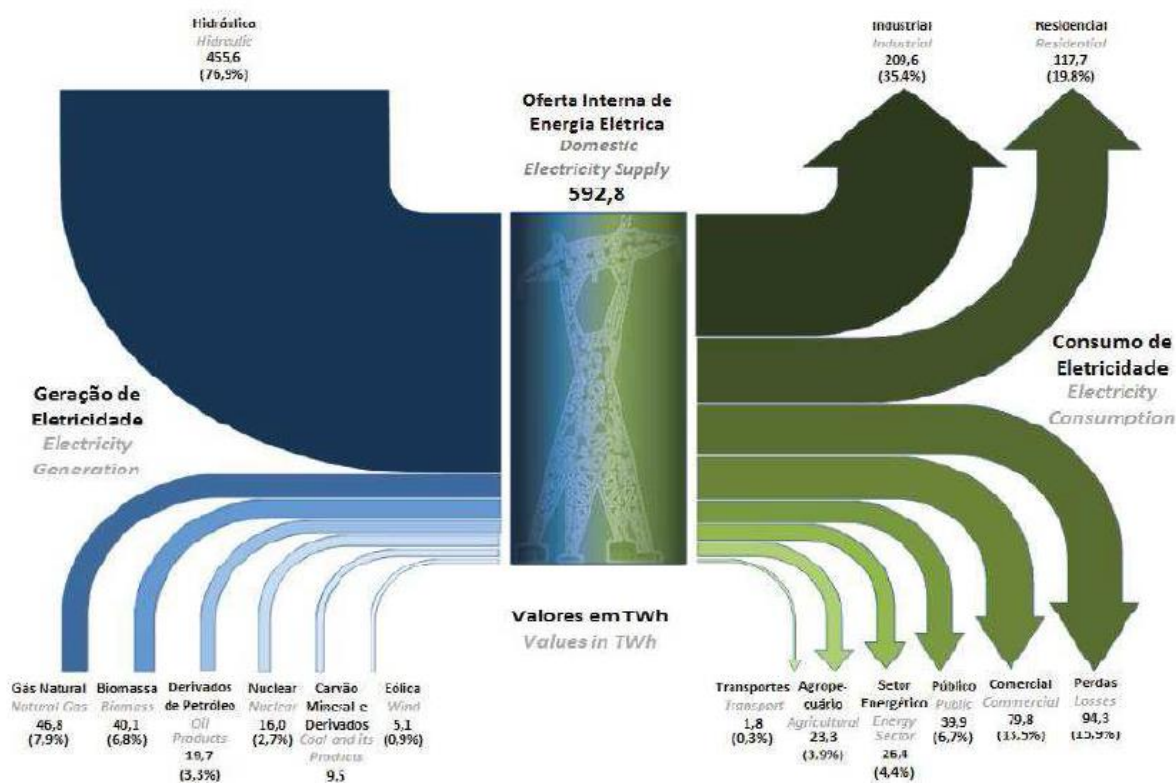


Figura 1.1 - Fluxo energético no Brasil em 2012

Fonte: BRASIL (2013).



Portanto, as tomadas de decisões do arquiteto durante a concepção de uma edificação influenciam diretamente no desempenho térmico e energético. Para a adequação do projeto, especialmente ao clima local, respeitando sua Zona Bioclimática, é preciso considerar a escolha de materiais, estratégias de uso da luz natural, resfriamento e aquecimento passivo dos ambientes.

Os governos e os especialistas vêm investindo em pesquisas, procurando aumentar a economia de energia, baixar o impacto ambiental, melhorar a qualidade do meio construído dos usuários, além de buscar novas tecnologias e materiais. Esses esforços resultaram em novos manuais, certificações mais elaboradas, leis e normas nacionais mais específicas e fundamentadas nas realidades locais.

Atualmente, o Brasil possui dois conjuntos de normas que abordam o desempenho térmico das edificações: a NBR 15220, focada no Desempenho Térmico de Edificações (ABNT, 2005), e a NBR 15575, sobre o Desempenho de Edificações Habitacionais (ABNT, 2013). Aliado a isso, existe também o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), no qual é visada a eficiência energética das edificações habitacionais unifamiliares e/ou multifamiliares e o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comercial, Serviço e Pública (RTQ-C) que visa à eficiência energética de edificações comerciais, públicas e institucionais.

Na cidade brasileira de Santa Maria, foco do estudo de caso da presente pesquisa, existem várias edificações construídas em alvenaria estrutural com blocos de concreto e tendem as execuções das obras multifamiliares nessa configuração. Diante da crescente utilização da alvenaria estrutural nas edificações residenciais da cidade, é necessário o melhor entendimento da prática dessa técnica como fechamento opaco vertical, tanto nas características de desempenho térmico, quanto no quesito da eficiência energética.

Devido ao bloco de concreto não atingir os quesitos mínimos prescritivos é necessário um estudo aprofundado do seu comportamento para a zona bioclimática 2. Ainda assim são poucos os estudos científicos relacionados a edificações multifamiliares e sobre os respectivos blocos, em relação ao desempenho térmico e eficiência energética.

Portanto, neste trabalho foi definida uma habitação multifamiliar de padrão médio executado em alvenaria estrutural com blocos de concreto e localizada na

cidade de Santa Maria-RS, avaliando seu desempenho térmico pelo método simplificado e através de simulação computacional, conforme determinada NBR 15.575:2013, e sua eficiência energética com base no método prescritivo e de simulação do RTQ-R. Posteriormente, foi também analisado o desempenho da mesma edificação com a vedação opaca vertical de blocos de concreto com diferentes características térmicas.

## **1.1 Objetivo geral**

O trabalho visa avaliar o desempenho térmico e a eficiência energética de uma edificação multifamiliar de padrão médio construído em alvenaria estrutural com blocos de concreto, localizada na Zona Bioclimática 2 brasileira.

## **1.2 Objetivos específicos**

- Definir a edificação multifamiliar a ser avaliada como objeto de estudo.
- Avaliar o desempenho térmico da edificação residencial pelo método simplificado e por simulação.
- Avaliar a eficiência energética da habitação multifamiliar pelo método prescritivo e por simulação.
- Analisar a influência das variações das propriedades de transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância das vedações opacas verticais no desempenho térmico da edificação multifamiliar estudada.
- Comparar os resultados entre o método simplificado e simulação, e o método prescritivo e simulação.

## **1.3 Estrutura da dissertação**

Este trabalho encontra-se estruturado em cinco capítulos, sendo eles:

O primeiro capítulo destinou-se às considerações iniciais, introduzindo o tema e sua importância, juntamente com os objetivos do trabalho e a estrutura do mesmo.

O segundo capítulo situa-se a revisão bibliográfica, onde são abordados os temas relacionados ao trabalho, como as definições de propriedades térmicas, a importância da eficiência energética e do desempenho térmico e as principais

normas relacionadas, a caracterização da alvenaria estrutural e estudos existentes sobre o tema.

O terceiro capítulo envolve a metodologia utilizada no trabalho, na definição do objeto de estudo, na avaliação simplificada e prescritiva do desempenho térmico e da eficiência energética pelo RTQ-R, bem como na avaliação por simulação computacional dos mesmos, e como foram estipulados os valores de transmitância térmica e capacidade térmica das outras alternativas de materiais a serem analisados.

O quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos das avaliações, as análises dos mesmos através da aplicabilidade dos métodos.

O quinto capítulo apresenta uma análise comparativa dos resultados entre os diferentes métodos.

E o sexto capítulo, apresenta as conclusões da dissertação e sugestões para trabalhos futuros.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a fundamentação do tema abordado e a elaboração do trabalho, neste capítulo é apresentada a revisão bibliográfica, com a breve definição de conceitos de desempenho térmico, da NBR 15.575:2013, do RTQ-R, contextualização da alvenaria estrutural, do programa utilizado para as simulações (*Design Builder*) e uma breve análise em estudos existentes relacionados ao tema abordado.

### 2.1 Desempenho térmico em edificações

O desempenho térmico está relacionado a trocas térmicas da edificação com o meio, de forma que diversos fatores influenciam seu comportamento térmico, como as características dos materiais e do meio (COMIRAN, 2014). O desempenho térmico satisfatório repercute no conforto das pessoas e em condições adequadas para o sono e para as atividades normais em uma habitação, contribuindo também para a economia de energia. Este fator depende das diversas características do local (topografia, temperatura e umidade do ar, direção do vento, dentre outros) e da edificação (materiais constituintes, números de pavimentos, dimensões dos cômodos, pé direito, orientação das fachadas etc.).

Utilizando corretamente essas variáveis e buscando estratégias bioclimáticas durante a concepção do projeto da edificação, pode-se proporcionar melhorias nas condições de conforto térmico e redução no consumo de energia. Assim, as condições de conforto se manterão por mais horas, dependendo menos de sistemas de condicionamento artificial (BERLEZE, 2014).

No Zoneamento Bioclimático Brasileiro o território nacional é dividido em oito zonas bioclimáticas, referente à Figura 2.1.

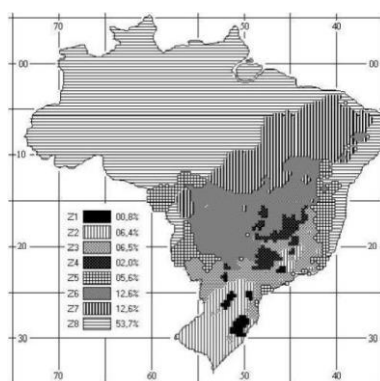


Figura 2.1 - Zonas bioclimáticas brasileiras

Fonte: ABNT (2005c).

Por sofrer influência direta do clima, o zoneamento climático onde a edificação está inserida influencia diretamente no seu desempenho térmico. A edificação analisada neste trabalho está situada na cidade de Santa Maria/RS, localizada na Zona Bioclimática 2.

Segundo a NBR 15.220-3 (2005c), a Zona Bioclimática 2 tem como principais considerações construtivas: uso de aberturas de dimensões médias para ventilação, as quais podem ser barradas no inverno, e o sombreamento dessas aberturas de forma a permitir o sol no inverno e a sombra no verão; e aplicação de paredes e coberturas de inércia térmica leve, sendo as coberturas idealmente isoladas. As principais estratégias bioclimáticas desta zona são: o emprego da ventilação cruzada na edificação durante o verão e, no inverno, o aproveitamento do aquecimento solar com vedações internas pesadas, por permitirem uma alta inércia térmica, conforme a Figura 2.2.

<b>Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 2</b>	
Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Médias	Permitir sol durante o inverno

<b>Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 2</b>	
Vedações externas	
Parede: Leve	
Cobertura: Leve isolada	

<b>Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 2</b>	
Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	J) Ventilação cruzada
Inverno	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)
	Nota: O condicionamento passivo será insuficiente durante o período mais frio do ano. Os códigos J, B e C são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil (ver anexo B).

Figura 2.2 - Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 2 brasileira

Fonte: ABNT (2005c).

O desempenho térmico da envoltória sofre influência de diversas variáveis, especialmente do partido arquitetônico, de sua orientação solar, da escolha dos componentes de fechamentos, da dimensão das esquadrias, da ventilação natural,

do sombreamento, dentre outros. Estes fatores são responsáveis pelas trocas térmicas entre o ambiente interno e externo (MARIN e AMORIM, 2012).

De acordo com Cruz (2003), a temperatura interna é o resultado do equilíbrio entre as contribuições de perdas de calor, sendo o aumento da temperatura em uma edificação relacionada em função da transferência de calor através da condução de seus fechamentos. A edificação está vulnerável aos efeitos periódicos da radiação solar incidente e de temperaturas extremas. Através dessas condições, os materiais utilizados na composição dos fechamentos regulam a entrada e saída de calor no seu interior.

Os fechamentos verticais da envoltória se dividem em opacos e transparentes, sendo que cada um deles possui um comportamento diferente quando submetido à radiação solar (SOARES, 2014). Relacionam-se diretamente com a radiação solar incidente, onde uma parte dessa radiação é refletida, outra parte é absorvida e outra parte ainda é transmitida, sendo o caso dos fechamentos opacos, apresentado na Figura 2.3.

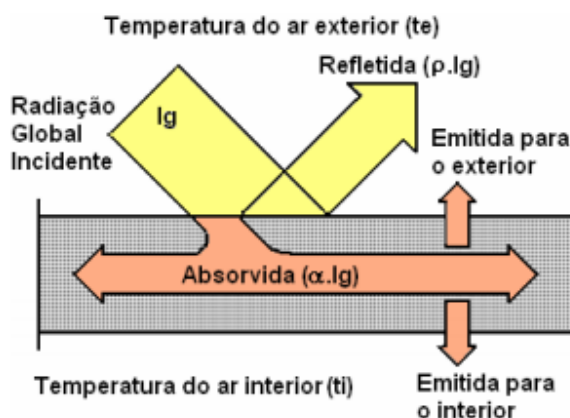


Figura 2.3 - Trocas de calor em vedações opacas

Fonte: Dornelles (2007, p. 35).

Nos fechamentos opacos a transmissão de calor acontece quando há uma diferença de temperatura entre suas superfícies interior e exterior, onde o sentido do fluxo de calor será sempre da superfície mais quente para a mais fria (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2014). Portanto, as propriedades térmicas dos materiais são fundamentais para o entendimento do comportamento térmico da edificação.

### 2.1.1 Propriedades térmicas dos materiais construtivos

As propriedades térmicas definem o comportamento térmico dos materiais e elementos construtivos. As principais propriedades para o entendimento do aspecto térmico dos materiais são a condutividade térmica, a densidade térmica, o calor específico, a difusividade térmica e a efusividade térmica.

A condutividade térmica ( $\lambda$ ), segundo Cruz (2003), é expressa pela capacidade do material de conduzir o calor. Em outras palavras, a NBR15220-1 (ABNT, 2005a) define que esta é uma propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de  $1\text{W/m}^2$ , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de  $1\text{K/m}$ .

A densidade térmica ou massa volumétrica ( $\rho$ ) é o coeficiente entre a quantidade (kg) de massa e o volume unitário ( $\text{m}^3$ ), assim, sua unidade de medida é  $\text{kg/m}^3$ . E o calor específico ( $c$ ) é a capacidade do material para acumular calor, sendo medido em  $\text{J/kg.K}$ .

A difusividade térmica ( $a$ ) é a capacidade de um material em transmitir uma variação de temperatura, de acordo com a condutividade térmica e o calor específico, tendo sua medida em  $\text{m}^2/\text{s}$ .

A efusividade térmica ( $b$ ) de um material é a sua capacidade de absorver ou restaurar um fluxo de calor ou potência térmica, cuja densidade do fluxo de calor que transpassa pelo material é proporcional a sua difusividade, sendo medida em  $\text{J/m}^2.\text{K.s}^2$  (CRUZ, 2003).

A absorvância térmica ( $\alpha$ ) influencia no comportamento do fechamento opaco da edificação, quando esse é exposto à radiação solar. Segundo a NBR15.220-1 (ABNT, 2005a), a absorvância é o quociente da taxa de radiação de ondas longas que é absorvida por uma superfície pela taxa de radiação de ondas longas incidente sobre esta superfície.

Um material escuro absorverá a maior parcela de radiação incidente, enquanto um material claro absorverá uma parcela pequena. O calor absorvido pelo material aquecerá o mesmo e será parcialmente reemitido para o exterior e parcialmente emitido para o ambiente interno (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2014).

Na Figura 2.4 é apresentado, conforme a pesquisa de Dornelles e Roris (2008), os resultados dos diferentes valores da absorvância térmica em um conjunto de 78 amostras de cores da paleta da empresa de tintas Suvinil.



N°	Nome	Cor	$\alpha_{\text{tot}}$ (%)	N°	Nome	Cor	$\alpha_{\text{tot}}$ (%)	N°	Nome	Cor	$\alpha_{\text{tot}}$ (%)
75	Preto		98,0	21	Branco Gelo		48,9	20	Azul		77,1
29	Preto		97,7	7	Branco Gelo		46,4	5	Azul Imperial		74,2
22	Cinza		89,7	40	Branco Gelo		39,9	64	Azul Profundo		72,9
9	Concreto		79,1	51	Branco Gelo		37,5	4	Azul		66,8
69	Concreto		75,3	66	Branco Gelo		33,3	49	Azul Bali		49,7
53	Concreto		75,1	38	Bianco Sereno		31,3	37	Azul Angra		35,2
23	Cinza BR		71,2	6	Branco		28,2	77	Verde Musgo		78,7
11	Jade		60,3	65	Branco Neve		27,2	48	Alecrim		68,4
				50	Branco Neve		19,4	32	Verde Quadra		65,2
				39	Branco		18,7	41	Erva Doce		26,4

N°	Nome	Cor	$\alpha_{\text{tot}}$ (%)	N°	Nome	Cor	$\alpha_{\text{tot}}$ (%)	N°	Nome	Cor	$\alpha_{\text{tot}}$ (%)	N°	Nome	Cor	$\alpha_{\text{tot}}$ (%)
16	Tabaco		78,6	10	Flamingo		53,0	19	Amarelo Terra		70,7	44	Marfim		34,6
24	Crepúsculo		71,0	25	Flamingo		52,7	2	Amarelo Terra		65,1	57	Palha		34,2
60	Telha		70,6	3	Areia		52,2	35	Amarelo Terra		61,3	54	Marfim		32,4
31	Terracota		69,1	15	Pêssego		50,5	1	Amarelo Antigo		56,1	46	Pérola		32,0
17	Terracota		65,0	42	Flamingo		49,0	55	Marrocos		55,5	72	Palha		31,8
30	Telha		63,5	47	Pêssego		44,1	18	Amarelo Antigo		55,2	34	Amarelo Canário		31,1
33	Vermelho		62,6	70	Flamingo		43,3	27	Palha		51,3	76	Vanila		31,1
68	Cerâmica		62,5	59	Pêssego		41,1	28	Pérola		45,9	45	Palha		31,0
8	Camurça		61,8	36	Areia		41,1	56	Mel		45,9	58	Pérola		28,8
78	Vermelho Cardinal		61,2	43	Laranja		38,6	13	Palha		45,6	71	Marfim		28,4
52	Camurça		60,7	63	Areia		38,3	26	Marfim		43,4	73	Pérola		28,3
67	Camurça		54,4	74	Pêssego		31,7	12	Marfim		43,0	61	Vanila		28,1
								14	Pérola		41,6	62	Amarelo Canário		26,7

Figura 2.4 - Absortância solar nas diferentes cores

Fonte: Adaptado de Dornelles (2007).

De acordo com Lamberts, Dutra, Pereira (2014), as camadas de um fechamento têm resistências térmicas distintas, onde o inverso da resistência total do fechamento é a sua transmitância térmica ( $U$ ). A transmitância térmica é a variável mais importante para a avaliação do desempenho de fechamentos opacos, através dela é possível avaliar o comportamento de um fechamento opaco frente à transmissão de calor.

$$U=1/R_T \text{ [W/m}^2\text{.k]} \quad (1)$$

Onde:

$U$  é a transmitância térmica; e

$R_T$  é a resistência térmica total.

A capacidade térmica é a propriedade que determina se o material retem mais ou menos calor. Um material com alta capacidade térmica necessita de uma grande quantidade de calor para variar um grau de temperatura de seus componentes por unidade de área. A partir da obtenção do valor de capacidade térmica pode-se avaliar o quanto um determinado material pode contribuir em termos de inércia térmica para um ambiente (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

A capacidade térmica é calculada pela Equação 2. (NBR 15.220-2:2008)

$$C_T = \sum \lambda_i \cdot R_i \cdot c_i \cdot \rho_i = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i \quad (2)$$

Onde:

$C_T$  é a capacidade térmica;

$\lambda_i$  é a condutividade térmica da camada;

$R_i$  é a resistência térmica da camada;

$e_i$  é a espessura da camada;

$c_i$  é o calor específico do material da camada; e

$\rho_i$  é a densidade de massa aparente do material da camada.

## **2.2 Desempenho térmico e eficiência energética em edificações residenciais na zona bioclimática 2**

Na pesquisa de Rotta (2009), a autora avaliou o desempenho térmico em conjuntos habitacionais de quatro a cinco pavimentos na cidade de Santa Maria-RS. Através de um levantamento em vários conjuntos e da análise das características construtivas e arquitetônicas. A capacidade térmica e a ocorrência de ventilação natural nas unidades habitacionais foi o fator determinante para seleção das edificações. Definidas as edificações, foram realizadas medições *in loco* durante um período no verão e um período no inverno.

Os valores de temperaturas externas e internas obtidos pelo monitoramento, relacionadas com as características construtivas dos diferentes edifícios permitiu concluir que a alta capacidade térmica é favorável no desempenho térmico das edificações, aliada a uma ventilação controlada e a uma boa vedação da envoltória (ROTTA, 2009).

A ventilação cruzada não necessariamente melhora as condições térmicas se não for possível controlá-la, especialmente no período de inverno. Durante o verão, com a ventilação, a temperatura interna tende a se igualar a temperatura externa. O bom isolamento da cobertura SE foi tão ou mais importante que orientação solar. Rotta (2009) ainda faz uma análise sobre a NBR 15.220, no qual ela indica que a norma se aplica melhor em regiões quentes e critica a utilização de coberturas leves em locais frios, como a cidade de Santa Maria.

No estudo realizado por Soares (2014), foi definida uma tipologia e esta submetida a avaliação da eficiência energética de quatro unidades habitacionais, que possuíam em torno de 100m<sup>2</sup> a 170m<sup>2</sup>. As edificações unifamiliares eram localizadas na cidade de Santiago-RS, referente à Zona Bioclimática 2, e foram avaliadas pelos dois métodos de etiquetagem do RTQ-R.

Soares (2014) diferenciou as edificações pelo formato das plantas baixas, onde as duas unidades com o formato retangular alongado apresentaram o Nível B e as outras duas, com o formato retangular compacto apresentaram Nível C na eficiência da envoltória. Ela encontrou resultados similares na utilização dos dois métodos, especialmente no quesito do consumo de energia para aquecimento, obtendo Nível A e B. A variável grau-hora de resfriamento variou entre o Nível B e C, e ainda, observou-se que as edificações possuem desconforto no período de verão.

Na avaliação da influência das propriedades térmicas, Soares (2014) considerou o pré-requisito dos fechamentos opacos verticais em uma das residências estudadas para realizar as alterações dos valores de transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância solar. Determinou os valores a serem simulados, e ao todo realizou 18 simulações para a determinação do número de graus-hora de resfriamento e consumo de energia para aquecimento e refrigeração. Ela destacou que com baixa absorvância solar favoreceu para a redução do consumo de energia para refrigeração e a alta absorvância solar contribuiu para a diminuição do consumo de energia para aquecimento.

Curcio (2011) avaliou o desempenho termo-energético de habitações de interesse social construídas pelo PAR, na cidade de Pelotas/RS. A metodologia foi baseada na Norma de Desempenho NBR15575:2008 e a NBR 15220:2005, através de medições de temperatura do ar e umidade relativa em cinco apartamentos, localizados em quatro conjuntos construídos com métodos construtivos diferentes em períodos de verão e inverno. Para a avaliação foram analisados os resultados de temperatura do ar, graus hora, Carta bioclimática e a NBR 15.575.

Curcio (2011) analisou que em relação às normas, as habitações atenderam a maior número de itens da NBR 15.575, do que da NBR 15.220, o que foi observado no empreendimento que apresentou melhor resultado no verão, que estava adequado em relação a posição solar. Com o melhor desempenho no inverno foi a edificação que possuía os valores recomendados pela norma, menor valor de transmitância térmica e maior valor de capacidade térmica.

Kappaun (2012) avaliou e comparou o desempenho térmico de duas edificações multifamiliares executadas em alvenaria estrutural, uma com bloco de concreto e a outra com bloco cerâmico, na Zona Bioclimática 2. Ela definiu os valores das características térmicas dos dois tipos de fechamento opacos, visando a análise térmica, e calculado os valores de transmitância térmica, de capacidade

térmica e do atraso térmico. Foram realizadas as medições in loco nas duas edificações, que apresentam a mesma planta baixa, orientações solares e implantação, porém utilizando os blocos estruturais diferentes.

Analisando os elementos construtivos, as duas edificações exibiram valores térmicos superiores aos estipulados pelas normas, não atingindo aos critérios, apresentando a influência da cobertura e orientação solar tanto no período de inverno quanto no período de verão. Ela conclui, que tanto o bloco de concreto quanto o bloco cerâmico possuem pouca diferenças nos seus comportamentos térmicos, tanto para o período de verão quanto no período de inverno.

### **2.3 NBR 15575 – Desempenho de edificações habitacionais**

O conjunto de normas NBR 15.575:2013 delimita o desempenho das edificações habitacionais, incentivando e balizando o desenvolvimento tecnológico, além de orientar a avaliação da eficiência técnica e econômica das inovações. A NBR 15575 entrou em vigor no ano de 2013, tornando-se obrigatória para as edificações residenciais. Visa atender às exigências e necessidades dos usuários, que se refere aos sistemas de edifícios habitacionais, independentemente dos seus materiais constituintes e dos sistemas construtivos utilizados.

A norma é trabalhada em seis partes, porém, para a avaliação desta dissertação, são importantes três delas:

- NBR 15575-1: Requisitos gerais;
- NBR 15575-4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas;
- NBR 15575-5: Requisitos para o sistema de cobertura.

De acordo com a norma, no quesito de desempenho térmico, a edificação pode ser avaliada conforme três procedimentos, apresentados no fluxograma da Figura 2.5:

- Procedimento 1 – Simplificado (normativo): que consiste na verificação do atendimento aos requisitos e critérios para fachadas e coberturas.
- Procedimento 2 – Simulação (informativo): verificação do atendimento aos

requisitos e critérios indicados, por meio de simulação computacional do desempenho térmico da edificação;

- Procedimento 3 – Medição (informativo): verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos pela ABNT NBR 15575-1, por meio de medições em edificações ou protótipos construídos.

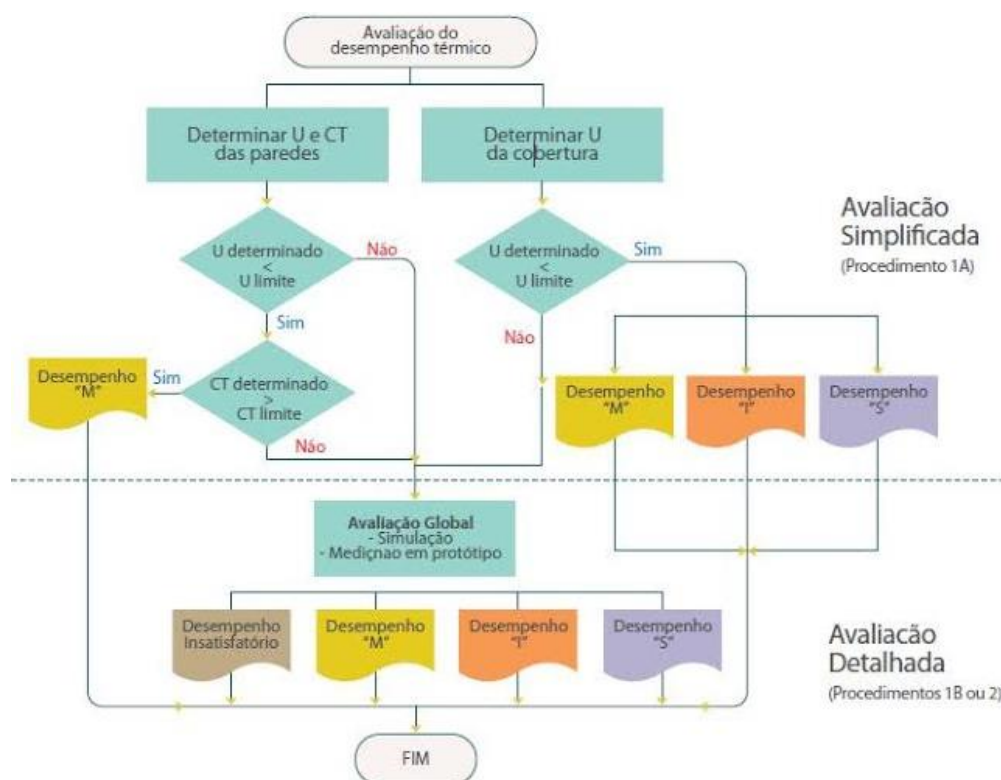


Figura 2.5 - Fluxograma ilustrativo dos procedimentos de avaliação do desempenho térmico da edificação

Fonte: CBIC (2013).

Nos requisitos gerais, a avaliação de desempenho térmico deve considerar a região de implantação da edificação, de acordo com suas características bioclimáticas definidas na ABNT NBR 15220-3 e valendo-se da relação de fachada, cobertura e piso.

Esta avaliação é estabelecida por dois procedimentos gerais: a normativa e a informativa. O normativo é o procedimento simplificado, em que deve ser atendido aos requisitos e critérios de fachadas e coberturas apresentados nas ABNT NBR 15575-4 e NBR 15575-5, para sistemas de vedação e sistemas de cobertura.

Se a edificação não os atingir pelo método simplificado, deverá então ser avaliada por simulação.

Para isso, foram estabelecidos alguns requisitos de avaliação: Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S). Em todos os sistemas devem-se satisfazer as necessidades mínimas (M) exigidas nesses requisitos. Porém, com intuito de melhorar a qualidade das edificações existem os requisitos de avaliação I e S, que estabelecem medidas mais elaboradas.

A seguir serão apresentadas as definições do método simplificado para os sistemas de vedações e cobertura.

### 2.3.1 Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas

Segundo a Norma, o sistema de vedações verticais internas e externas é composto nas edificações pela sua volumetria e pela compartimentação dos espaços internos, ligando-se diretamente com os outros elementos da construção e assim sofrendo reações externas e internas, influenciando no seu desempenho e conforto. As vedações têm função de contraventamento de estruturas e de fechamento (estanqueidade à água, isolamento térmica e acústica, entre outras).

A seguir serão apresentados os critérios que a Norma exige.

#### a) Critério 1 - Transmitância térmica das paredes externas (U)

O valor da transmitância térmica é possível ser comparado com dados da Tabela 2.1, onde o valor mínimo para aceitação na Zona Bioclimática 2 deverá ser menor ou igual a  $2,5\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ .

Tabela 2.1 - Transmitâncias térmicas exigidas nas zonas bioclimáticas brasileiras

Transmitância Térmica $\text{W/m}^2\cdot\text{k}$		
Zona 1 e 2	Zona 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$

$\alpha$  é a absorvância solar à radiação solar da superfície externa da parede.

Fonte: Adaptado da ABNT (2013b).

#### b) Critério 2 - Capacidade térmica de paredes externas ( $C_T$ )

Para a capacidade térmica, segundo a Tabela 2.2, é possível analisar que o valor mínimo de aceitação deverá ser maior ou igual a  $130\text{kJ/m}^2\cdot\text{K}$ , na Zona Bioclimática 2.

Tabela 2.2 - Capacidades térmicas exigidas para paredes externas

Capacidade térmica (CT) W/m <sup>2</sup> .k	
Zona 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 ≥ 130	Zona 8 Sem exigências

Fonte: Adaptado da ABNT (2013b).

### c) Critério 3 – Aberturas para ventilação (A)

De acordo com a CBIC (2013), a sensação de conforto térmico depende muito das condições de ventilação dos ambientes, com grande influência do posicionamento e dimensões das aberturas de janelas. A própria Norma afirma que as aberturas para ventilação devem ser inseridas nas fachadas das edificações com dimensões necessárias para proporcionar a ventilação natural interna dos ambientes, sendo aplicadas somente em ambientes de longa permanência, como salas e dormitórios. É medida pela porcentagem da área do piso. Pela Tabela 2.3 é possível verificar essa porcentagem mínima da área para ventilação.

Tabela 2.3 - Áreas mínimas para ventilação em aberturas

Aberturas para Ventilação		
	Zona 1 a 7	Zona 8
Nível de desempenho	Aberturas médias	Aberturas grandes
Mínimo	A ≥ 7% da área de piso	A ≥ 12% da área do piso Região Norte do Brasil A ≥ 8% da área de piso Região Nordeste e Sudeste do Brasil

Fonte: Adaptado da ABNT (2013b).

Os valores mínimos de aceitação de aberturas para ventilação em ambientes de longa permanência para a Zona Bioclimática 2 é maior ou igual a 7% da área do piso, sendo passível de serem vedadas durante o período de frio.

O método de avaliação é considerado para cada ambiente de longa permanência pela Equação 3 da NBR 15575/2013.

$$A = 100 \cdot (A_A / A_P) \quad (3)$$

Onde:

A é a porcentagem de abertura para ventilação;

A<sub>A</sub> é a área de abertura para ventilação do ambiente, sendo que para o cálculo desta área somente são consideradas as aberturas que permitem a livre circulação do ar,

devendo ser descontadas as áreas de perfis, vidros e de qualquer outro obstáculo. Nesta área não são computadas as áreas de portas; e  $A_P$  é a área do piso do ambiente.

d) Critério 4 – Sombreamento de aberturas

Segundo a NBR15575:2013 o sistema de aberturas dos dormitórios, em qualquer região climática, deve ter dispositivo de sombreamento externo ao vidro, permitindo o controle de sombreamento, ventilação e escurecimento. Tem como a análise de projeto o método de avaliação.

### 2.3.2 Requisitos para o sistema de cobertura

De acordo com NBR 15.575:2013, o sistema de cobertura tem funções extremamente importantes nas edificações, desde a preservação da saúde do usuário até a proteção do corpo da construção, garantindo a durabilidade dos demais elementos. A cobertura é o sistema que mais sofre influência das radiações do sol, atuando diretamente na carga térmica transmitida aos ambientes e, assim, no quesito de conforto dos usuários e no consumo de energia.

O desempenho da cobertura pela transmitância térmica é definido pela Tabela 2.4, onde o valor mínimo de aceitação é menor ou igual a  $2,30\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ , para a Zona Bioclimática 2. O cálculo é realizado de acordo com a Equação 1. Se o valor for menor ou igual do que  $1,5\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ , possuirá o nível intermediário, ou atingindo menor ou igual a  $1,0\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ , terá o nível superior.

Tabela 2.4 - Critérios e nível de desempenho de coberturas quanto à transmitância térmica

Transmitância Térmica $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{k}$	
Zona 1 e 2	Nível de desempenho
$U \leq 2,5$	<i>M</i>
$U \leq 1,5$	<i>I</i>
$U \leq 1,0$	<i>S</i>

Fonte: Adaptado da ABNT (2013c).



### 2.3.3 Avaliação pelo método de simulação

O método de avaliação do desempenho térmico por simulação computacional apresenta uma avaliação global detalhada do desempenho térmico da habitação. Na simulação do desempenho térmico o valor máximo diário da temperatura do ar interior dos ambientes de permanência prolongada no verão deve ser menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior, para atingir o nível de desempenho mínimo para aceitação, conforme a Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

Avaliação período de verão	
Zona 1 a 7	Nível de desempenho
$Ti.max \leq Te.max$	<i>M</i>
$Ti.max \leq (Te.max - 2^{\circ} C)$	<i>I</i>
$Ti.max \leq (Te.max - 4^{\circ} C)$	<i>S</i>

Ti.max é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;  
Te.max é o valor máximo diário da temperatura do ar no exterior da edificação, em graus Celsius;

Fonte: Adaptado da ABNT (2013a).

A simulação do desempenho no inverno deverá apresentar valores mínimos diários da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada maiores ou iguais à temperatura mínima externa acrescida de 3°C, conforme a Tabela 2.6.

Tabela 2.6 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno

Avaliação período de inverno	
Zona 1 a 5	Nível de desempenho
$Ti.min \geq (Te.min + 3^{\circ} C)$	<i>M</i>
$Ti.min \geq (Te.min + 5^{\circ} C)$	<i>I</i>
$Ti.min \geq (Te.min + 7^{\circ} C)$	<i>S</i>

Ti.mín é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;  
Te.mín é o valor mínimo diário da temperatura do ar no exterior da edificação, em graus Celsius

Fonte: Adaptado da ABNT (2013a).

Os resultados da simulação devem ser analisados para um dia típico de verão e de inverno, utilizando os dados climáticos da cidade de Santa Maria.

## 2.4 Eficiência energética em edificações

O conceito de eficiência energética na arquitetura, segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), pode ser entendido como um atributo inerente à edificação

representante do seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários com baixo consumo de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia.

A percepção de que as reservas de petróleo são limitadas e o aumento no valor dos preços de produtos energéticos, a partir da crise nas décadas de 1970 e 1980, possibilitou o desenvolvimento de uma série de ações voltadas a conscientização, conservação e maior eficiência no uso dos seus derivados. A partir de então, iniciou-se uma busca para a diversificação da matriz energética, visando uma segurança maior no atendimento e na demanda de energia exigida (BRASIL, 2011).

Nos Estados Unidos, programas de economia de energia resultaram em expressivo decréscimo da demanda: o consumo das grandes edificações do setor terciário, diminuiu de 140 Kwh/m<sup>2</sup> por mês, em 1974, para 30 Kwh/m<sup>2</sup> por mês, em meados dos anos 1980, gerando redução de 78%. A conservação de energia é resultado da melhora na eficiência do consumo, por meio das tecnologias existentes.

No período de 1973 a 1978, 95% de todos os novos suprimentos de energia na Europa provieram de um consumo mais eficiente. Nos Estados Unidos, os novos suprimentos de energia foram conseguidos por meio de medidas de conservação, sem que houvesse redução dos níveis de atividade econômica. Na França, o *Centre Scientifique et Technique du Batiment* (CSTB) vinha publicando pesquisas na área desde 1958; em 1969, estes resultados foram introduzidos no Código de Edificações e ampliados e detalhados a partir de 1974, através do coeficiente G de perdas de calor. A partir daí esta regulamentação foi cada vez mais rigorosa e resultou na economia de 75% no consumo de energia do país. Atualmente todos os países europeus têm regulamentos energéticos rigorosos e obrigatórios para a entrada na Comunidade Econômica Europeia (SOLANO, 2012).

Nesse processo de busca foi desencadeado um plano de ação global, o qual visava o equilíbrio entre as necessidades econômicas, sociais e os recursos naturais (KLÜSENER, 2011). Sendo a indústria da construção civil responsável por 40% de consumo de energia mundial, a partir da década de 1980 foram cobradas propostas mais eficientes energeticamente para os edifícios. Nessa nova tendência e em busca da construção de um novo enfoque para o desenvolvimento, a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento da Organização das Nações

Unidas (ONU), através do relatório Nosso Futuro Comum, em 1987, criou o conceito de Desenvolvimento Sustentável.

Por meio de soluções arquitetônicas e urbanísticas que se adaptam às condições específicas de clima, incidência luminosa, ventos predominantes, temperatura média e hábitos de consumo de cada lugar, têm-se buscado proporcionar conforto térmico, iluminação natural, e consequentemente, economia com sistemas de refrigeração de ar e de iluminação. O condicionamento de ar pode representar mais de 50% do consumo de energia e a iluminação em torno de 20%. Podem se utilizar algumas intervenções como ajustar a espessura das paredes, pintar de cor adequada às fachadas e usar materiais que sejam isolantes. (MANGER, 2004)

A arquitetura que se insere nesse contexto tem como preceitos fundamentais a modificação do ambiente natural de maneira a produzir o espaço confortável, adequado ao clima local, energeticamente eficiente e com baixo custo de manutenção, causando, necessariamente, baixo impacto ambiental – arquitetura sustentável (MME, 2011).

No ano de 1985, no Brasil, foi criado o PROCEL. Seu objetivo inicial foi a publicação e distribuição de manuais destinados à conservação de energia elétrica entre vários setores sociais, algumas iniciativas em termos de estímulos ao desenvolvimento tecnológico e a adequação de legislação e normas técnicas. Somente em 1990 o PROCEL iniciou projetos de demonstração e cursos técnicos para formar profissionais com competência específica na área. O programa possibilitou uma economia de energia acumulada, entre 1986 e 2008, de 32,9TWh, reduzindo a demanda na ponta em aproximadamente de 9.538MW. Somente essa economia de energia corresponde a investimentos evitados de aproximadamente R\$ 22.8 bilhões (BRASIL, 2011).

No Brasil, o setor residencial corresponde ao maior consumo de energia elétrica. A crise de energia que ocorreu em 2001 teve como resposta imediata a promulgação da Lei de Eficiência Energética (nº 10.295/2001) e o incremento do PROCEL, assim induzindo à criação do PROCEL Edifica. Com o resultado foi possível perceber uma significativa redução do consumo de energia nas edificações, entretanto, os valores economizados nessa época já foram superados, e desde 2005, observa-se um crescimento no consumo de energia elétrica, o qual, ainda tende a crescer nos dias de hoje.

## 2.5 Do PROCEL até o PROCEL Edifica

O programa PROCEL foi desenvolvido em 1985 pelo Ministério de Minas e Energia e da Indústria e Comércio, para promover o uso eficiente da energia elétrica, racionalização da produção e do consumo de energia elétrica, para que se eliminem os desperdícios e se reduzam os custos e os investimentos setoriais (PROCEL, 2014).

Em 1991, segundo o MME (2011), as edificações residenciais, comerciais e os prédios públicos correspondiam como os maiores consumidores de energia, chegando ao consumo de aproximadamente 178TWh. A Lei de Eficiência Energética (Lei nº 10.295/2001) foi promulgada e o programa PROCEL foi transformado em programa do governo, tendo suas abrangências e suas responsabilidades ampliadas. BRASIL (2011) analisa que foi observada uma significativa redução do consumo de energia das edificações, especialmente no setor residencial.

Desde 2007, a energia elétrica consumida vem aumentando, tendência que vem se constatando nos últimos anos. Porém com o programa PROCEL Edifica, estima-se um potencial de redução de consumo de aproximadamente 30% com a implementação de ações de eficiência energética nos sistemas de iluminação, ar condicionado e intervenções arquitetônicas de envoltória no que diz respeito às edificações existentes, e de 50% em edificações novas (MME, 2011).

Essa tendência de crescimento no consumo de energia nas edificações é ainda maior devido à estabilidade da economia, aliada à política de melhor distribuição de renda. Assim, a população vem conseguindo maior acesso aos confortos das novas tecnologias. É calculado que quase 50% da energia elétrica produzida no país sejam consumidas não só na operação e manutenção das edificações, mas também nos sistemas artificiais, o que proporciona conforto ambiental para os seus usuários, como iluminação, climatização e aquecimento de água(MME, 2011).

O programa PROCEL Edifica desenvolve e apoia projetos na área de conservação de energia em edificações residenciais, comerciais, de serviços e públicas. Essas atividades têm como apoio as pesquisas de produção de novas tecnologias, materiais e sistemas construtivos, além de estimular o desenvolvimento de equipamentos eficientes utilizados em edificações (BRASIL, 2011).

O programa promove condições para o uso eficiente da eletricidade nas edificações, reduzindo os desperdícios de energia, de materiais, e os impactos sobre

o meio ambiente.

O Programa PROCEL Edifica é dividido em dois tipos de Regulamento Técnico de Qualidade (RTQ): o RTQ-C, que comporta edifícios comerciais, públicos e de serviços, e o RTQ-R, para edifícios residenciais, sendo este utilizado nesse trabalho.

## **2.6 Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações residenciais – RTQ-R**

De acordo com PROCEL (2013), o Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética para Edificações Residenciais (RTQ-R) apresenta requisitos para: a classificação da eficiência energética de unidades habitacionais autônomas, edificações multifamiliares e áreas de comum uso.

O RTQ-R é composto pelo Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RAC-R) e o Manual de Aplicação do RTQ-R. O RAC-R é o documento que permite ao edifício obter a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE/INMETRO); ele contém o método e o processo de avaliação das características do edifício junto ao laboratório de inspeção acreditado; e é formado por duas etapas de avaliação: o projeto e o edifício construído, onde se obtém a autorização para o uso da etiqueta. O Manual de Aplicação contém o detalhamento e interpretação do RTQ-R e esclarece algumas questões sobre o RAC-R, como glossários, cálculos etc. (SOLANO, 2012); tem como função orientar o leitor na aplicação do RTQ-R para atingir o Nível de Eficiência Energética Residencial desejado.

O regulamento apresenta os procedimentos para alcançar níveis mais elevados de eficiência energética nas edificações, sendo que esses podem ser alcançados com estratégias de projeto e por iniciativas e cooperações dos diversos agentes envolvidos na construção, tendo o usuário como participação decisiva no uso eficiente das edificações. Através dos seus hábitos é possível reduzir de forma significativa o consumo de energia, aumentando assim a eficiência das edificações e reduzindo os desperdícios. Todos os envolvidos na concepção e utilização das edificações e seus sistemas podem contribuir para criar e manter as edificações energeticamente eficientes.

A etiqueta de eficiência não é definitiva, podendo ser requalificada posteriormente, de acordo com atualização de novas tecnologias, criação de hábitos de economia e aprimoramento constante da eficiência energética do uso da edificação.

O RTQ-R é classificado em cinco níveis de eficiência possíveis de serem obtidas (Figura 2.6). O programa não define limite superior para o nível A, para os maiores níveis de eficiência é necessário o comissionamento, o qual, consiste no planejamento e na execução dos projetos, garantindo que os mesmos apresentem, efetivamente, o desempenho esperado, corrigindo os defeitos ou ajustando os equipamentos se necessário até alcançar os objetivos propostos.



Figura 2.6 - Níveis de eficiência da etiquetagem

Fonte: INMETRO (2013).

Para as edificações multifamiliares, que é o caso da edificação estudada, há dois sistemas individuais que compõem o nível de eficiência energética, de acordo com a Zona Bioclimática e a região geográfica em que a edificação se localiza: a envoltória e o sistema de aquecimento de água (INMETRO, 2013).

### 2.6.1 Unidade Habitacional Autônoma – UH

A Unidade Habitacional Autônoma (UH) trata-se de uma moradia com acesso independente. Ela é composta por, no mínimo, banheiro, dormitório, cozinha e sala, sendo possível esses três últimos ambientes serem conjugados (INMETRO, 2013).

#### 2.6.1.1 Pré-requisito geral

O pré-requisito geral é tratado pelo regulamento para obtenção dos níveis de eficiência A ou B; havendo mais de uma unidade habitacional autônoma no mesmo lote é necessário possuir medição individualizada de eletricidade e água (INMETRO, 2013). Os níveis de eficiência e o equivalente numérico correspondente são apresentados na Tabela 2.7, abaixo.

Tabela 2.7 - Equivalente numérico (EqNum) para cada nível de eficiência

Nível de Eficiência	EqNum
A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Fonte: INMETRO (2013).

A classificação do nível da eficiência das UHs é o resultado da distribuição dos pesos através da Equação 5 abaixo, utilizando os coeficientes da Tabela 2.7 de acordo com a região geográfica na qual está situada a edificação.

$$PT_{UH} = ( a \times EqNumEnv ) + [( 1 - a ) \times EqNumAA ] + Bonificações \quad (5)$$

Onde:

$PT_{UH}$  é a pontuação total do nível de eficiência da unidade habitacional autônoma;  $a$  é o coeficiente da região geográfica onde a edificação está localizada, sendo 0,65 para a região sul;

$EqNumEnv$  é o equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória da unidade habitacional autônoma quando ventilada naturalmente;

$EqNumAA$  é o equivalente numérico do sistema de aquecimento de água; e

$Bonificações$  são a pontuação atribuída a iniciativas que aumentem a eficiência da edificação.

Com o resultado obtido na Equação 5, verifica-se na Tabela 2.8 o intervalo de valores da pontuação total da UH e o nível de eficiência equivalente.

Tabela 2.8 - Classificação do nível de eficiência de acordo com a pontuação obtida

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

Fonte: INMETRO (2013).

#### 2.6.1.2 Pré-requisitos da envoltória

Os pré-requisitos da envoltória são avaliados individualmente de acordo com cada ambiente de permanência prolongada, como salas e dormitórios. Este pré-

requisito é referente às características térmicas de absorvência, transmitância térmica e capacidade térmica das superfícies e às características físicas relativas à iluminação e ventilação natural das paredes externas e cobertura dos ambientes. Esses devem atender à Tabela 2.9, apresentando os limites relacionados à Zona Bioclimática 2, referente a este trabalho. Caso o pré-requisito não seja alcançado em algum ambiente, este obterá nível de eficiência no máximo C (EqNum = 3) nos equivalentes numéricos do ambiente para resfriamento e aquecimento (INMETRO, 2013).

Tabela 2.9 - Pré-requisito de absorvência solar, transmitância térmica e capacidade térmica para a Zona Bioclimática 2

Zona Bioclimática	Componente	Absorvência solar (adimensional)	Transmitância térmica (W/m <sup>2</sup> .K)	Capacidade térmica (kJ/m <sup>2</sup> K)
ZB1 e ZB2	Parede	Sem exigência	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	Sem exigência	$U \leq 2,30$	Sem exigência

Fonte: INMETRO (2013).

No pré-requisito de ventilação natural considera-se que os ambientes de permanência prolongada devem possuir o percentual de áreas mínimas de abertura para ventilação de acordo com a Tabela 2.10. Caso não seja atendido este pré-requisito implica em no máximo nível C (EqNum = 3) no equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento (INMETRO, 2013).

Tabela 2.10 - Percentual de áreas mínimas para ventilação em relação à área útil do ambiente

Ambiente	Percentual de abertura para ventilação em relação à área útil do ambiente (A) ZB1 a ZB6
Ambientes de permanência prolongada	$A \geq 8\%$

Fonte: INMETRO (2013).

O percentual de abertura para ventilação (A) é calculada de acordo com a Equação 6.

$$A = 100 \cdot (A_v / Au_{amb.}) \quad (6)$$

Onde:

A é o percentual de abertura para ventilação em relação à área útil do ambiente;

$A_v$  é a área útil de abertura para ventilação (m<sup>2</sup>); e



$Au_{amb}$  é a área útil do ambiente ( $m^2$ ).

O pré-requisito de ventilação controlável é analisado para cada ambiente de permanência prolongada, onde o fechamento da abertura deve ter proteção à chuva e segurança, sendo possível ser por vidro ou veneziana. Caso não seja atendido o ambiente atingirá no máximo o nível B (EqNum = 4) (INMETRO, 2013).

No pré-requisito para as zonas bioclimáticas 2 a 8, a UH deve possuir ventilação cruzada proporcionada por sistema de aberturas externas e internas. O ar deve circular pelas aberturas localizadas em, pelo menos, duas fachadas opostas ou adjacentes conforme as orientações solares da edificação. Caso não possuir ventilação cruzada, a UH atingirá no máximo nível C no equivalente numérico da envoltória para resfriamento (INMETRO, 2013).

As aberturas devem seguir a proporção da Equação 7.

$$A_2 / A_1 > 0,25 \quad (7)$$

Onde:

$A_1$  é o somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas da orientação com maior área de aberturas para ventilação ( $m^2$ ); e

$A_2$  é o somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas das demais orientações ( $m^2$ ).

O pré-requisito de iluminação natural em ambientes de permanência prolongada deve ser garantido por uma ou mais aberturas para o exterior e o somatório das áreas das aberturas em cada ambiente deve ser no mínimo 12,5% de área útil do ambiente. Caso não se aplicar, no máximo atingirá o nível C (EqNum=3) no equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento e aquecimento (INMETRO, 2013).

### 2.6.1.3 Procedimento para determinação da eficiência da envoltória pelo Método Prescritivo

O cálculo do EqNumEnv prevê como a envoltória de um edifício impacta no seu consumo de energia. O interior da edificação é protegido pela envoltória: quanto mais for exposto o seu interior, maiores serão suas trocas térmicas com o meio externo. Portanto, envoltórias com maiores trocas térmicas implicam em elevados ganhos de calor em climas mais quentes ou maiores perdas de calor em climas frios.

No caso desta pesquisa, a Zona Bioclimática 2 em determinadas épocas do ano apresenta as duas situações: clima quente e clima frio.

O desempenho da envoltória da UH é realizado pelo EqNumEnv, estabelecido pelas equações de regressão múltipla para unidades habitacionais autônomas, de acordo com a Zona Bioclimática em que a edificação está localizada. Pelo seu cálculo é possível identificar envoltórias mais eficientes. O método deve ser realizado para envoltórias naturalmente ventiladas, individualmente para cada um dos ambientes de permanência prolongada, e através da ponderação das áreas úteis se obtém a classificação final da unidade autônoma (INMETRO, 2013).

O procedimento para obtenção do equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória a ser utilizado para o cálculo da pontuação geral da UH deve ser referente à eficiência da edificação ventilada naturalmente, que se fundamenta nos cálculos de indicador graus-hora para resfriamento ( $GH_R$ ), consumo relativo para aquecimento ( $C_A$ ) e o equivalente numérico da envoltória para resfriamento ( $EqNumEnAmb_{Resf}$ ) e para aquecimento ( $EqNumEnAmb_A$ ). Mediante a Equação 8 é possível calcular o EqNumEnv da unidade habitacional para a Zona Bioclimática 2.

$$EqNumEnv = 0,44 \times EqNumEnAmb_{Resf} + 0,56 \times EqNumEnAmb_A \quad (8)$$

Onde:

$EqNumEnv$  é o equivalente numérico da envoltória da UH;

$EqNumEnAmb_{Resf}$  é o equivalente numérico da envoltória da UH para resfriamento; e

$EqNumEnAmb_A$  é o equivalente numérico da envoltória da UH para aquecimento.

O Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E) disponibiliza uma planilha que contempla as equações de todas as zonas bioclimáticas para a realização desses cálculos. Inserindo os dados dos ambientes e a zona onde se encontra a edificação, é possível descobrir os valores da  $GH_R$ ,  $C_A$  e o consumo para refrigeração ( $C_R$ ) (INMETRO, 2013). Os valores do indicador graus-hora ( $GH_R$ ) e o nível de eficiência equivalente estão apresentados na Tabela 2.11.

Tabela 2.11 - Equivalentes numéricos da envoltória do ambiente para resfriamento

Nível de Eficiência	EqNumAmb <sub>Resfr</sub>	Condição
A	5	$GH_R \geq 2.310$
B	4	$2.310 < GH_R \leq 4.396$
C	3	$4.396 \leq GH_R \leq 6.481$
D	2	$6.481 \leq GH_R \leq 8.567$
E	1	$GH_R < 8.567$

Fonte: INMETRO (2013).

Os valores do consumo relativo do aquecimento ( $C_A$ ) e o nível de eficiência equivalente estão apresentados na Tabela 2.12.

Tabela 2.12 - Equivalentes numéricos da envoltória do ambiente para aquecimento

Nível de Eficiência	EqNumAmb <sub>Resfr</sub>	Condição
A	5	$C_A \geq 15.591$
B	4	$15.591 < C_A \leq 31.182$
C	3	$31.182 \leq C_A \leq 46.772$
D	2	$46.772 \leq C_A \leq 62.363$
E	1	$C_A < 62.363$

Fonte: INMETRO (2013).

Os valores do consumo para refrigeração ( $C_R$ ) e o nível de eficiência equivalente, estão apresentados na Tabela 2.13, lembrando que ele é calculado somente para dormitórios condicionados artificialmente.

Tabela 2.13 - Equivalentes numéricos da envoltória do ambiente condicionado artificialmente para refrigeração

Nível de Eficiência	EqNumAmb <sub>Resfr</sub>	Condição
A	5	$C_R \geq 5.849$
B	4	$5.849 < C_R \leq 11.288$
C	3	$11.288 \leq C_R \leq 16.727$
D	2	$16.727 \leq C_R \leq 22.166$
E	1	$C_R < 22.166$

Fonte: INMETRO (2013).

Com esses valores é possível descobrir o valor do equivalente numérico da envoltória da UH pela Equação 8 e, posteriormente, esse valor é aplicado na Equação 5, para a obtenção da Pontuação Total do Nível de Eficiência da UH.

#### 2.6.1.4 Pré-requisitos do sistema de aquecimento de água

O sistema de aquecimento de água é uma variável da Equação 5, onde é

avaliado por pré-requisitos relacionados ao sistema instalado pelo empreendedor. Para o sistema atingir a classificação de nível A ou B é necessário comprovar que as instalações hidrossanitárias possuam nas tubulações metálicas, para água quente, um isolamento térmico com espessura mínima de acordo com o diâmetro nominal da tubulação, conforme a Tabela 2.14; e nas tubulações de água não metálicas, a espessura mínima do isolamento deve ser de 1cm para qualquer diâmetro nominal, com condutividade térmica entre 0,032 e 0,040 [W/(m.K)] (INMETRO, 2013).

Tabela 2.14 - Espessura mínima de isolamento de tubulações para aquecimento de água

Temperatura da água (°C)	Condutividade térmica (W/mK)	Diâmetro nominal da tubulação (mm)	
		c < 40	c ≥ 40
T ≥ 38	0,032 a 0,040	1,0 cm	2,5 cm

Fonte: INMETRO (2013).

Os sistemas de aquecimento podem ser de diferentes tipos: aquecimento solar, aquecimento a gás, bombas de calor, caldeiras, aquecimento elétrico de passagem e aquecimento elétrico por acumulação. O Manual do RTQ-R avalia cada sistema de acordo com sua classificação individual.

#### 2.6.1.5 Bonificações

As bonificações são um adicional na pontuação da eficiência das unidades habitacionais, podendo, assim, aumentar até um ponto na classificação geral da UH. Para esse adicional são necessárias as justificativas e as comprovações das mesmas (INMETRO, 2013).

As pontuações máximas podem ser avaliadas na Tabela 2.15, e a Equação 9 apresenta o somatório dessas bonificações obtidas em cada item.

Tabela 2.15 - Pontuações máximas das bonificações

BONIFICAÇÕES		PONTUAÇÃO MÁXIMA
b1	Ventilação Natural	0,4
b2	Iluminação Natural	0,3
b3	Uso racional de água	0,2
b4	Condicionamento artificial de ar	0,2
b5	Iluminação artificial	0,1
b6	Ventilação de teto	0,1
b7	Refrigeradores	0,1
b8	Medição individualizada	0,1

Fonte: Adaptado INMETRO (2013).

$$\text{Bonificações} = b1 + b2 + b3 + b4 + b5 + b6 + b7 + b8 \quad (9)$$

Estas bonificações são referentes a: ventilação natural, iluminação natural, uso racional da água, condicionamento artificial de ar, iluminação artificial, ventiladores de teto instalados, refrigeradores instalados e medição individualizada.

### 2.6.2 Edificação Multifamiliar

A edificação multifamiliar é composta por mais de uma unidade habitacional por lote, podendo ser configurada por um edifício de apartamentos, sobrado ou grupamento de edificações. No manual do RTQ-R não é considerado lote aqueles resultantes de parcelamentos de condomínios particulares; o lote é aquele definido oficial e legalmente pela prefeitura do município. Hotéis e outros meios de hospedagem não são avaliados como edificações residenciais multifamiliares, mas sim como edificações avaliadas pelo RTQ-C (INMETRO, 2013).

Na Figura 2.7 é possível visualizar uma edificação multifamiliar com a classificação de cada uma de suas unidades habitacionais (INMETRO, 2013).

A edificação multifamiliar é avaliada pela ponderação da Pontuação Total de suas UHs pela sua área útil, sendo esta última composta pela soma de todos os ambientes da UH, menos os terraços e varandas (INMETRO, 2013).

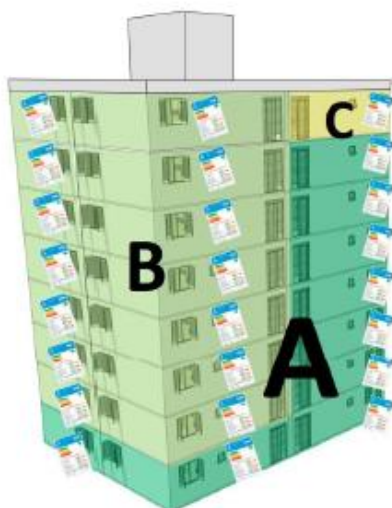


Figura 2.7 - Exemplo de avaliação de edificação multifamiliar

Fonte: INMETRO (2013).

#### 2.6.2.1 Áreas de Uso Comum

As áreas de uso comum são compostas por todas as áreas de uso coletivo por parte dos condôminos, podendo ser de uso frequente ou de uso eventual. Ambientes destinados a áreas de serviços técnicos não cabem em nenhuma dessas definições. A pontuação total das áreas de uso comum é calculada pela Equação 10.

$$PT_{AC} = 0,7 \cdot \{ [( EqNumIllum_F \cdot Pllum_F + EqNumB_F \cdot PB_F ) / ( Pllum_F + PB_F )] + EqNumElev \} / 2 + 0,3 \cdot [( EqNumIllum_E \cdot Pllum_E + EqNumEq_E \cdot PE_E + EqNumAA_E \cdot PAA_E + EqNumS_E \cdot PS ) / ( Pllum_E + PEq_E + PAA_E + PS )] + Bonificações \quad (10)$$

Onde:

$PT_{AC}$  é a pontuação total das áreas comuns;

$EqNumIllum_F$  é o equivalente numérico do sistema de iluminação artificial de uso frequente;

$Pllum_F$  é a potência instalada para iluminação de uso frequente;

$EqNumB_F$  é o equivalente numérico das bombas centrífugas de uso frequente;

$PB_F$  é a potência instalada para bombas centrífugas de uso frequente;

$EqNumElev$  é o equivalente numérico dos elevadores;

$EqNumIllum_E$  é o equivalente numérico do sistema de iluminação artificial de uso eventual;

$Pllum_E$  é a potência instalada para iluminação de uso eventual;

$PEq_E$  é a potência dos equipamentos;

$EqNumAA_E$  é o equivalente numérico de aquecimento de água;

$PAA_E$  é a potência dos sistemas de aquecimento de água;

$PS$  é a potência da sauna; e

*Bonificação* é a pontuação atribuída a iniciativas que aumentam a eficiência da edificação.

#### 2.6.2.2 Áreas comuns de uso frequente

Os ambientes considerados como áreas comuns de uso frequente são: circulações, escadas, antecâmaras, elevadores, corredores, estacionamentos de visitantes, acessos externos ou ambientes de usos similares aos citados. Os ambientes considerados nas áreas de uso comum como de uso eventual são: salão de festas, piscina, brinquedoteca, banheiros coletivos, bicicletário, quadra poliesportiva, sala de cinema, sala de estudo, sala de ginástica, playground, churrasqueira, sauna e demais espaços coletivos destinados a lazer e descanso dos moradores (INMETRO, 2013).

Nos pré-requisitos para obtenção do nível A, todos os motores elétricos trifásicos devem ser de alto rendimento e as garagens sem ventilação natural devem dispor de sistemas de ventilação mecânica com controle de concentração de monóxido de carbono (CO). Motores elétricos trifásicos de indução instalados na edificação devem atender aos rendimentos nominais mínimos previstos na Portaria Interministerial nº 553, de 8 de dezembro de 2005, publicada pelo Inmetro. Caso esse pré-requisito não seja atendido, as áreas comuns de uso frequente recebem nível E. São considerados motores trifásicos: lava jatos portáteis, motor de portão, exaustor, cancelas automáticas, motor de churrasqueira, entre outros (INMETRO, 2013).

##### a) Iluminação artificial

Na classificação da iluminação artificial devem ser respeitados os critérios da Tabela 2.16, de acordo com o nível de eficiência pretendido (INMETRO, 2013).

Tabela 2.16 - Critérios para classificação da iluminação artificial de áreas comuns de uso frequente de acordo com o nível pretendido

Dispositivo	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
Fluorescentes Tubulares	0,032 a 0,040	$75 \leq \eta < 84\text{lm/W}$	$70 \leq \eta < 75\text{lm/W}$	$60 \leq \eta < 70\text{lm/W}$
Reatores para fluorescentes tubulares	Eletrônicos com Selo Procel	-	Fator de potência $\geq 0,95$	Fator de potência $< 0,95$
Fluorescentes compactadas	Selo Procel	ENCE B	ENCE C	ENCE D
LED	$\eta \geq 75\text{lm/W}$	$50 \leq \eta < 75\text{lm/W}$	$30 \leq \eta < 50\text{lm/W}$	$\eta < 30\text{lm/W}$
Lâmpadas de vapor de sódio	Selo Procel	ENCE B	ENCE C	ENCE D
Reatores para lâmpadas de vapor de sódio	Eletromagnéticos com Selo Procel	-	Fator de potência $\geq 0,90$	Fator de potência $< 0,90$
Automação na iluminação intermitente	Sim	-	Não	-

$\eta$  é eficiência luminosa

Fonte: INMETRO (2013).

Lâmpadas incandescentes e halógenas recebem classificação E. Porém, se as lâmpadas incandescentes forem utilizadas nos sistemas de automação para iluminação intermitente, como, por exemplo, em sensores de presença, não recebem o nível E, somente nesses casos é atribuído nível A no uso dessas lâmpadas.

Nos níveis A e B a iluminação artificial de áreas comuns, como jardins, estacionamentos externos e acessos de veículos e pedestres, que não for projetada para funcionar durante o dia todo, deve possuir um programa de controle por horário ou um fotosensor capaz de desligar automaticamente o sistema de iluminação artificial quando houver luz natural suficiente ou quando a iluminação externa não for necessária, exceto quando a iluminação de entrada ou saída de pessoas e veículos que exijam segurança ou vigilância (INMETRO, 2013).

#### b) Bombas centrífugas

As bombas centrífugas instaladas na edificação devem possuir a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), caso não possuam recebem o nível 5. Deve ser adotada a classificação da ENCE, obtida pelas Tabelas do PBE do INMETRO, e identificado o equivalente numérico pela Tabela 2.7 (INMETRO, 2013).

#### c) Elevadores

Os elevadores devem ter eficiência atribuída em função da demanda



específica de energia, a qual é baseada na demanda de energia em *standby* e no tempo de viagem. Na tabela 2.17 é possível definir a categoria de uso do elevador (INMETRO, 2013).

Tabela 2.17 - Categoria de uso dos elevadores de acordo com a VDI 4707

Categoria de uso	1	2	3	4
Intensidade/frequência de uso	muito baixa muito raramente	baixa raramente	média ocasionalmente	alta frequentemente
Tempo médio de viagem (h/dia)	0,2 ( $\leq$ 0,3)	0,5 (de 0,3 a 1)	1,5 (de 1 a 2)	3 (de 2 a 4,5)
Tempo médio em <i>standby</i> (h/dia)	23,8	23,5	22,5	21
Tipo de edificações	Edificações residenciais de até 6 UHs	Edificações residenciais de até 20 UHs	Edificações residenciais de até 50 UHs	Edificações residenciais com mais de 50 UHs

Fonte: INMETRO (2013).

Definida a categoria de uso, deve-se calcular a demanda específica de energia do elevador. Os limites da demanda específica de energia para cada nível de eficiência energética em função da categoria de uso são estabelecidos pela Tabela 2.18 (INMETRO, 2013).

Tabela 2.18 - Limites da demanda específica de energia para cada nível de eficiência energética em função da categoria de uso do elevador

Nível	Demanda específica de energia do elevador (mWh/kg.m) Categoria de uso			
	1	2	3	4
A	$0,56 \text{ mWh(kg.m)} + \frac{50\text{w} \cdot 23,8\text{h} \cdot 1000}{Q_{N.VN} \cdot 0,2\text{h} \cdot 3600}$	$0,56 \text{ mWh(kg.m)} + \frac{50\text{w} \cdot 23,5\text{h} \cdot 1000}{Q_{N.VN} \cdot 0,5\text{h} \cdot 3600}$	$0,56 \text{ mWh(kg.m)} + \frac{50\text{w} \cdot 22,5\text{h} \cdot 1000}{Q_{N.VN} \cdot 1,5\text{h} \cdot 3600}$	$0,56 \text{ mWh(kg.m)} + \frac{50\text{w} \cdot 21,0\text{h} \cdot 1000}{Q_{N.VN} \cdot 3\text{h} \cdot 3600}$
B	$0,84 \text{ mWh(kg.m)} + \frac{100\text{w} \cdot 23,8\text{h} \cdot 1000}{Q_{N.VN} \cdot 0,2\text{h} \cdot 3600}$	$0,84 \text{ mWh(kg.m)} + \frac{100\text{w} \cdot 23,5\text{h} \cdot 1000}{Q_{N.VN} \cdot 0,5\text{h} \cdot 3600}$	$0,84 \text{ mWh(kg.m)} + \frac{100\text{w} \cdot 22,5\text{h} \cdot 1000}{Q_{N.VN} \cdot 1,5\text{h} \cdot 3600}$	$0,84 \text{ mWh(kg.m)} + \frac{100\text{w} \cdot 21,0\text{h} \cdot 1000}{Q_{N.VN} \cdot 3\text{h} \cdot 3600}$
C	$1,26 \text{ mWh(kg.m)} + \frac{200\text{w} \cdot 23,8\text{h} \cdot 1000}{Q_{N.VN} \cdot 0,2\text{h} \cdot 3600}$	$1,26 \text{ mWh(kg.m)} + \frac{200\text{w} \cdot 23,5\text{h} \cdot 1000}{Q_{N.VN} \cdot 0,5\text{h} \cdot 3600}$	$1,26 \text{ mWh(kg.m)} + \frac{200\text{w} \cdot 22,5\text{h} \cdot 1000}{Q_{N.VN} \cdot 1,5\text{h} \cdot 3600}$	$1,26 \text{ mWh(kg.m)} + \frac{200\text{w} \cdot 21,0\text{h} \cdot 1000}{Q_{N.VN} \cdot 3\text{h} \cdot 3600}$
D	$> 2,80 \text{ mWh(kg.m)} + \frac{400\text{w} \cdot 23,8\text{h} \cdot 1000}{Q_{N.VN} \cdot 0,2\text{h} \cdot 3600}$	$> 2,80 \text{ mWh(kg.m)} + \frac{400\text{w} \cdot 23,5\text{h} \cdot 1000}{Q_{N.VN} \cdot 0,5\text{h} \cdot 3600}$	$> 2,80 \text{ mWh(kg.m)} + \frac{400\text{w} \cdot 22,5\text{h} \cdot 1000}{Q_{N.VN} \cdot 1,5\text{h} \cdot 3600}$	$> 2,80 \text{ mWh(kg.m)} + \frac{400\text{w} \cdot 21,0\text{h} \cdot 1000}{Q_{N.VN} \cdot 3\text{h} \cdot 3600}$

Fonte: INMETRO (2013).

### 2.6.2.3 Áreas comuns de uso eventual

Os ambientes considerados nas áreas de uso comuns de uso eventual são salão de festas, piscina, brinquedoteca, banheiros coletivos, bicicletário, quadra poliesportiva, sala de cinema, sala de estudo, sala de ginástica, playground, churrasqueira, sauna e demais espaços coletivos destinados a lazer e descanso dos

moradores (INMETRO, 2013). Se a edificação for entregue sem os equipamentos nas áreas comuns, o empreendedor deverá entregar as especificações mínimas aos futuros moradores (INMETRO, 2013).

a) Iluminação artificial

Para a classificação de iluminação artificial devem ser respeitados os critérios da Tabela 2.16, onde é excluído o critério de automação, pois não é aplicável às áreas comuns de uso eventual (INMETRO, 2013).

b) Equipamentos

Os condicionadores de ar do tipo janela ou *split* devem possuir ENCE ou Selo PROCEL. Condicionadores de ar com Selo PROCEL recebem classificação nível A (INMETRO, 2013).

c) Sistema de aquecimento de água

O sistema de aquecimento de água de chuveiros, torneiras e hidromassagem devem ter sua classificação de acordo com o item 2.4.1.3.

d) Bonificações

As bonificações são iniciativas que aumentam a eficiência energética das áreas de uso comum podendo receber até um ponto na classificação geral. Essas iniciativas devem ser justificadas e comprovadas. Pela Tabela 2.19 é possível analisar as pontuações máximas dessas bonificações.

Tabela 2.19 - Pontuações máximas das bonificações

BONIFICAÇÕES		PONTUAÇÃO MÁXIMA
b1	Uso racional da água	0,6
b2	Iluminação Natural em áreas de uso frequente	0,2
b3	Ventilação Natural em áreas de uso frequente	0,2

Fonte: Adaptada INMETRO (2013).

A bonificação do uso racional da água pode ser obtida pela combinação de sistemas e equipamentos que racionalizem a água, como, por exemplo: torneira com arejadores, chuveiros com reguladores de pressão, sanitários com duplo

acionamento, mictórios com sensores, reuso de águas cinzas e aproveitamento de água pluvial para descarga de bacias sanitárias, irrigação de jardins, uso em torneiras externas e limpeza de áreas externas e fachadas. É necessária a comprovação da economia mínima de 40% de consumo anual de água. As economias menores de 40% recebem pontuação proporcional à economia gerada (INMETRO, 2013).

Para obter 0,10 ponto na bonificação da iluminação natural em áreas comuns de uso frequente, as garagens internas e mais 75% dos ambientes internos devem apresentar esquadrias com área de, no mínimo, 1/10 da área do piso do ambiente, e para obter mais 0,10 ponto esses ambientes devem ter uma refletância do teto acima de 60%.

A bonificação de ventilação natural em áreas comuns de uso frequente na garagem e mais de 75% dos ambientes internos deverão possuir ventilação mínima de 1/12 da área do piso do ambiente voltadas para o exterior (INMETRO, 2013).

#### 2.6.2.4 Procedimento para determinação da eficiência da envoltória pelo Método de Simulação

O método de simulação da envoltória da edificação é realizado por meio de simulação computacional, sendo necessária a modelagem da edificação sob avaliação e realizar simulações para duas condições: uma para quando a edificação for ventilada naturalmente e outra quando condicionada artificialmente. Na avaliação da edificação por simulação devem ser atendidos os pré-requisitos estabelecidos ao programa e ao arquivo climático, necessário para garantir que os resultados sejam coerentes (INMETRO, 2013).

O programa de simulação deve possuir características mínimas como:

- Análise do consumo de energia em edifícios;
- Verificado de acordo com os testes propostos pela ASHRAE Standard 140 – 2004;
- Simular 8.760 horas por ano, modelar variações horárias de ocupação, potência de iluminação e equipamentos, rede de ventilação natural e sistemas de condicionamento artificial, definidos separadamente para cada dia da semana e feriados;
- Simular efeitos de inércia térmica;

- Simular efeitos de multi-zonas térmicas;
- Simular estratégias bioclimáticas adotadas no projeto;
- Determinar capacidade solicitada pelo sistema de condicionamento de ar;
- Produzir relatórios horários das trocas de ar e das infiltrações; e
- Produzir relatórios horários do uso final de energia.

O arquivo climático deve possuir as seguintes características:

- Fornecer valores horários para todos os parâmetros relevantes requeridos pelo programa de simulação, tais como temperatura e umidade, direção e velocidade do vento e radiação solar;
  - Os dados climáticos devem ser representativos da Zona Bioclimática onde o projeto sob avaliação está locado.
- Devem ser utilizados arquivos climáticos disponibilizados pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) ou os arquivos climáticos publicados no site do PROCEL INFO (PROCEL), em formatos tais como TRY e TMY (INMETRO, 2013).

A modelagem da envoltória da edificação deve, para cada UH, considerar cada ambiente que deverá ser modelado como uma única zona térmica, com as características geométricas, propriedades térmicas dos elementos construtivos e orientação conforme o projeto sob avaliação. Os ambientes comuns das edificações multifamiliares, tais como circulação vertical, corredores, hall de entrada e similares, podem ser modelados agrupados em uma única zona térmica, desde que a modelagem não interfira na ventilação natural, e as garagens que tiverem contato com UHs devem ser simuladas como zona térmica.

A avaliação compara os indicadores de graus-hora de resfriamento ( $GH_R$ ) dos ambientes de permanência prolongada da UH com os níveis de eficiência das tabelas do arquivo climático utilizado na simulação. Os indicadores de graus-hora dos ambientes de permanência prolongada do projeto devem ser iguais ou menores que os níveis de eficiência das tabelas (INMETRO, 2013).

A temperatura base para o cálculo dos graus-hora de resfriamento é de 26°C, calculando-se o indicador de  $GH_R$  para a temperatura operativa horária para cada ambiente de permanência prolongada. O  $GH_R$  é calculado pela Equação 11.

$$GH_R = \text{Somatório } (T_O - 26^\circ\text{C}) \quad (11)$$

Onde:

$GH_R$  é o indicador de graus-hora para resfriamento; e

$T_O$  é a temperatura operativa horária ( $^\circ\text{C}$ ).

No manual do RTQ-R ainda é especificado a modelagem do sistema de ventilação natural, do padrão de ocupação, do padrão de uso da iluminação, a carga interna de equipamentos e a temperatura do solo dos modelos nos procedimentos para simulação da edificação ventilada naturalmente.

No procedimento para simulação da edificação condicionada artificialmente, deve ser calculado o consumo relativo de energia para refrigeração dos dormitórios e o consumo relativo para aquecimento de todos ambientes de permanência prolongada da UH. Esses consumos são calculados no período das 21h até às 8h, sendo a edificação considerada naturalmente ventilada no período restante.

Na modelagem do sistema de condicionamento de ar da UH é necessário considerar:

- Sistema de condicionamento de ar instalado nos ambientes de permanência prolongada das UHs, excluindo dormitórios de serviços. Para a sala deve-se utilizar o mesmo padrão adotado nos dormitórios;
- Temperatura do termostato de refrigeração de  $24^\circ\text{C}$  para todas zonas bioclimáticas;
- Temperatura do termostato de aquecimento de  $22^\circ\text{C}$ , somente para zonas bioclimáticas de 1 a 4;
- Condicionamento artificial no período das 21h às 8h;
- Edificação ventilada naturalmente no período das 9h às 20h;
- Modo operação de ventilador contínuo;
- Eficiência do ventilador de 0,7 e eficiência do motor;
- Capacidade do sistema de condicionamento de ar dos ambientes dimensionados automaticamente pelo programa de simulação, de forma que atenda à exigência do limite de horas não atendidas (INMETRO, 2013).

## 2.7 Alvenaria Estrutural

As construções em alvenaria estrutural existem há milhares de anos, quando eram executados com blocos de pedra ou blocos cerâmicos intertravados. A sua forma garantia rigidez e estabilidade estrutural. Essas obras existem até hoje em excelente estado de conservação, o que comprova o potencial, a qualidade e a durabilidade desse processo construtivo. Durante os anos houve uma evolução em ensaios, materiais, normas e técnicas construtivas sobre o comportamento global das construções em alvenaria estrutural (MOHAMAD, 2015).

A alvenaria estrutural possui diversas vantagens, sendo a econômica uma das principais, em relação à otimização de tarefas na obra, por meio de técnicas executivas simplificadas e facilidade de controle nas etapas de produção e eliminação de interferências, gerando uma redução de desperdício de materiais produzidos pelo constante retrabalho. Além disso, o sistema construtivo conseguiu proporcionar uma flexibilidade no planejamento de execução das obras (WENDLER, 2015).

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo que possui como unidade básica modular o bloco. Juntamente com a argamassa, eles se concretizam formando as paredes, que são responsáveis por absorver todas as cargas verticais e horizontais atuantes. O projeto e a execução de uma edificação em alvenaria estrutural devem passar por diferentes etapas: estudo preliminar, adaptação da concepção ao limite da modulação, escolha do tipo de unidade, tipo de laje, posicionamento das instalações, do telhado e das paredes, especificações dos acabamentos, esquadrias, controle dos materiais e dos componentes estruturais e a definição do projeto executivo compatibilizado. A falta de projeto e de detalhamentos pode comprometer o sistema e gerar problemas globais na construção (MOHAMAD, 2015).

### 2.7.1 Projeto arquitetônico em alvenaria estrutural

Na alvenaria estrutural a parede é empregada para fins de transmissão de esforços e a limitante fundamental para o lançamento estrutural é a definição das paredes estruturais e as tipologias de lajes, o qual depende, basicamente, do vão que a laje empregada consegue vencer. Os principais fatores condicionantes do

projeto são o arranjo arquitetônico, a coordenação dimensional, a otimização do funcionamento estrutural da alvenaria e a racionalização do projeto e da produção. Um projeto em alvenaria estrutural impõe restrições específicas aos projetistas, conforme avalia MOHAMAD (2015):

- A limitação no número de pavimentos que é possível alcançar devido ao efeito dos limites das resistências dos materiais disponíveis;
- O arranjo espacial das paredes e a necessidade de amarração entre os elementos estruturais;
- A relação de comprimento e a altura dos painéis de paredes estruturais;
- As limitações quanto à existência de transição para as estruturas em pilotis no térreo ou no subsolo;
- A impossibilidade de remoção posterior das paredes estruturais;
- O uso de balanços, principalmente em sacadas que provocam torção; e
- A necessidade das passagens das instalações sob pressão em espaços previamente pensados, sem rasgos dos elementos estruturais.

No projeto arquitetônico, a forma da edificação é condicionada por sua função, determinando a distribuição das paredes, sobretudo as estruturais. Quanto mais robusta for uma edificação, maior será sua capacidade de resistir a esforços horizontais, principalmente a ação do vento, a qual introduz indesejáveis esforços de tração na alvenaria, podendo, assim, ser neutralizada (MOHAMAD, 2015).

Baseado em Drysdale (1999), é recomendado que algumas relações dimensionais sejam consideradas na elaboração do projeto arquitetônico, indicando alguns parâmetros ideais e toleráveis, que visam o aumento da sua rigidez. A forma geral e a planta da edificação são influenciadas pela geometria, pela orientação e pelas dimensões do terreno (Figura 2.8).

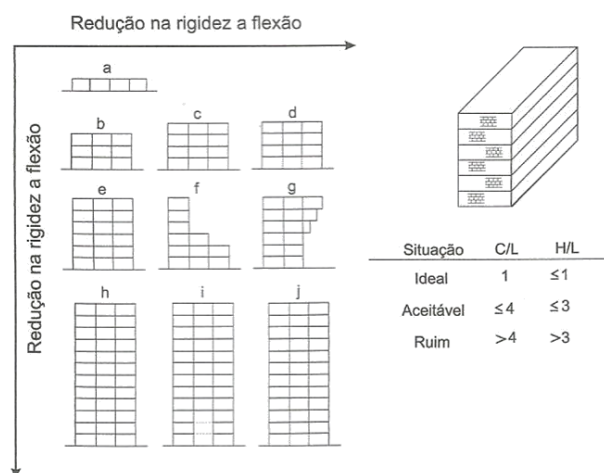


Figura 2.8 - Efeitos da forma e altura na rigidez do prédio, comprimento (C), altura (H) e largura (L)

Fonte: DRYSDALE (1999); adaptado DUARTE (1999).

Em relação ao arranjo das paredes estruturais, quanto mais simétrico for o projeto, mais eficaz será o lançamento estrutural. Nas edificações muito assimétricas pode acontecer uma concentração de carga, gerando uma torção; nesse caso é necessária a utilização de materiais com resistências diferentes para as paredes de mesmo pavimento. Baseado em Duarte (1999), além da simetria é importante que as paredes estruturais devam ser distribuídas em ambas as direções da edificação, para garantir a sua estabilidade em relação às cargas horizontais. Os arranjos podem ser variados de acordo com a distribuição das amarrações estruturais; nas Figuras 2.9 e 2.10 é possível analisar as diferentes categorias de arranjos.

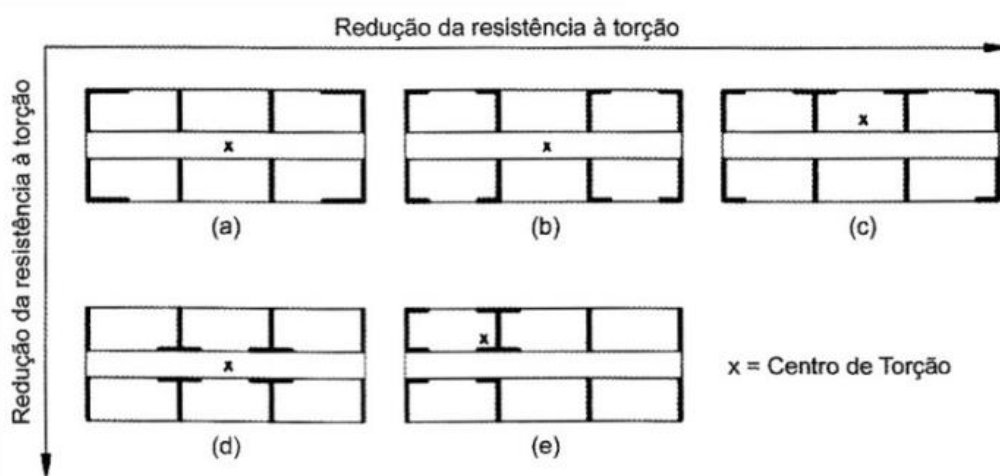


Figura 2.9 - Diferentes arranjos

Fonte: DRYSDALE (1999).



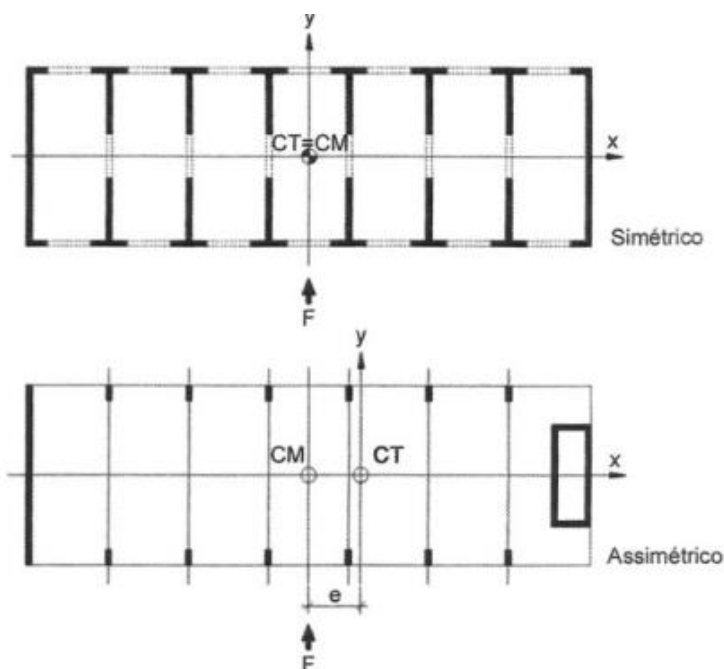


Figura 2.10 - Diferentes tipos de arranjos

Fonte: DUARTE (1999).

Sendo o bloco o elemento fundamental para a composição da alvenaria estrutural, as propriedades térmicas da mesma influenciam no desempenho térmico do fechamento.

O bloco de concreto, material de estudo deste trabalho, possui versatilidade por ser confeccionado em diversas geometrias e resistências à compressão. Sua composição é obtida pela mistura e a cura do cimento Portland, agregados (miúdo e graúdo) e água. Na Figura 2.11 está representada a família 39, referente aos blocos utilizados na edificação estudada.



Figura 2.11 - Diferentes blocos de concreto da Família 39

Fonte: Intaura (2014).

Um grupo de blocos de concreto é denominado como família de blocos, onde cada família corresponde a uma dimensão modular.

## 2.8 Design Builder 2.0

No desenvolvimento das simulações da pesquisa foi utilizado o programa computacional *DesignBuilder 2.0*, que é uma ferramenta para simulação do desempenho térmico e energético de edificações. Ele utiliza a base dos algoritmos do *EnergyPlus* e corrige suas limitações gráficas no processo de modelagem. Foi desenvolvido no Reino Unido pela empresa *Design Builder Software Ltda*.

O *software* permite analisar decisões projetuais de novas edificações e simulações de edificações existentes para *retrofit*. São geradas as seguintes informações:

- Cálculo do consumo de energia;
- Cálculo do desempenho térmico;
- Cálculo de ventilação;
- Predição de temperatura do ar e temperatura radiante média.

No projeto desenvolvido serão utilizados os dados do cálculo do desempenho térmico baseado na NBR 15575/2013. O programa permite importar arquivos bidimensionais e tridimensionais ou a modelagem pode ser realizada no próprio programa. O *software* fornece relatórios com esses resultados específicos, como temperaturas internas e consumo de energia (VENÂNCIO, 2009).

### 3 METODOLOGIA

A pesquisa foi dividida em quatro níveis, sendo eles:

- Definição do objeto de estudo;
- Procedimento da avaliação do desempenho térmico: simplificado e simulação;
- Procedimento da avaliação da eficiência energética: prescritivo e simulação;
- Avaliação da influência dos diferentes valores de transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância solar do fechamento opaco sobre o desempenho térmico.

#### 3.1 Definição do objeto de estudo

Esta etapa é fundamental para a definição da edificação multifamiliar a ser analisada, possuindo as características necessárias para o desenvolvimento do estudo sobre as alvenarias estruturais em bloco de concreto e com implantação na Zona Bioclimática 2, na cidade de Santa Maria/RS. Na escolha do objeto de estudo foi elaborado um levantamento de edificações construídas na cidade em alvenaria estrutural com blocos de concreto, com dados baseados em informações recebidas por empresário proprietário de uma empresa fornecedora de blocos de concreto da cidade; por quatro engenheiros civis, responsáveis por construtoras ativas no município e um levantamento na Prefeitura Municipal de Santa Maria.

No desenvolvimento do RTQ-R, no Relatório Técnico da Base de Simulações para o RTQ-R, Sorgato (2011) utilizou como modelo base uma edificação residencial multifamiliar que possuía sete pavimentos, sendo quatro apartamentos por pavimento. Cada apartamento possuía uma área construída de 72,60m<sup>2</sup>, constituído por uma sala de estar, dois dormitórios, cozinha, área de serviço e banheiro. O levantamento das edificações em alvenaria estrutural se baseou neste modelo de Sorgato, procurando-se uma tipologia que possuísse as características, de possuir até quatro apartamentos por pavimento, ter até dois dormitórios por apartamento e possuir uma metragem próxima. Além que o pavimento tipo da edificação também deveria possuir uma distribuição simétrica, pois segundo Mohamad (2015) a utilização das formas simétricas reduzem os esforços torcionais indesejáveis na alvenaria estrutural, portanto a edificação necessita ser o mais simétrica possível.

### 3.2 Avaliação do desempenho térmico – método simplificado

O método simplificado do desempenho térmico foi realizado de acordo com as especificações na NBR 15575/2013, para a Zona Bioclimática 2. Primeiramente foi estipulado que todos os apartamentos do segundo, quinto e sétimo pavimentos, seriam analisados, por estarem em posições extremas e de maiores influências externas (segundo pavimento e cobertura) e um pavimento intermediário (quinto pavimento), que não sofre significativa influência externa.

A partir do objeto de estudo foram coletados os dados projetuais da edificação e deles foram analisados os requisitos da norma, de acordo com ao item 2.2.1:

- Transmitância térmica e capacidade térmica das paredes externas;
- Transmitância térmica dos sistemas de cobertura;
- Aberturas para ventilação;
- Sombreamento das aberturas.

A transmitância térmica (U) é obtida por meio dos valores das resistências térmicas dos diferentes materiais que compõe o total da vedação, sendo calculada de acordo com a Equação 01, e a classificação do seu desempenho é estipulada pela Tabela 2.1. A capacidade térmica da parede externa é calculada a partir dos valores da condutividade térmica, resistência térmica, espessura, calor específico do material e da densidade de massa aparente do material de cada camada do fechamento, calculada através da Equação 02 e o resultado do desempenho é definido pela Tabela 2.1 e Tabela 2.2.

As aberturas para ventilação variam de acordo com a relação da área de abertura para ventilação e a área do piso do ambiente, e é calculada pela Equação 03, sendo o resultado do desempenho estipulado pela Tabela 2.3. O sombreamento das aberturas é analisado na edificação, considerando em verificar se existe sistema de abertura nos dormitórios que permita o controle de sombreamento, ventilação e escurecimento.

A transmitância térmica dos sistemas de cobertura também é calculada pela Equação 01, também em função dos materiais que compõe a cobertura, e o valor do seu desempenho é definida pela Tabela 2.4.

### 3.3 Avaliação do desempenho térmico – método de simulação

Para o procedimento de avaliação por simulação do desempenho térmico, referente a NBR 15575-2013, foi utilizado o software *DesignBuilder*. Foram simulados todos os recintos da unidade habitacional posicionada no último andar da edificação com a cobertura exposta, e levando em consideração as variáveis do projeto. Foi escolhido o pavimento da cobertura (sétimo pavimento) para a simulação, por ele ser o último pavimento e assim sofrendo influência externa através da cobertura.

A simulação foi realizada durante um período de inverno e um período de verão, e os resultados considerados foram obtidos em um dia típico no inverno e em um dia típico no verão, conforme os dados climáticos da cidade de Santa Maria/RS. Os dados gerados pelo programa foram de temperaturas internas e externas, sendo analisados os resultados de acordo com o item 2.2.2.

#### 3.3.1 Modelagem da edificação

Na modelagem da edificação pelo *software DesignBuilder* foram inseridos os dados geométricos, materiais, elementos construtivos, taxa de ocupação, iluminação e ventilação do edifício, juntamente com sua posição solar e dados climáticos da cidade de Santa Maria/RS. A Figura 3.1 apresenta o modelo da edificação definida no programa.

O último pavimento da edificação foi modelado e simulado, considerado o piso desse pavimento como adiabático, por possuir mais pavimentos abaixo dele. Além dessas informações, foram inseridos os dados das atividades metabólicas de acordo com os ambientes de permanência prolongada e, também dados relacionados com o comportamento do edifício e de seus ocupantes, como: o arquivo climático e padrão de iluminação.

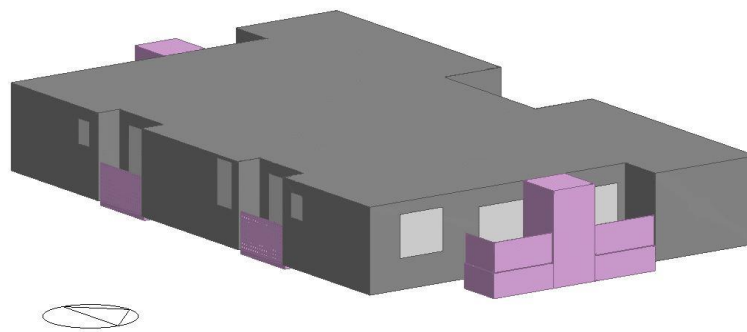


Figura 3.1 - Modelagem do objeto de estudo no *software DesignBuilder*.

Fonte: Programa *DesignBuilder* (2014).

Considerou-se na atividade metabólica dos ambientes de permanência prolongada o fator de 0,90 no dormitório e 0,45 na sala de estar.

Utilizou-se o mesmo modelo da edificação para análise de simulação do desempenho térmico e da eficiência térmica, porém com as propriedades do *software* diferentes.

### 3.3.2 Arquivo climático

Na simulação pelo programa foram utilizados os dados de localização geográfica da cidade de Santa Maria/RS, referentes à latitude de -29,68 e da longitude de -53,80 e do arquivo climático da cidade. O arquivo climático utilizado é o *Test Reference Year* (TRY), o qual consiste em um ano climático de referencia com dados climáticos horários, apresentados em um formato padronizado, conforme formato básico para a simulação do desempenho térmico das edificações. O arquivo conta com informações climáticas para 8.760 horas do ano (FLORES, 2014).

### 3.3.3 Padrão de Ocupação

As *schedules* do padrão de ocupação somente são utilizadas na simulação para o período de inverno. O padrão de ocupação utilizado foi o mesmo usado na simulação para o RTQ-R.

Segundo INMETRO (2012) o padrão de ocupação é definido como duas pessoas por dormitório, onde a sala é um ambiente utilizado por todos os usuários. O padrão de ocupação é diferente durante a semana e o final de semana, e para os ambientes de permanência prolongada. É possível analisar pela Tabela 3.1 o

porcentual da ocupação durante os dias de semana e no final de semana, nos ambientes de dormitórios e de salas de estar.

Tabela 3.1 - Padrão de ocupação para dias de semana e final de semana do RTQ-R e norma de desempenho

HORÁRIO	DORMITÓRIO		ESTAR	
	DIAS DE SEMANA	FINAL DE SEMANA	DIA DE SEMANA	FINAL DE SEMANA
1h-7h	100%	100%	0	0
8h-9h	0	100%	0	0
10h	0	50%	0	0
11h	0	0	0	25%
12h	0	0	0	75%
13h	0	0	0	0
14h	0	0	25%	75%
15h-17h	0	0	25%	50%
18h	0	0	25%	25%
19h	0	0	100%	25%
20h	0	0	100%	50%
21h	0	50%	50%	50%
22h-24h	0	100%	0	0

Fonte: Adaptado INMETRO (2012).

### 3.3.4 Padrão de Iluminação

As *schedules* correspondentes ao padrão de iluminação dos ambientes de permanência prolongada e de acordo com o dia da semana são distintas. O padrão de iluminação é o mesmo utilizado para a simulação do RTQ-R, conforme a Tabela 3.2.

O padrão de uso da iluminação utilizado se distingue em dois padrões, um para os dias da semana e outro para os finais de semana. Conforme a tabela é possível visualizar os valores utilizados nos ambientes de permanência prolongada, os dormitórios e a sala. Os valores de 100% representam os horários de iluminação e os valores de 0% representam quando a iluminação está desligada (INMETRO, 2012).

Tabela 3.2 - Padrão de uso iluminação

HORÁRIO	DORMITÓRIO		ESTAR	
	DIAS DE SEMANA	FINAL DE SEMANA	DIA DE SEMANA	FINAL DE SEMANA
1h-6h	0	0	0	0
7h	100%	0	0	0
8h	0	0	0	0
9h	0	100%	0	0
10h	0	0	0	0
11h-12h	0	0	0	100%
13h-16h	0	0	0	0
17h-20h	0	0	100%	100%
21h	100%	100%	100%	100%
22h	100%	100%	0	0
23h-24h	0	0	0	0

Fonte: Adaptado INMETRO (2012).

### 3.3.5 Dia típico

O dia típico foi definido de acordo com Flores (2014) pela metodologia de Sattle. Segundo a autora, esse método compreende um conjunto de condições climáticas representativas de um local, adquirindo a probabilidade de ocorrência. Os dias típicos de inverno e os dias típicos de verão se dão em três níveis de probabilidade de ocorrência (2,5%, 5% e 10%). O dia típico é representado pelos dados horários de temperatura de bulbo seco e de bulbo úmido (ou umidade relativa), radiação solar, direção e velocidade do vento. Nos dias típicos de inverno os diferentes níveis apresentam as temperaturas durante 24 horas, destacando a temperatura mínima do dia. Nos dias típicos de verão, os níveis apresentam também as temperaturas durante 24 horas (FLORES, 2014).

Estipulou-se o nível de 2,5% para a avaliação dos resultados da simulação, pois esse nível apresenta uma variação menor de probabilidade de ocorrência de dias mais críticos. De acordo com Flores (2014, pg.92) o dia típico de inverno no nível de 2,5% tem como características a temperatura mínima de 4,2°C às 7horas da manhã. Porém, nos resultados da simulação, não se encontrou o dia e a temperatura estabelecida por Gomes, então se analisou os dias que tivessem as mesmas características de temperatura e radiação nos determinados horários. Assim utilizou-se na simulação na temperatura de 3°C às 9horas, referente ao dia 30 de setembro de 2002.



Na simulação do desempenho térmico de verão, por Flores (2014, pg. 95), o dia típico de verão com nível de 2,5% tem a temperatura máxima de 33,2°C às 16 horas. O dia semelhante à Flores foi com a temperatura de 30,6°C às 15 horas no dia 20 de fevereiro de 2002.

### **3.4 Avaliação da eficiência energética – método prescritivo**

A avaliação pelo método prescritivo da eficiência energética será realizada de acordo com o Manual para Aplicação do RTQ-R, conforme o item 2.6. Primeiramente será feita a avaliação da unidade habitacional. Foram coletadas as informações projetuais da edificação e deles serão analisados os pré-requisitos da envoltória:

- Transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância solar das superfícies;
- Ventilação natural;
- Iluminação natural;
- Ventilação cruzada.

Para os cálculos foram utilizados os dados da Zona Bioclimática 2, considerando a classificação das Zonas Bioclimáticas da NBR 15220. A planilha se divide em cinco análises:

- Análise da envoltória e dos pré-requisitos dos ambientes;
- Análise dos pré-requisitos da envoltória e equivalente numérico da envoltória;
- Análise das bonificações;
- Análise do aquecimento de água;
- Análise da pontuação total da unidade habitacional.

Com a análise da envoltória e dos pré-requisitos dos ambientes é determinado o grau-hora para resfriamento, consumo de energia para aquecimento e o consumo para refrigeração de cada ambiente de permanência prolongada para a Zona Bioclimática 2. Posteriormente, com esses valores e a área útil de cada ambiente é possível calcular o resultado dos equivalentes numéricos das envoltórias para resfriamento e para aquecimento.

Na análise dos pré-requisitos da envoltória e o equivalente numérico da envoltória é determinado o valor de pontuação dos pré-requisitos gerais da UH da

envoltória para verão e envoltória para inverno. Na análise das bonificações são inseridos os dados das bonificações por ventilação natural, iluminação natural, dentre outras (vistas a seguir), resultando a pontuação total de bonificação.

Para a análise do sistema de aquecimento de água adotado na edificação será inserido os dados nos itens da planilha e as especificações do manual. Por fim, após serem inseridos os dados necessários para essas avaliações, a planilha gera o resultado da pontuação final da unidade habitacional. Após a definição dos resultados da pontuação final de todas as UHs, é realizada a pontuação total da edificação, pela ponderação das áreas das UHs com o valor de suas classificações. Para finalizar, é efetuada a classificação da pontuação das áreas de uso comum, através dos materiais e equipamentos instalados, cálculos e métodos do Manual do RTQ-R.

### 3.5 Avaliação da eficiência energética – método de simulação

Para o procedimento de avaliação por simulação do RTQ-R utilizou-se também a plataforma do *DesignBuilder*, além do mesmo modelo usado para o desempenho térmico, porém com definições e *schedules* distintas.

Simulam-se duas situações: a edificação ventilada naturalmente e a edificação ventilada artificialmente. Portanto, neste item são apresentados critérios utilizados para obtenção do  $GH_R$  da simulação ventilada naturalmente e, posteriormente, para a obtenção do  $C_A$  na simulação ventilada artificialmente. De acordo com os valores obtidos para as variáveis, chega-se à classificação do nível de eficiência energética da edificação, por meio das Tabelas 3.3, 3.4 e 3.5.

Tabela 3.3 - Equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento na Zona Bioclimática 2

Eficiência	EqNumEnvAmb <sub>Resfr</sub>	Condição
A	5	$GH_R \leq 2.310$
B	4	$2.310 < GH_R \leq 4.396$
C	3	$4.396 < GH_R \leq 6.481$
D	2	$6.481 < GH_R \leq 8.567$
E	1	$GH_R > 8.567$

Fonte: Adaptado do INMETRO (2012).

Tabela 3.4 - Equivalente numérico da envoltória do ambiente para aquecimento na Zona Bioclimática 2

Eficiência	EqNumEnvAmb <sub>Resfr</sub>	Condição
A	5	$C_A \leq 15.591$
B	4	$15.591 < C_A \leq 31.182$
C	3	$31.182 < C_A \leq 46.772$
D	2	$46.772 < C_A \leq 62.363$
E	1	$C_A > 62.363$

Fonte: Adaptado do INMETRO (2012).

Tabela 3.5 - Equivalente numérico da envoltória do ambiente condicionado artificialmente para refrigeração na Zona Bioclimática 2

Eficiência	EqNumEnvAmb <sub>Resfr</sub>	Condição
A	5	$C_R \leq 5.849$
B	4	$5.849 < C_R \leq 11.288$
C	3	$11.288 < C_R \leq 16.727$
D	2	$16.727 < C_R \leq 22.166$
E	1	$C_R > 22.166$

Fonte: Adaptado do INMETRO (2012).

### 3.5.1 Simulação da edificação ventilada naturalmente

Segundo INMETRO (2013), as definições necessárias para considerar na modelagem da edificação ventilada naturalmente são o coeficiente de rugosidade, o coeficiente de pressão superficial, o coeficiente de descarga para janelas e portas e o coeficiente de fluxo de ar por frestas. O coeficiente de rugosidade é estipulado pela ASHRAE *Handbook of Fundamentals* (2009), e conforme o RTQ-R é adotado o valor de 0,33. Conforme o INMETRO (2013), o coeficiente de pressão superficial pode ser estimado através de experimentos em túnel de vento, banco de dados de medições em túnel de vento ou calculados pelas equações de Swani e Chandra (1988) e Akins *et al.* (1979), que estimam os coeficientes de pressão médios das superfícies de edificações baixas e altas respectivamente. O programa *Design Builder* possui uma base de dados com o coeficiente de pressão.

O coeficiente de descarga para janelas e portas retangulares é de 0,60. Já o coeficiente de fluxo de ar por frestas para janelas e portas retangulares é de 0,001 kg/s.m, e o expoente do fluxo de ar é de 0,65 (INMETRO, 2012).

- Padrão de uso da ventilação natural

O padrão de uso da ventilação natural, segundo INMETRO (2012), pode ser realizado através da estratégia de controle automático ou por controle da ventilação por períodos determinados de acordo com os horários. No caso desta pesquisa foi utilizado o padrão de uso da ventilação natural com controle automático por temperatura. Isso significa que quando a temperatura do ar interno é igual ou superior à temperatura do termostato, e quando a temperatura do ar interno é superior a temperatura externa as janelas estão habilitadas para abertura entre as 8 horas até as 20 horas. Utilizou-se a temperatura de *setpoint* de 20°C.

- Operação das venezianas

Na edificação somente as janelas dos dormitórios possuem venezianas para sombreamento. Na operação das venezianas se estipulou a rotina de abertura e fechamento do usuário.

Segundo Soares (2012), associou-se o fechamento das venezianas durante a noite e também a rotina de abertura do usuário para a entrada da radiação solar no interior da edificação. Estipularam-se as aberturas das venezianas das 8 horas às 20 horas em 100% nos meses de abril a setembro, e 20% das 8 horas às 20 horas nos meses de outubro a março.

- Atividade

Para as atividades desempenhadas em cada ambiente deve ser adotada a taxa metabólica para cada atividade, conforme apresentado na Tabela 3.6. As taxas metabólicas são baseadas na *ASHRAE Handbook of Fundamentals* (2009), que considera uma área de pele média de 1,80m<sup>2</sup> (INMETRO, 2012).

Tabela 3.6 - Taxas metabólicas para cada atividade

AMBIENTE	ATIVIDADE REALIZADA	CALOR PRODUZIDO	CALOR PRODUZIDO PARA ÁREA DE PELE = 1,80M <sup>2</sup>
Sala	Sentando ou assistindo tv	60 W/m <sup>2</sup>	108
Dormitório	Dormitório ou descansando	45 W/m <sup>2</sup>	81

Fonte: Adaptado INMETRO (2012).

- Padrão de uso da iluminação

O padrão de ocupação usado foi o mesmo utilizado para a simulação do desempenho térmico.

- Padrão de Ocupação

O padrão de ocupação usado foi o mesmo utilizado para a simulação do desempenho térmico.

- Cargas internas de equipamento

As cargas internas foram inseridas para a sala, no período e na potência das cargas representadas na Tabela 3.7 (INMETRO, 2012).

Tabela 3.7 - Cargas internas de equipamentos

AMBIENTE	PERÍODO	POTÊNCIA
Estar	24h	1,5 W/m <sup>2</sup>

Fonte: Adaptado INMETRO (2012).

- Temperatura do solo

Para a temperatura do solo utilizou-se o programa *Slab*, que é uma plataforma auxiliar do *EnergyPlus* para a realização de cálculo da temperatura média mensal do solo. Segundo Soares (2014) a temperatura média mensal do solo se baseia nos valores médios de temperaturas internas e externas da edificação para o clima que será simulado. Conforme a Tabela 3.9, podemos verificar os valores da temperatura do solo da edificação.

Tabela 3.8 - Temperatura do solo da edificação

MÊS	TEMPERATURA DO SOLO	MÊS	TEMPERATURA DO SOLO
Janeiro	28,01°C	Julho	20,62°C
Fevereiro	28,27°C	Agosto	21,55°C
Março	27,11°C	Setembro	21,26°C
Abril	24,57°C	Outubro	22,91°C
Maiο	21,60°C	Novembro	25,06°C
Junho	20,82°C	Dezembro	27,95°C

### 3.5.2 Simulação da edificação ventilada artificialmente

De acordo com INMETRO (2012) o consumo relativo de energia para refrigeração dos dormitórios e o consumo relativo para aquecimento de todos ambientes de permanência prolongada da UH são calculados no período das 21 horas às 8 horas, sendo que no restante do tempo deve-se considerar a edificação naturalmente ventilada. A temperatura do termostato utilizada para refrigeração é de 24°C e de aquecimento é de 22°C. Deve-se considerar:

- Taxa de fluxo por pessoa de 0,00944m<sup>3</sup>/s;
- Modo de operação de ventilador contínuo;
- Eficiência do ventilador de 0,7 e a eficiência do motor de 0,9;
- Razão entre o calor retirado do ambiente e a energia consumida pelo equipamento de 3,0W/W;
- Razão entre o valor fornecido ao ambiente e a energia consumida pelo equipamento de 2,75W/W;
- Número máximo de horas não atendidas do sistema de condicionamento de ar de 10%.

Para o RTQ-R foram realizadas duas simulações por pavimento, do segundo, quinto e sétimo pavimento, nas situações de naturalmente ventilada e artificialmente ventilada, nas configurações descritas anteriormente, resultando no total de seis simulações.

### **3.6 Avaliação da influência dos diferentes valores de transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância do fechamento opaco sobre o desempenho térmico**

Nesta fase foram desenvolvidas simulações na edificação estudada com valores diferentes de transmitância térmica, capacidade térmica e de absorvância dos fechamentos verticais opacos. Os resultados das simulações são comparados com as exigências da Norma de Desempenho, NBR 15575:2013, e analisados comparativamente para ter-se uma visão mais clara da influência de cada variável sobre o desempenho térmico do edifício multifamiliar.

Estabeleceram-se três composições base de variáveis para vedação vertical, sendo uma a situação estudada real e as outras duas com formatações diferentes:

bloco de concreto com preenchimento de graute e bloco de concreto com isolante térmico na área interna. Essas composições são situações reais que podem ser executadas. As características de fechamentos verticais opacos são apresentadas na Figura 3.2.

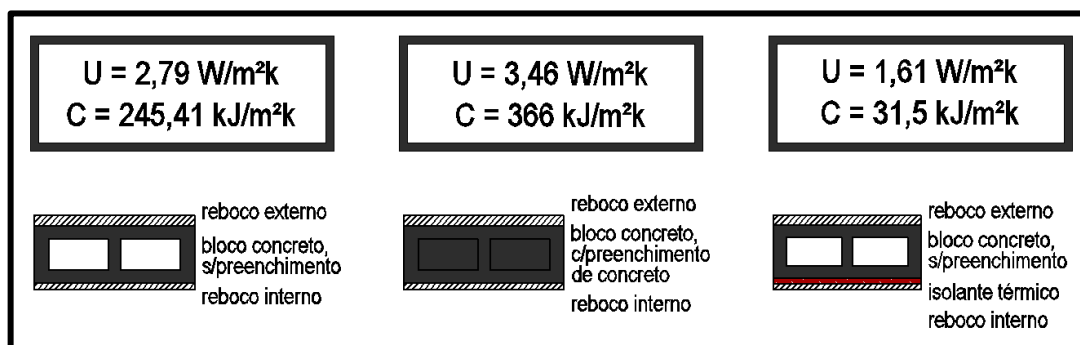


Figura 3.2 – Diferentes composições de fechamentos verticais opacos analisados

Essas composições foram simuladas com os valores de absorvância de  $\alpha = 0,2$ ,  $\alpha = 0,45$  e  $\alpha = 0,8$ , para período de inverno e período de verão, totalizando em 18 simulações.

Para uma melhor compreensão do comportamento das variáveis térmicas, foram realizadas mais 36 simulações, com variações entre esses valores reais, conforme a Figura 3.3, que apresenta o esquema utilizado nas simulações.

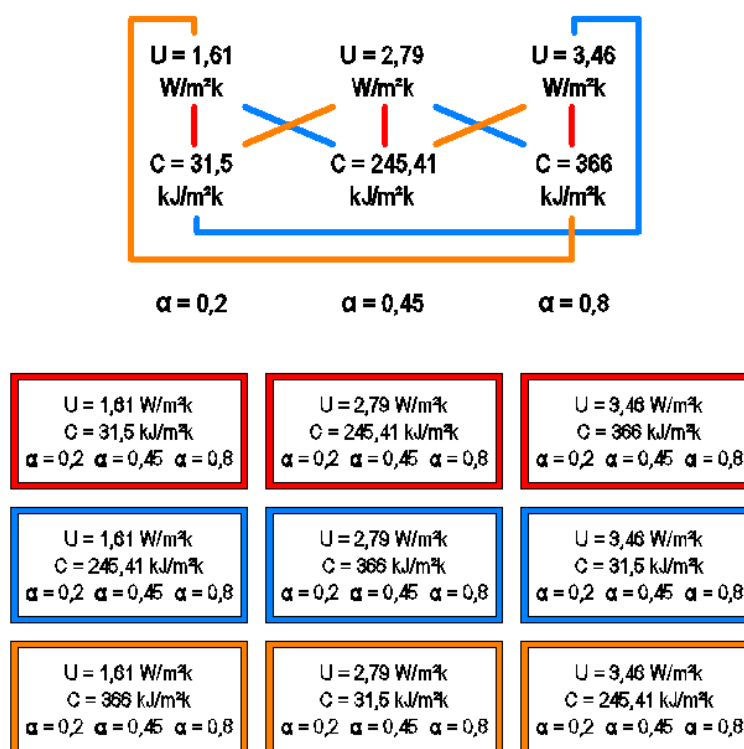


Figura 3.3 - Esquema da composição das 54 simulações dos fechamentos opacos considerados no objeto de estudo

Portanto, foram realizadas no total 54 simulações do objeto de estudo, com nove situações para os valores de transmitância e capacidade térmica, simuladas com as três variáveis de absorptância, para os períodos de inverno e verão. Com base nos resultados obtidos foram avaliadas as temperaturas internas para os dias típicos de verão e de inverno, definindo o desempenho térmico conforme a NBR 15.575:2013 e analisando a influência dessas variáveis sobre as temperaturas internas dos ambientes.



## 4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentadas as informações referentes aos resultados obtidos neste trabalho. Primeiramente, apresenta a edificação habitacional escolhida para as avaliações. Posteriormente é analisado o desempenho térmico, a eficiência energética e avaliados os diferentes valores das variáveis de térmica.

### 4.1 Objeto de estudo

As edificações analisadas no levantamento realizado são residenciais possuindo de quatro ou mais pavimentos, executadas em alvenaria estrutural com bloco de concreto na cidade de Santa Maria. As informações foram obtidas por engenheiros civis de diversas construtoras locais e na busca de dados e projetos na Prefeitura Municipal de Santa Maria.

No Apêndice 01 é possível verificar a listagem completa com os dados das edificações, com informações referentes ao ano de conclusão de obra, o nº de pavimentos, a quantidade de apartamentos por pavimento, e o seu caráter, como por exemplo o edifício apresentado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Exemplo de edificação executada em alvenaria estrutural com bloco de concreto na cidade de Santa Maria

CONDOMÍNIO RESIDENCIAL DO PARQUE			
2014	6 pavimentos (01 torre)	4 apartamentos (com 02 de 01 dorm. e 02 de 02 dorm.)	Médio

Para a definição da tipologia a ser estudada foi definido que a edificação deveria ser em alvenaria estrutural, executada com blocos de concreto, possuir um caráter de médio padrão, possuir quatro apartamentos por andar e ser simétrico. Com base nestes requisitos e na análise nos conjuntos das edificações, foi definido como o objeto de estudo, a tipologia do Residencial do Parque, edificação de médio padrão, possuindo quatro apartamentos por pavimento, sendo dois apartamentos de um dormitório e os outros dois de dois dormitórios, e comparando com as outras edificações possui um alto nível de simetria em relação ao seu eixo longitudinal.

Foi buscada uma edificação voltada para a classe média, pois analisando a bibliografia foi possível verificar que existem poucos estudos que abordam o desempenho térmico e eficiência energética em edificações habitacionais de médio e alto padrão. Este fato pode ser considerado uma carência, já que são tipologias comuns no mercado local e, pelo fato de serem de um padrão mais elevado, deveriam ter o projeto e composições construtivas mais preocupadas com o desempenho térmico e eficiência energética.

A habitação multifamiliar estudada é denominada como Residencial do Parque e está situado na Rua Ciudad Treinta y Tres, esquina com a Rua João Batista da Cruz Jobim, bairro Nonoai, conforme a Figura 4.1. A edificação foi entregue em outubro de 2014.



Figura 4.1 - Mapa de localização do Residencial do Parque

Fonte: Adaptado Google Maps (2014)

A edificação possui oito pavimentos, sendo um subsolo com garagens, um térreo com *hall* de acesso, garagens e salão de festas e seis pavimentos tipo com quatro apartamentos por pavimento, possuindo dois apartamentos de um dormitório

e dois apartamentos de dois dormitórios, conforme a Figura 4.2 e 4.3. No anexo 01 estão apresentadas as plantas baixas dos pavimentos e o corte da edificação.



Figura 4.2 – Fachadas sul-leste e oeste-sul do Residencial do Parque

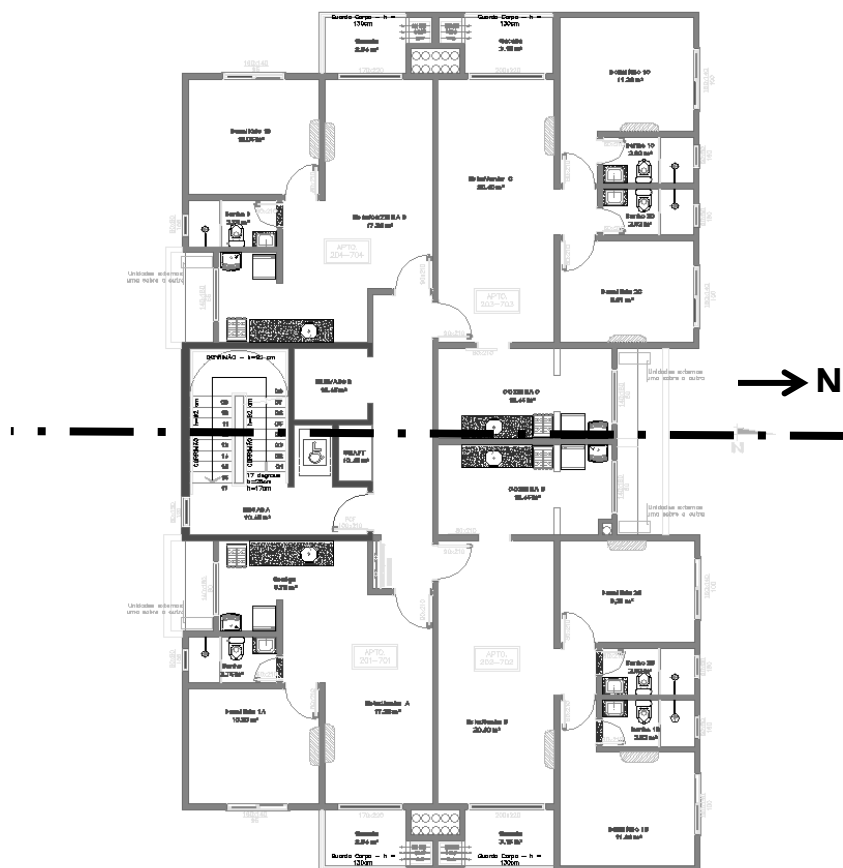


Figura 4.3 - Planta baixa pavimento tipo do Residencial do Parque

O edifício possui área total de 2.730,48 m<sup>2</sup> com os apartamentos de um dormitório possuindo 73,63m<sup>2</sup> de área total e 112,23m<sup>2</sup> os de dois dormitórios.

Os apartamentos possuem acabamentos como: o piso em porcelanato 60x60cm nas áreas sociais, piso laminado nos dormitórios, os banheiros também têm piso porcelanato, azulejo não-retificado e detalhe em pastilha (Figura 4.4), rebaixo de gesso em todo apartamento, espera para aquecimento a gás no banheiro e cozinha (Figura 4.4) e espera para ar condicionado tipo split na sala de estar e dormitórios (Figura 4.5).



Figura 4.4 - Acabamentos dos banheiros do Residencial do Parque, espera para água quente no banheiro e saída para aquecimento a gás na área de serviço



Figura 4.5 - Laje técnica reservado para as unidades externas dos splits e cobogós com função estética e de “esconder” unidades externas

Os medidores de gás e de luz são individuais. As redes de esgoto e águas pluvias foram executadas, visando reduzir os ruídos decorrentes desses sistemas, as tubulações de água fria foram executadas em PVC e as tubulações de água quente foram executadas em PVC específicas para as mesmas. As esquadrias são de alumínio e preparadas para a utilização de vidros duplos, bastando substituir os baguetes para serem instalados. As portas internas são semi ocas e o rodapé utilizado é de madeira, conforme a Figura 4.6.



Figura 4.6 – Sala de Estar do apartamento de dois dormitórios do Residencial do Parque.

A estrutura é mista, sendo o subsolo e térreo executados em estrutura convencional de concreto armado e o restante dos pavimentos em alvenaria estrutural com bloco de concreto. Utilizou-se 2,5cm de reboco externo e 1,5cm de reboco interno. A cobertura foi executada com platibanda e laje impermeabilizada, com isolante térmico, na Figura 4.7 é possível ver as diferentes camadas da impermeabilização.

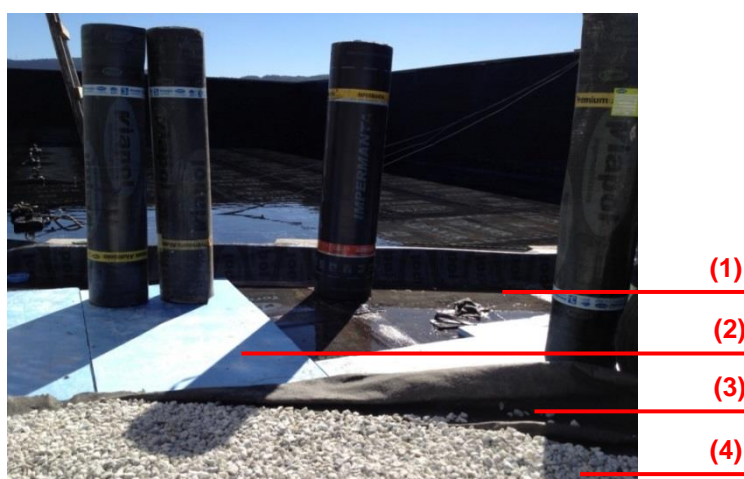
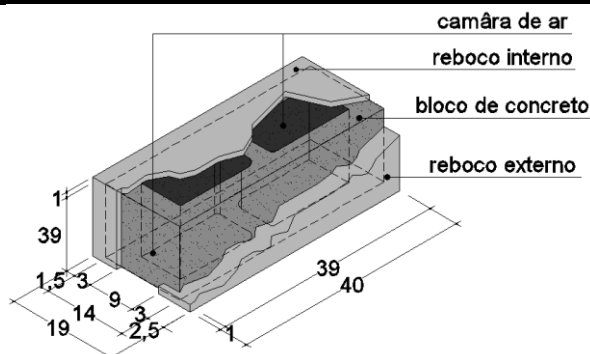


Figura 4.7 – Composição da cobertura impermeabilizada da edificação residencial, apresentando: manta asfáltica (1), painel XPS extrudado (2), manta geotêtil (3) e brita (4)

Na Tabela 4.2, podemos visualizar os materiais utilizados na execução da alvenaria e cobertura, sua composição e espessuras respectivas.

Tabela 4.2 - Materiais e espessuras da vedação vertical e cobertura do objeto de estudo

**MATERIAIS E ESPESSURA DA VEDAÇÃO VERTICAL E COBERTURA DO OBJETO DE ESTUDO**



SISTEMA	DESCRIÇÃO	ESPESSURA
<b>VEDAÇÃO VERTICAL</b>	Alvenaria	e = 18 cm
	Bloco de concreto - Família 39	e = 14 cm
	Reboco externo	e = 2,5 cm
	Reboco interno	e = 1,5 cm
<b>COBERTURA</b>	Laje Impermeabilizada	e = 19,6 cm
	Laje	e = 10 cm
	Primer	e = 0,2 cm
	Manta asfáltica poliéster	e = 0,4 cm
	Painel XPS extrudado (isolamento térmico)	e = 2,5 cm
	Manta geotêxtil	e = 1,5 cm
	Colchão de brita branca	e = 5 cm

A edificação foi pintada com tinta acrílica da marca Sherwin Williams, nas cores Terracota, Pérola e Concreto. Segundo Dornelles (2007, p. 97), a absorvância das paredes externas estão representadas na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Valores de absorvância de acordo com Dornelles

	DESCRIÇÃO	ABSORVÂNCIA
<b>ACABAMENTOS EXTERNOS</b>	Terracota (térreo e o volume da escada e da caixa d'água)	$\alpha = 0,691$
	Pérola (volume com os apartamentos)	$\alpha = 0,45$
	Concreto (elementos vazados na área de serviços - cobogós)	$\alpha = 0,751$

Fonte: Autora adaptado por Dorneles (2007).

Essas definições da edificação são fundamentais para os próximos procedimentos, da avaliação do desempenho térmico e da eficiência energética.

## 4.2 Avaliação do Desempenho térmico

Neste item serão apresentados os resultados da avaliação do desempenho térmico de acordo com a NBR 15575/2013, pelo método simplificado considerando as vedações verticais e de cobertura, pelo método prescritivo e a análise comparativa dos resultados.

### 4.2.1 Desempenho térmico - método simplificado

No sistema de vedações verticais internas e externas, segundo a NBR15.575-4 (ABNT, 2013b, p.2), a transmitância térmica das paredes externas para a zona 2 deve ser menor ou igual a  $2,5\text{W}/\text{m}^2\text{K}$  e a capacidade térmica deve ser maior que  $130\text{kJ}/\text{m}^2\text{K}$ . A Tabela 4.4 apresenta as propriedades térmicas dos materiais utilizados no sistema de vedação vertical e cobertura.

Tabela 4.4 - Materiais de vedação vertical e cobertura e suas propriedades térmicas

SISTEMA	DESCRIÇÃO	ESPESS.	PROPRIEDADES TÉRMICAS DE MATERIAIS		
			DENSIDADE DE MASSA APARENTE $\rho$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	CONDUTIVIDADE DE TÉRMICA $\lambda$ ( $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ )	CALOR ESPECÍFICO $c$ ( $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ )
VEDAÇÃO VERTICAL	Bloco de concreto - Família 39	14,0 cm	240	1,75	1,0
	Reboco externo	2,5 cm	1.800	1,15	1,0
	Reboco interno	1,5 cm	1.800	1,15	1,0
COBERTURA	Laje	10,0 cm	2.200	1,75	1,0
	Primer	0,2 cm	1.000	0,17	1,46
	Manta asfáltica poliéster (membrana betuminosa)	0,4 cm	1.000	0,23	1,46
	Painel XPS extrudado (isolamento térmico)	2,5 cm	38	0,035	1,42
	Colchão de brita branca	5,0 cm	1.000	0,70	0,80

Fonte: Autora adaptado NBR 15.220-2, 2014.

As paredes externas da edificação têm espessura de 19 cm, compostas por reboco interno, bloco de concreto e reboco externo (Tabela 4.4). Através dos cálculos estipulados pela NBR 15.220-2, o valor da transmitância térmica desse fechamento é de 2,79 W/(m<sup>2</sup>K), da absorvância é 0,45 e o valor da capacidade térmica é de 245,41 kJ/m<sup>2</sup>K. Verifica-se que o valor da transmitância térmica está acima do valor máximo estipulado pela norma, porém o valor da capacidade térmica atinge os critérios mínimos exigidos, conforme na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Valores do desempenho térmico para vedações

Sistema	Descrição	Valores norma	Valores reais	Pré-requisito
Vedação vertical	Transmitância Térmica	$U \leq 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 2,79 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	Não atende
	Capacidade Térmica	$C \geq 130 \text{ kJ/m}^2\text{K}$	$C = 245,41 \text{ kJ/m}^2\text{K}$	Atende
	Absortância	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha = 0,459$	

Para o requisito de aberturas para ventilação, a NBR15.575-4:2013 apresenta os valores mínimos de aceitação em ambientes de longa permanência para Zona 2 é maior ou igual à 7% da área do piso, sendo passível de serem vedadas durante o período de frio. De acordo com a Tabela 4.6 é possível analisar que as aberturas estão em conformidade com a norma, sendo todas maiores que 7%.

Tabela 4.6 - Aberturas para ventilação em ambientes de permanência prolongada

Ambiente/ área	Tipo	Característica	Áreas	$A = 100 \cdot (Aa/Ap)$ $A > 7\%$
Dormitório 1A (apto com 1 dormitório) $A_p = 10,05\text{m}^2$	J01	160x140 / 95cm Janela com duas folhas de correr com veneziana	Ajanela = 2,24m <sup>2</sup> Ailum. = 1,84m <sup>2</sup> Aabertura = 1,03m <sup>2</sup>	A = 10,25%
Dormitório 2B (apto com 2 dormitórios) $A_p = 8,97\text{m}^2$	J01	160x140 / 95cm Janela com duas folhas de correr com veneziana	Ajanela = 2,24m <sup>2</sup> Ailum. = 1,84m <sup>2</sup> Aabertura = 1,03m <sup>2</sup>	A = 11,48%
Suíte 1B (apto com 2 dormitórios) $A_p = 11,28\text{m}^2$	J01	160x140 / 95cm Janela com duas folhas de correr com veneziana	Ajanela = 2,24m <sup>2</sup> Ailum. = 1,84m <sup>2</sup> Aabertura = 1,03m <sup>2</sup>	A = 9,13%
Sala de Estar A (apto com 1 dormitório) $A_p = 17,48\text{m}^2$	J05	170x220 Porta com duas folhas de correr	Ajanela = 3,74m <sup>2</sup> Ailum. = 3,20m <sup>2</sup> Aabertura = 1,74m <sup>2</sup>	A = 9,95%
Sala de Estar B (apto com 2 dormitórios) $A_p = 21,71\text{m}^2$	J04	200x220 Porta com duas folhas de correr	Ajanela = 4,40m <sup>2</sup> Ailum. = 3,82m <sup>2</sup> Aabertura = 1,84m <sup>2</sup>	A = 8,47%



No critério de sombreamento a NBR15.575-4 (ABNT, 2013b, p.22) diz que o sistema de aberturas dos dormitórios, em qualquer região climática, deve ter dispositivo de sombreamento externo ao vidro, permitindo o controle de insolação, ventilação e escurecimento. As janelas dos dormitórios atendem a exigência da norma, pois são compostas com o sistema de venezianas de alumínio, passíveis de serem vedadas.

Considerando a cobertura da edificação, a NBR 15.575-5 (ABNT, 2013b, P.22), o valor mínimo de aceitação para transmitância térmica é menor ou igual as 2,30 W/m<sup>2</sup>K para a Zona Bioclimática 2. A cobertura da edificação é executada por laje impermeabilizada, sendo composta pela laje, primer, manta asfáltica poliéster, painel XPS extrudado (isolante térmico) e um colchão de brita branca, tendo uma espessura total de 18,1cm.

Através do cálculo pela NBR 15.220-2:2005, o valor da transmitância térmica da cobertura é de 1,1471 W/m<sup>2</sup>K. Na Tabela 4.7 apresenta os valores da transmitância térmica com seu nível de classificação, sendo possível a verificação que a cobertura da edificação atingiu o nível intermediário.

Tabela 4.7 - Valores do desempenho térmico para cobertura

Sistema	Descrição	Valores da NBR15575-5:2013	Valor real	Pré-requisito
Cobertura	Transmitância Térmica	$U \leq 2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ (M) $U \leq 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ (I) $U \leq 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ (S)	$U = 1,1471 \text{ W/m}^2\text{K}$ (I)	Atende

Fonte: Adaptado pela autora, 2014.

#### 4.2.2 Desempenho térmico - método de simulação

Neste item será apresentada a avaliação do desempenho térmico por simulação, sendo que apenas o último pavimento foi simulado, para as duas condições: período de inverno e período de verão.

A Tabela 4.8 apresenta os resultados do desempenho térmico dos ambientes de permanência prolongada de cada apartamento no dia típico de inverno. É possível analisar que o ambiente que tem a maior diferença de temperatura interna com o externo foi a Estar do apartamento 703, com 16,43°C, e o ambiente que sofreu a

menor variação de temperatura foi Dormitório do apartamento 704, com 12,34°C. Analisando a planta do pavimento tipo, percebe-se que o apartamento 703 está voltado à posição solar noroeste, sendo que a fachada onde o Estar está posicionado é oeste. E o apartamento 704 está posicionando a sudoeste, sendo a fachada com abertura no Dormitório voltado à posição solar oeste, e a parede opaca voltada à posição sul, ocorrendo trocas térmicas por duas fachadas, com maiores ganhos para oeste e perdas para sul, o que equilibra mais as temperaturas internas.

Tabela 4.8 - Desempenho térmico no inverno por simulação

<b>INVERNO – Dia 30/07– 9:00</b>						
UH	AMBIENTE DE PERMANÊNCIA PROLONGADA	POSIÇÃO SOLAR	TEMP. EXTERNA MÍNIMA	TEMP. INTERNA MÍNIMA	$T_{IM} \geq T_{EM} + 3/5/7$	DESEMPENHO
701	Estar – Cozinha A	O - S	3,0°C	16,02°C	13,02°C	S
	Dormitório A	O - S		15,46°C	12,46°C	
702	Estar B	O	3,0°C	17,27°C	14,27°C	S
	Suíte B	N - O		16,74°C	13,74°C	
	Dormitório B	N		17,62°C	14,62°C	
703	Estar C	L	3,0°C	19,43°C	16,43°C	S
	Suíte C	N - L		16,74°C	13,74°C	
	Dormitório C	N		17,63°C	14,63°C	
704	Estar – Cozinha D	L - S	3,0°C	16,05°C	13,05°C	S
	Dormitório D	L - S		15,34°C	12,34°C	

Ainda, é possível analisar, que na simulação de inverno, todos os ambientes dos apartamentos do pavimento tipo tiveram o seu desempenho superior, possuindo as diferenças de temperatura interna e externa superiores a 12°C. A norma classifica que os ambientes com a diferença de temperatura maior ou igual a 7°C atinjam o nível de desempenho superior. Nota-se, também, que existe uma diferença de 5°C a mais do que exigido em norma.

Pela Tabela 4.9 é possível verificar os resultados do desempenho térmico no dia típico de verão. Analisando a tabela, o ambiente que sofreu a menor variação de temperatura foi o estar do apartamento 703 e o ambiente que sofreu a maior variação temperatura foi à suíte, também do apartamento 703. O apartamento 703

se posiciona a noroeste, onde o Estar voltado a oeste e a Suíte está com sua parede opaca voltada a oeste e com abertura ao norte, com duas fachadas com grandes ganhos solares.

Tabela 4.9 - Desempenho térmico no verão por simulação

<b>VERÃO – Dia 20/02 – 15:00</b>						
UH	AMBIENTE DE PERMANÊNCIA PROLONGADA	POSIÇÃO SOLAR	TEMP. EXTERNA MÁXIMA	TEMP. INTERNA MÍNIMA	$T_{IM} \leq T_{EM} - \frac{0}{2/4}$	DESEMPENHO
701	Estar – Cozinha A	O - S	30,60°C	29,59°C	1,01°C	M
	Dormitório A	O - S		29,36°C	1,24°C	
702	Estar B	O	30,60°C	29,95°C	0,65°C	M
	Suíte B	N - O		29,18°C	1,42°C	
	Dormitório B	N		29,82°C	0,78°C	
703	Estar C	L	30,60°C	30,04°C	0,56°C	M
	Suíte C	N - L		28,99°C	1,61°C	
	Dormitório C	N		29,77°C	0,83°C	
704	Estar – Cozinha D	L - S	30,60°C	29,68°C	0,92°C	M
	Dormitório D	L - S		29,45°C	1,15°C	

Ainda analisando a tabela, podemos perceber que todos os ambientes tiveram as temperaturas internas menores que a temperatura externa, possuindo o nível de desempenho mínimo, pois verificando a tabela todos ambientes possuem essas diferenças menores que 2°C.

#### 4.2.3 Comparação da avaliação do desempenho térmico entre o método simplificado e de simulação da NBR15.575:2013

Pelo método prescritivo da NBR 15.575:2013, a vedação vertical da edificação com bloco de concreto não atingiu ao pré-requisito de transmitância térmica com o valor de 2,79 W/m<sup>2</sup>K, sendo o valor maior que recomendado pela norma, de 2,50 W/m<sup>2</sup>K. Nos pré-requisitos de capacidade térmica ( $C \geq 130$  kJ/m<sup>2</sup>K) e absorvância solar ( $\alpha \leq 0,6$ ), ela atendeu ao recomendado com os valores de  $C=245,41$  kJ/m<sup>2</sup>K e  $\alpha=0,459$ . No requisito de aberturas para ventilação em ambientes de permanência prolongada, todas as esquadrias externas são maiores

que 7%, sendo passíveis de serem vedadas no inverno, atingindo a exigência da norma.

No método de simulação todos os ambientes de permanência prolongada dos vinte e quatro apartamentos da edificação atingiram ao nível de desempenho superior no período de inverno, e atingiram ao nível de desempenho mínimo no período de verão. No período de inverno, com a temperatura externa sendo de 3°C, a temperatura interna mínima foi de 12,34°C, sendo superior a diferença das temperaturas de 7°C, atingindo ao critério superior da norma. E no período de verão, com a temperatura externa sendo 30,6°C, a temperatura interna máxima foi de 30,04°C sendo menor que a temperatura externa, atingindo ao critério mínimo da norma.

Portanto, a vedação vertical em bloco de concreto, não atinge ao pré-requisito da norma de transmitância térmica, porém na simulação ela consegue atingir o nível superior no inverno e mínimo no verão em todos os ambientes de permanência prolongada da edificação. Ou seja, além das variáveis térmicas (transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância térmica) é preciso ver a fundo outras questões como posição da edificação em relação ao sol, porcentagem de aberturas nas fachadas e clima local, conforme apresenta resumidamente na Figura 4.8.

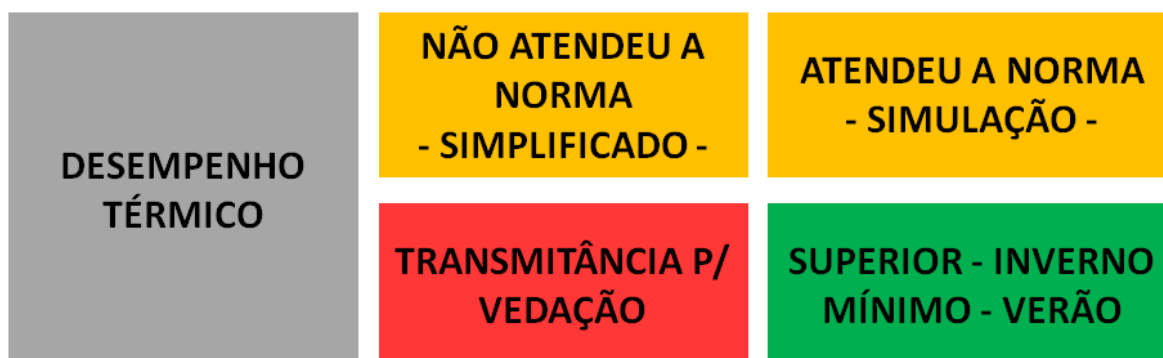


Figura 4.8 - Fluxograma resumido da análise comparativa da avaliação do desempenho térmico

A simulação tende a apresentar um resultado mais próximo da situação real da edificação estudada, pois o programa computacional analisa a edificação por 24 horas nos períodos de verão e de inverno, considerando o arquivo climático da cidade de Santa Maria.

### 4.3 Avaliação da Eficiência Energética

Nesta etapa serão apresentados os resultados da avaliação da eficiência energética pelo método prescritivo e de simulação do Manual do RTQ-R. Primeiramente serão apresentados os resultados da eficiência energética das unidades habitacionais da edificação, de toda edificação e das áreas de uso comum da edificação, obtendo assim o valor da eficiência energética do objeto de estudo. Posteriormente, será analisada comparativamente a avaliação da eficiência energética pelo método prescritivo e de simulação.

#### 4.3.1 Eficiência energética das unidades habitacionais – método prescritivo

Primeiramente, foram analisados os pré-requisitos da envoltória para todos os apartamentos. Após foram estipuladas os valores de graus-hora de resfriamento ( $GHR$ ) e do consumo para aquecimento ( $CA$ ) e o consumo para refrigeração ( $CR$ ), através da Planilha de Avaliação do Método Prescritivo para o Desempenho da Envoltória, e em seguida foi avaliado o sistema de aquecimento de água e checadas as bonificações. Nesse caso foi tomado como exemplo o apartamento 201 para apresentar os resultados, sendo que para os demais apartamentos os resultados se encontram no Apêndice 2.

Após o resultado dos valores das UH, estipulou-se a pontuação total da edificação através da ponderação. Posteriormente, para avaliação das áreas de uso comum, analisou-se individualmente a iluminação artificial, sistemas de aquecimento, equipamentos das áreas comuns de uso frequente e as áreas comuns de uso eventual, e também, bombas centrífugas, elevadores e bonificações. Assim, obtendo a eficiência das áreas de uso comum.

##### 4.3.1.1 Pré-requisitos da envoltória

Com as características da edificação, foram avaliados os pré-requisitos estipulados no manual, os valores de transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância, conforme a Tabela 4.10.

Tabela 4.10 - Pré-Requisitos transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância

CALCULADO	TRANSMITÂNCIA	CAPACIDADE TÉRMICA	ABSORVÂNCIA	PRÉ-REQUISITO
<b>Vedação vertical</b>	U = 2,79 W/(m <sup>2</sup> K)	C = 245,41 kJ/m <sup>2</sup> K	α = 0,459	<b>Não atende</b>
<b>Cobertura</b>	U = 1,15 W/(m <sup>2</sup> K)	C = 270,11 kJ/m <sup>2</sup> K	α = 0,3	<b>Atende</b>

Podemos analisar que os materiais utilizados na cobertura possuem os valores de transmitância e de capacidade térmica que atende ao pré-requisito estabelecido pelo manual, porém os valores das paredes externas não atingiram ao pré-requisito.

Na Tabela 4.11 é possível verificar o pré-requisito da ventilação natural. Analisa-se que em todos os ambientes de permanência prolongada o percentual de abertura para ventilação em relação à área de piso atingiu ao pré-requisito.

Tabela 4.11 - Pré-requisito de ventilação natural

AMBIENTE	ÁREA DO AMBIENTE	ÁREA DE VENTILAÇÃO	% ABERTURA = 100.(AA/AP)	PRÉ-REQUISITO A > 8%
<b>Apartamento 201 - 701</b>				
Sala/Cozinha/ Área de Serviço	24,62 m <sup>2</sup>	1,74m <sup>2</sup> + 0,78m <sup>2</sup>	10,23%	<b>Atende</b>
Dormitório	10,20 m <sup>2</sup>	1,03m <sup>2</sup>	10,09%	<b>Atende</b>
<b>Apartamento 202 - 702</b>				
Sala	21,86 m <sup>2</sup>	1,84m <sup>2</sup>	8,42%	<b>Atende</b>
Suíte	11,60 m <sup>2</sup>	1,03m <sup>2</sup>	8,88%	<b>Atende</b>
Dormitório	9,27 m <sup>2</sup>	1,03m <sup>2</sup>	11,11%	<b>Atende</b>
<b>Apartamento 203 - 703</b>				
Sala	21,86 m <sup>2</sup>	1,84m <sup>2</sup>	8,42%	<b>Atende</b>
Suíte	11,60 m <sup>2</sup>	1,03m <sup>2</sup>	8,88%	<b>Atende</b>
Dormitório	9,27 m <sup>2</sup>	1,03m <sup>2</sup>	11,11%	<b>Atende</b>
<b>Apartamento 204 - 704</b>				
Sala/Cozinha/ Área de Serviço	24,62 m <sup>2</sup>	1,74m <sup>2</sup> + 0,78m <sup>2</sup>	10,23%	<b>Atende</b>
Dormitório	10,20 m <sup>2</sup>	1,03m <sup>2</sup>	10,09%	<b>Atende</b>

Na Tabela 4.12 são apresentados os valores do pré-requisito de iluminação natural nos ambientes de permanência prolongada. Observa-se na tabela que em

todos os ambientes de permanência prolongada o percentual de abertura em relação a área do ambiente atingiu ao pré-requisito exigido.

Tabela 4.12 - Pré-requisito de iluminação natural

AMBIENTE	ÁREA DO AMBIENTE	ÁREA DE ILUMINAÇÃO	% ABERTURA = 100.(AA/AP)	PRÉ-REQUISITO A > 12,5%
<b>Apartamento 201 – 701</b>				
Sala/Cozinha/ Área de Serviço	24,62 m <sup>2</sup>	1,74+1,70m <sup>2</sup>	13,97%	Atende
Dormitório	10,20 m <sup>2</sup>	1,84m <sup>2</sup>	18,04%	Atende
<b>Apartamento 202 – 702</b>				
Sala	21,86 m <sup>2</sup>	3,82m <sup>2</sup>	17,47%	Atende
Suíte	11,60 m <sup>2</sup>	1,84m <sup>2</sup>	15,86%	Atende
Dormitório	9,27 m <sup>2</sup>	1,84m <sup>2</sup>	19,85%	Atende
<b>Apartamento 203 – 703</b>				
Sala	21,86 m <sup>2</sup>	3,82m <sup>2</sup>	17,47%	Atende
Suíte	11,60 m <sup>2</sup>	1,84m <sup>2</sup>	15,86%	Atende
Dormitório	9,27 m <sup>2</sup>	1,84m <sup>2</sup>	19,85%	Atende
<b>Apartamento 204 – 704</b>				
Sala/Cozinha/ Área de Serviço	24,62 m <sup>2</sup>	1,74+1,70m <sup>2</sup>	13,97%	Atende
Dormitório	10,20 m <sup>2</sup>	1,84m <sup>2</sup>	18,04%	Atende

Na Tabela 4.13 é apresentado os valores do pré-requisito de ventilação cruzada.

Tabela 4.13 - Pré-requisito de ventilação cruzada

FACHADAS	ÁREA TOTAL DE ABERTURAS	PROPORÇÃO	CALCULADO A2/A1	PRÉ-REQUISITO ≥ 0,25
<b>Apartamento 201 – 701</b>				
Sul	1,21 m <sup>2</sup>	A2	0,44	Atende
Leste	2,77 m <sup>2</sup>	A1		
<b>Apartamento 202 – 702</b>				
Leste	1,84 m <sup>2</sup>	A2	0,56	Atende
Norte	3,27 m <sup>2</sup>	A1		
<b>Apartamento 203 – 703</b>				
Norte	3,27 m <sup>2</sup>	A1	0,56	Atende
Oeste	1,84 m <sup>2</sup>	A2		
<b>Apartamento 204 – 704</b>				
Oeste	2,77 m <sup>2</sup>	A1	0,44	Atende
Sul	1,21 m <sup>2</sup>	A2		

No pré-requisito de ventilação cruzada, percebe-se que também foi atingido, considerando o somatório das áreas das aberturas das fachadas dividido pelo somatório das áreas de maiores aberturas, conforme a Tabela 4.13.

#### 4.3.1.2 Determinação dos graus-hora de resfriamento (GHR) e do consumo para aquecimento (CA)

Para a definição das variáveis GHR e CA de todos ambientes de permanência prolongada, foi utilizado a Planilha de Avaliação de Método Prescritivo para o Desempenho de Envoltória do CB3E (podendo ser acessado no site: <http://cb3e.ufsc.br/etiquetagem/residencial/downloads/planilhas-e-catalogos>) de cada apartamento. Resultados das variáveis GHR e CA dos ambientes de permanência prolongada do apartamento 201 são apresentados na Figura 4.9.



#### Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes RTQ - Edificações Residenciais

TERMO DE RESPONSABILIDADE (passe o mouse)

Zona Bioclimática	ZB	DETALHE IMPORTANTE: após os cálculos não modificar a zona bioclimática da célula E10	ZB2	ZB2
Ambiente	Identificação	adimensional	SALA (201)	DORMITÓRIO (201)
	Área útil do APP	m <sup>2</sup>	24,63	10,20
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional	0	0
	Contato com solo	adimensional	0	0
	Sobre Pilotis	adimensional	1	1
Cobertura	Ucob	W/m <sup>2</sup> .K	1,15	1,15
	CTcob	kJ/m <sup>2</sup> .K	270,11	270,11
	αcob	adimensional	0,30	0,30
Paredes Externas	Upar	W/m <sup>2</sup> .K	2,79	2,79
	CTpar	kJ/m <sup>2</sup> .K	245,41	245,41
	αpar	adimensional	0,30	0,30
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0	0
	CTalta	binário	1	1
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m <sup>2</sup>	0,00	0,00
	SUL	m <sup>2</sup>	0,00	7,80
	LESTE	m <sup>2</sup>	1,72	6,60
	OESTE	m <sup>2</sup>	0,00	0,00
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m <sup>2</sup>	0,00	0,00
	SUL	m <sup>2</sup>	3,59	0,00
	LESTE	m <sup>2</sup>	3,74	2,24
	OESTE	m <sup>2</sup>	0,00	0,00
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	0,43	0,42
	Somb	adimensional	0,50	1,00
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m <sup>2</sup>	52,91	16,64
	Pé Direito	m	2,60	2,60
	C altura	adimensional	0,106	0,255
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	0	0
	vid	binário	0	0
	Uvid	W/m <sup>2</sup> .K		
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	B	C
			3975	4638
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m <sup>2</sup> .ano	A	B
			11,393	19,403
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m <sup>2</sup> .ano	Não se aplica 0,000	E 26,315



Pré-requisitos por ambiente				
Pré Requisitos da Envoltória	Paredes externas	Upar, Ctpar e opar atendem?	Não	Não
	Cobertura	Ucob, Ctcob e acob atendem?	Sim	Sim
	Fatores para iluminação e ventilação natural	O ambiente é um dormitório?	Não	Sim
		Há corredor no Ambiente?	Não	Não
		Se sim, qual é a AUamb sem contar a área deste corredor?		0
	Iluminação Natural	Área de abertura para iluminação [m²]	3,2	1,84
		Ai/Auamb (%)	12,99	18,04
		Atende 12,5%?	Sim	Sim
	Ventilação Natural	Área de abertura para ventilação	1,03	1,84
		Av/Auamb (%)	4,18	18,04
		Atende % mínima?	Não	Sim
		Tipo de abertura	de correr	de correr
		Abertura passível de fechamento?	Sim	Sim
ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C?		Não	Não	
Atende?		Sim	Sim	

Pontuação após avaliar os pré-requisitos por ambiente	Ponderação da nota pela área útil do ambiente		
	Envoltória para Verão	C	C
	3,00	3,00	3,00
Envoltória para Inverno	C	C	C
	3,00	3,00	3,00
Envoltória se Refrigerada Artificialmente	E	Não se aplica	E
	1,00	0,00	1,00

Figura 4.9 - Planilha com variáveis do GHR e CA dos ambientes da UH 201

Fonte: CB3E adaptado, 2014.

As variáveis de GHR nos ambientes de permanência prolongada atingiram nível C e as variáveis de CA atingiram também o nível C.

#### 4.3.1.3 Sistema de Aquecimento de água

O sistema de aquecimento de água no apartamento é realizado por aquecimento a gás por passagem, utilizando tubulações de PPR específicas para água quente. Na Figura 4.9 apresenta a planilha com as variáveis para o cálculo do pré-requisito para o sistema de aquecimento de água.

Na Figura 4.9, podemos analisar especificamente os resultados do pré-requisitos do sistema de aquecimento de água e do sistema de aquecimento de água. Na Figura 4.10 é apresentado o valor final do aquecimento de água, portanto o equivalente numérico (EqNumAA) é de nível B.

<b>Pré-requisitos do sistema de aquecimento de água</b>	As tubulações para água quente são apropriadas para a função de condução a que se destinam e atendem às normas técnicas de produtos aplicáveis?	Sim
	A edificação apresenta sistema de aquecimento de água?	Sim
	A edificação pertence a região Norte ou Nordeste?	Não
	O sistema apresenta aquecimento solar?	Não
	A estrutura do reservatório apresenta resistência térmica maior ou igual a 2,20 (m <sup>2</sup> K)/W ?	Sim
	Atende?	<b>Sim</b>
	As tubulações para água quente são metálicas?	Não
	A condutividade térmica da tubulação está entre 0,032 e 0,040 W/(mK)?	Não
	Diâmetro nominal da tubulação (cm)	2,2
	Espessura do isolamento (cm)	1
	Condutividade do material alternativo à temperatura média indicada para a temperatura da água (W/mK)	0,6
	Atende?	Sim
	<b>A maior classificação que a UH pode atingir em aquecimento de água é:</b>	<b>A</b>

Figura 4.10 - Planilha com as variáveis para o cálculo do pré-requisito para o sistema de aquecimento de água

Fonte: CB3E adaptado, 2014.

<b>Sistema de aquecimento a Gás</b>	Pré-requisito: os aquecedores a gás do tipo instantâneo e de acumulação possuem ENCE A ou B?	Sim
	Potência do sistema de aquecimento e volume de armazenamento dentro da variação de + ou - 20%?	Sim
	Demanda	20litros
	<b>Classificação</b>	<b>B</b>
		4

<b>Nota final para o aquecimento de água</b>	<b>A</b>
	5,00

Figura 4.11 - Planilha com variáveis para o cálculo do sistema de aquecimento de água por aquecimento a gás e resultado final

Fonte: CB3E adaptado, 2014.

## 4.3.1.4 Bonificações

Na Figura 4.11 é possível analisar todas as variáveis para as bonificações. As bonificações são divididas por porosidade, dispositivos especiais, centro geométrico, permeabilidade, profundidade, refletância de teto, uso racional da água, condicionamento artificial de ar, iluminação artificial, ventiladores de teto, refrigeradores e medição individualizada de aquecimento de água.

Análise das Bonificações  
RTQ - Edificações Residenciais

Bonificações			
Bonificação Ventilação Natural	Porosidade	ATAVN (m²)	0
		AATVS (m²)	1,38
		AATVL (m²)	2,77
		AATVO (m²)	0
		ATFN (m²)	0
		ATFS (m²)	22,54
		ATFL (m²)	23,61
		ATFNO (m²)	0
		Pavimento da UH	1 ou 2
		Porosidade a Atender	20,0%
		Porosidade Norte	0,0%
		Porosidade Sul	6,1%
		Porosidade Leste	11,7%
		Porosidade Oeste	0,0%
	Atende pelo menos 2 fachadas?	Não	
	Bonificação	0	
	Dispositivos Especiais	Todos os APP apresentam dispositivos especiais?	Sim
		Quais dispositivos?	Venzianas em dormitório e sombreamento por sacada na sala
Bonificação		0,16	
Centro Geométrico	Todos os APP apresentam abertura com centro geométrico entre 0,40 e 0,70m?		
	Bonificação	0	
Permeabilidade	Todos APP apresentam abertura intermediária com área livre $\geq$ 30% da área da abertura?		
	Bonificação	0	
Bonificação Iluminação Natural	Profundidade	50%+1 dos APP, cozinha e lavanderia atendem $P \leq 2,4 \cdot h_u$ ?	Não
		Bonificação	0
	Refletância Teto	Todos os APPs, cozinha e lavanderia apresentam refletância do teto maior que 0,6?	Sim
		Bonificação	0,1
Outras Bonificações	Uso Racional de Água	Bonificação de uso racional de água	0
	Condicionamento Artificial de Ar	Bonificação de condicionamento artificial de ar	0,1
	Iluminação Artificial	Porcentagem das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75 lm/W ou com Selo Procel (em todos os ambientes)	De 50% a 99%
		Bonificação	0,05
	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?	Sim
		Garante as condições adequadas de instalação conforme recomendações do fabricante?	Sim
		Bonificação	0,1
	Medição Individualizada de Aquecimento de Água	Apresenta medição individualizada de água quente?	Sim
Bonificação		0,1	
<b>Total de bonificações</b>			<b>0,61</b>

Figura 4.12 - Planilha com variáveis para avaliação das bonificações

Fonte: CB3E adaptado, 2014.

Pode ser analisado, que o UH não têm tantas bonificações, atingindo apenas nos dispositivos gerais (0,16 de pontuação), refletância do teto (0,1 de pontuação), condicionamento de ar (0,1 de pontuação), iluminação artificial (0,05 de pontuação), refrigeradores (0,1 de pontuação) e medição individualizada de água (0,1 de pontuação). Possuindo um valor de 0,61 de bonificações.

#### 4.3.1.5 Pontuação total do nível de eficiência da unidade habitacional – $PT_{UH}$

Definido o EqNumEnv, o EqNumAA e as bonificações é possível determinar a Pontuação Total do Nível de Eficiência da Unidade Habitacional, conforme a Figura 4.12.

<b>Pontuação Total</b>	Identificação	201
	Envoltória para Verão	C
		3,00
	Envoltória para Inverno	C
		3,00
	Aquecimento de Água	A
		5,00
	Equivalente numérico da envoltória	C
		3,00
Envoltória se refrigerada artificialmente	E	
	1,00	
Bonificações	0,61	
Região	Sul	
Coeficiente a	0,65	

<b>Classificação final da UH</b>	<b>B</b>
<b>Pontuação Total</b>	<b>4,31</b>

Figura 4.13 - Pontuação total do nível de eficiência energética da unidade habitacional

Fonte: CB3E adaptado, 2014.

É observado que a unidade habitacional, equivalente ao apartamento 201, corresponde ao nível B de eficiência, com o valor da pontuação total de 4,31.

#### 4.3.1.6 Pontuação total de eficiência da edificação

Na Tabela 4.14 estão apresentados os resultados das pontuações totais das unidades habitacionais da edificação.

Tabela 4.14 - Resultados da pontuação total de eficiência dos apartamentos da edificação

201		202		203		204	
4,31	B	4,51	A	4,51	A	4,31	B
501		502		503		504	
4,31	B	4,44	B	4,44	B	4,31	B
701		702		703		704	
4,31	B	4,44	B	4,44	B	4,31	B

É possível analisar que o valor da pontuação variou entre 4,31 a 4,51, ficando entre o nível A e B. Os apartamentos de dois dormitórios do segundo pavimento obtiveram pontuação de 4,51, nível A. Os demais apartamentos tiveram classificação B, mas variando na pontuação de 4,31 a 4,44. Destaca-se aos apartamentos do último pavimento que tiveram uma boa classificação, por estarem posicionados abaixo da cobertura, provavelmente, isso se deve ao fato da cobertura possuir um isolante térmico.

Para determinação do nível de eficiência da edificação foi feito a ponderação dos resultados das suas unidades habitacionais pela área útil dessas unidades. Na Tabela 4.15 é apresentado o resultado.

Tabela 4.15 – Determinação da eficiência na edificação multifamiliar

NÚMERO UHS	PONTUAÇÃO (PT <sub>UH</sub> )	ÁREA ÚTIL (M <sup>2</sup> )	EQNUM MF	
12	4,31 (B)	37,58	4,39	B
10	4,44 (B)	58,94		
2	4,51 (A)	58,94		

Pela ponderação dos níveis pela área útil das unidades chegamos ao valor 4,39, atingindo o nível B de eficiência, podendo analisar que quase atingiu a classificação A de eficiência, ficando 0,09 pontos desta classificação.

#### 4.3.2 Eficiência energética das áreas de uso comum – método prescritivo

Primeiramente, devem ser calculado os valores do equivalente numérico do sistema de iluminação artificial de uso frequente ( $EqNumIllumF$ ), a potência instalada para a iluminação de uso frequente ( $PIllumF$ ), equivalente numérico do elevador ( $EqNumElev$ ), equivalente numérico do sistema de iluminação artificial de uso eventual ( $EqNumIllumE$ ), potência instalada para a iluminação de uso eventual ( $PIllumE$ ), equivalente numérico dos equipamentos ( $EqNumEq$ ), potência instalada dos equipamentos ( $PEq$ ), equivalente numérico do sistema de aquecimento de água ( $EqNumAA$ ), potência instalada para aquecimento de água ( $PAA$ ) e as bonificações.

##### 4.3.2.1 Áreas comuns de uso frequente

São considerados os ambientes de área de uso frequente, a garagem, a circulação do pavimento térreo, a circulação dos pavimentos tipo e circulação externa de acesso ao prédio.

O cálculo é definido pela Equação 10.

$$PT_{AC} = 0,7 \cdot \left\{ \left[ \left( EqNumIllum_F \cdot PIllum_F + EqNumB_F \cdot PB_F \right) / \left( PIllum_F + PB_F \right) \right] + EqNumElev \right\} / 2 + 0,3 \cdot \left\{ \left[ \left( EqNumIllum_E \cdot PIllum_E + EqNumEq_E \cdot PE_E + EqNumAA_E \cdot PAA_E + EqNumS_E \cdot PS \right) / \left( PIllum_E + PEq_E + PAA_E + PS \right) \right] \right\} + Bonificações \quad (10)$$

Onde:

$EqNumIllum$  é o equivalente numérico do sistema de iluminação artificial;

$PIllum_F$  é a potência instalada para iluminação;

$EqNumB$  é o equivalente numérico das bombas centrífugas;

$PB$  é a potência instalada para bombas centrífugas;

$EqNumElev$  é o equivalente numérico para elevadores;

$EqNumAA$  é o equivalente numérico para aquecimento de água

$PAA$  é a potência instalada para aquecimento de água;

$EqNumS$  é o equivalente numérico para sauna;

$PS$  é a potência instalada para sauna;

$Bonificações$  é a pontuação atribuída a iniciativas que aumentem a eficiência da edificação;

$F$  corresponde às áreas comuns de uso frequente;

$E$  corresponde às áreas comuns de uso eventual.

## a. Iluminação artificial

A maioria das lâmpadas utilizadas nas circulações, estacionamentos e escadas são incandescentes. Na garagem todas as lâmpadas são incandescentes acionadas por sensor de presença. Na circulação do térreo todas as lâmpadas são incandescentes e acionadas por sensor de presença e também manualmente. Na circulação dos pavimentos é utilizada lâmpada incandescente, que são acionadas por sensor de presença, e um balizador de parede led, que é acionado manualmente, porém a intenção é que ele sempre fique ligado para ser uma luz de apoio quando não acionadas as luzes por sensor de presença. Estas informações estão descritas na Tabela 4.16.

Tabela 4.16 - Especificações, classificação e eficiência das lâmpadas nas áreas de uso frequente

AMBIENTE	QUANT.	TIPO DE LÂMPADA	POT.	SISTEMA DE ACENDIMENTO	EqNum	EFIC.	POT. TOTAL
Garagem	10 unid.	Incandescente	60W	Sensor de presença	5	A	600W
Circulação do térreo	6 unid.	Incandescente	60W	Sensor de presença e manual	5	A	360W
Circulação dos pavimentos	24 unid.	Incandescente	60W	Sensor de presença	5	A	1440W
	5 unid.	Balizador led embutido	1W	Manual	4	B	5W
Escada	24 unid.	Incandescente	60W	Sensor de presença	5	A	1440W
Circulação área externa	4 unid.	Incandescente	60W	Fotosensor e manual	5	A	240W
	28 unid.	Balizador led embutido	1W	Fotosensor e manual	4	B	28W
<b>TOTAL</b>							<b>4113W</b>

Conforme INMETRO (2013, p. 157) ambientes com lâmpadas incandescentes não recebem nível A, porém se utilizado o sistema de sensor de presença, ele é atribuído o nível A de eficiência. Pela tabela é possível analisar que o valor total da potência instalada de iluminação na edificação é de 4113W.

A eficiência do sistema de iluminação será dada pela ponderação da eficiência total das lâmpadas com a potência total, conforme abaixo:

$$\frac{(5 \times 600) + (5 \times 360) + (5 \times 1440) + (4 \times 5) + (5 \times 1440) + (5 \times 240) + (4 \times 28)}{4113}$$

**Eficiência do sistema de iluminação = 4,99 = Nível A**

Portanto é possível analisar que no sistema de iluminação artificial o nível de eficiência que atingido foi o mais alto, nível A.

b. Bombas centrífugas

O prédio possui duas bombas centrífugas da Marca FAMAC Moto Bombas, possuindo a tensão de potência de 220v, potência de 3cv (=2206W) e a vazão de 9,1m³/h. As bombas possuem o selo com certificado Procel com o nível de eficiência A, conforme a Figura 4.13.

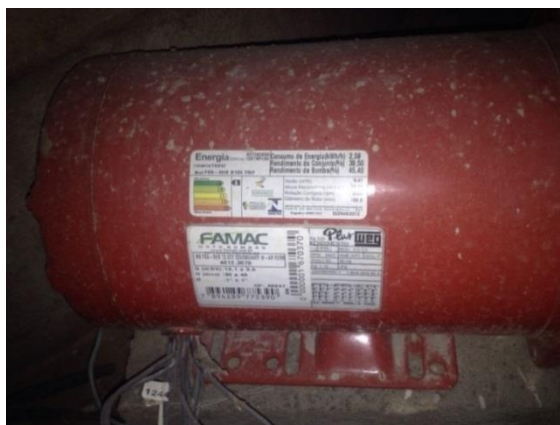


Figura 4.14 - Bomba de recalque da edificação

Potência total para as bombas centrífugas =  $2.206 \times 2 = 4.412W$

Por elas possuírem o selo, conclui-se que a eficiência das bombas centrífugas possui a eficiência A.

c. Elevador

A edificação possui um elevador da marca Otis, para 8 passageiros. Ele possui uma carga nominal de 630kg, velocidade de 1m/s, 8 paradas, altura de levantamento de 21,4m, distância média de viagem 10,7m, demanda de espera é de 40w e o consumo de energia de 10Wh.

A categoria de uso é estabelecida pela Tabela 2.17, de Categoria de uso dos elevadores de acordo com a VDI 4707, resultando no tempo médio de viagem de 0,59h, denominando a Categoria 2 da tabela.

A classificação da demanda de espera é definida pela Tabela 2.18, dado que



o elevador possui a demanda de espera de 40W, ele se encaixa no nível de eficiência A, pela mesma ser menor que 50W. Segundo INMETRO (2013, p.164), o fator de carga é de 0,7, para elevadores com contrapeso. O resultado da demanda energética para a viagem obtida foi classe A, pois o valor calculado foi de 0,26, sendo menor do que 0,56.

A demanda energética específica total do elevador é calculada com os valores da distância nominal percorrida, que é de 1800m, a demanda energética diária de 567Wh, e a demanda energética específica total do elevador, de 1507Wh. Portanto, o valor do cálculo da demanda nominal é de 550kWh.

O elevador obteve a classificação de nível de eficiência A, pois na Tabela VDI 4707 ele se caracteriza na Classe A.

#### 4.3.2.2 Áreas comuns de uso eventual

O único ambiente referente à área de uso comum de uso eventual é o salão de festas, pois a edificação não possui outro ambiente de lazer.

##### a. Iluminação artificial

As lâmpadas utilizadas no salão de festas são fluorescentes compactas, incandescentes e fluorescentes T5, conforme é possível de analisar pela Tabela 4.17.

Tabela 4.17 – Especificação, classificação e eficiência das lâmpadas nas áreas comuns de uso eventual

AMBIENTE	QUANT.	TIPO DE LÂMPADA	POT.	SISTEMA DE ACENDIMENTO	EQNUM	EFIC.	POTENCIA TOTAL
Salão de Festas	9 unid.	Fluorescente compacta - Osmar	23W	Manual	5	Selo Proce I	207W
	4 unid.	Incandescente	60W	Manual	1	E	240W
	18 unid.	Fluorescente Tubular - Philips	22W	Manual	5	Selo Proce I	234W
<b>TOTAL</b>							<b>681W</b>

É possível analisar que a potência total instalada de iluminação no salão de festas é de 681W. Portanto, a eficiência do sistema de iluminação será calculada

pela razão da eficiência total das lâmpadas pela potência total, conforme abaixo:

$$\frac{(5 \times 207) + (1 \times 240) + (5 \times 234)}{681}$$

681

**Eficiência do sistema de Iluminação = 3,59 = Nível B**

b. Equipamentos

O salão não possui nenhum equipamento de ar condicionado ou eletrodoméstico.

c. Sistemas de aquecimento de água

Existe somente sistema de aquecimento elétrico de passagem de água no chuveiro do banheiro de serviço, o qual possui a potência de 6.000W, portanto obtêm o nível E de eficiência.

d. Bonificações

A edificação não obteve nenhuma bonificação, apesar dele possuir equipamentos que racionalizem água, como arejadores de torneira e vasos sanitários com caixas acopladas de duplo fluxo. Como a edificação é nova, ainda não é possível comprovar a racionalização da água. Também não obteve nenhuma bonificação com o uso de iluminação natural nos ambientes de áreas comuns de uso frequente, conforme a Tabela 4.18, e de ventilação natural, conforme a Tabela 4.19.

Tabela 4.18 - Iluminação natural de áreas comuns de uso frequente

AMBIENTE	ÁREA	ÁREA DE ABERTURA	1/10	ATINGE
Garagem - Subsolo	356,44 m <sup>2</sup>	18,47 m <sup>2</sup>	35,64 m <sup>2</sup>	Não atinge
Garagem - Térreo	367,31 m <sup>2</sup>	37,68 m <sup>2</sup>	36,73 m <sup>2</sup>	Atinge
Circulação - Térreo	27,03 m <sup>2</sup>	3,80 m <sup>2</sup>	2,70 m <sup>2</sup>	Atinge
Circulação – Pavimento Tipo	11,85 m <sup>2</sup>	-	1,18 m <sup>2</sup>	Não atinge
Escada	16,64 m <sup>2</sup>	1,20	1,66 m <sup>2</sup>	Não atinge
Não atinge bonificação				

Tabela 4.19 - Ventilação natural de áreas comuns de uso frequente

AMBIENTE	ÁREA	ÁREA DE ABERTURA	1/12	ATINGE
Garagem - Subsolo	356,44 m <sup>2</sup>	18,47 m <sup>2</sup>	29,70 m <sup>2</sup>	Não atinge
Garagem - Térreo	367,31 m <sup>2</sup>	37,68 m <sup>2</sup>	30,60 m <sup>2</sup>	Atinge
Circulação - Térreo	27,03 m <sup>2</sup>	3,80 m <sup>2</sup>	2,25 m <sup>2</sup>	Atinge
Circulação – Pavimento Tipo	11,85 m <sup>2</sup>	-	0,98 m <sup>2</sup>	Não atinge
Escada	16,64 m <sup>2</sup>	1,20	1,38 m <sup>2</sup>	Não atinge
Não atinge bonificação				

#### 4.3.2.3 Potência total das áreas de uso comum

A potência total das áreas de uso comum é calculada pela Equação 10.

$$\begin{aligned}
 & PT_{AC} \\
 & = 0,7 \frac{\left( \frac{EqNumIllum_F \cdot PIllum_F + EqNumB_F \cdot PB_F}{PIllum_F + PB_F} \right) + EqNumElev}{2} \\
 & + 0,3 \left( \frac{EqNumIllum_E \cdot PIllum_E + EqNumEq_E \cdot PEq_E + EqNumAA_E \cdot PAA_E + EqNumS_E \cdot PS_E}{PIllum_E + PEq_E + PAA_E + PS_E} \right) \\
 & + Bonificações
 \end{aligned}$$

$$PT_{AC} = 0,7 \frac{\left( \frac{4,99 \cdot 4113 + 5,0 \cdot 4412}{4113 + 4412} \right) + 5}{2} + 0,3 \left( \frac{3,59 \cdot 681 + 0 + 1 \cdot 6000 + 0}{681 + 0 + 6000 + 0} \right) + 0$$

$$PT_{AC} = 4,43$$

O resultado da potência total foi de 4,43, e analisando pela Tabela 2.9, é possível perceber que o nível de eficiência das áreas de uso comum é maior que 3,5 e menor que 4,5, portanto referindo-se à classificação B.

#### 4.3.3 Eficiência energética – método de simulação

Neste item serão apresentados os resultados da simulação do RTQ-R, referentes aos 2º, 5º e 7º pavimentos tipo do Residencial do Parque, na sua situação real.

Após a modelagem da edificação no *DesignBuilder*, inserção de materiais e dados baseados nos parâmetros do RTQ-R, realizaram-se simulações para obter-se

$GH_R$  e do  $C_A$ , para o cálculo do  $EqNumEnv$  de cada pavimento tipo e para obtenção da Pontuação Total do Nível de Eficiência da Unidade Habitacional, relacionado aos valores referentes ao sistema de aquecimento da água e bonificações.

São realizadas duas simulações, uma ventilada naturalmente e outra condicionada artificialmente. Na primeira simulação, sendo ventilada naturalmente no período do dia durante o ano todo, será determinada a temperatura operativa dos ambientes de permanência prolongada para determinação dos graus-hora ( $GH_R$ ). E na segunda simulação, condicionada artificialmente, no período da noite durante o ano todo, será determinado o consumo para aquecimento ( $C_A$ ) de cada ambiente de permanência prolongada.

Serão apresentados a seguir, os resultados das simulações e os cálculos realizados para determinação da Pontuação Total do Nível de Eficiência da Unidade Habitacional.

#### 4.3.3.1 Simulações do 2º pavimento

Na Tabela 4.20 são apresentados os valores de  $GH_R$  obtidos em cada ambiente de permanência prolongada de cada apartamento do 2º pavimento.

Tabela 4.20 – Determinação  $EqNumEnv_{Resfr}$  do 2º Pavimento

UH	AMBIENTE DE PERMANÊNCIA PROLONGADA	$GH_R$	$EQNUMENV_{AMB_{RESFR}}$	$AU_{AMB}$	$EQNUMENV_{RESFR}$
201	Estar – Cozinha A	2693	5 (A)	17,36m <sup>2</sup>	5 (A)
	Dormitório A	3628	5 (A)	10,20m <sup>2</sup>	
202	Estar B	3013	5 (A)	20,40m <sup>2</sup>	5 (A)
	Suíte B	2662	5 (A)	11,60m <sup>2</sup>	
	Dormitório B	2827	5 (A)	9,27m <sup>2</sup>	
203	Estar C	3058	5 (A)	20,40m <sup>2</sup>	5 (A)
	Suíte C	2450	5 (A)	11,60m <sup>2</sup>	
	Dormitório C	2806	5 (A)	9,27m <sup>2</sup>	
204	Estar – Cozinha D	2807	5 (A)	17,36m <sup>2</sup>	5 (A)
	Dormitório D	3724	5 (A)	10,20m <sup>2</sup>	

Determinou-se o valor do  $EqNumEnv_{Resfr}$  através da ponderação do  $EqNumEnv_{Amb_{Resfr}}$  pela área útil de cada ambiente, onde resultou o valor 5 em cada UH, correspondente ao Nível A.

Todos os ambientes atenderam ao pré-requisito de ventilação natural e iluminação, referentes às Tabelas 4.10 e 4.11, os níveis dos  $EqNumEnv_{Amb_{Resfr}}$  e  $EqNumEnv_{Amb_A}$  são mantidos.

Na Tabela 4.21 são apresentados os valores de  $C_A$  da segunda simulação. Na determinação do  $EqNumEnv_A$ , pondera-se o  $EqNumEnv_{Amb_A}$  pela área útil de cada ambiente, resultando no valor 5, equivalendo ao Nível A.

Em relação ao equivalente numérico de resfriamento e o equivalente numérico de aquecimento, analisa-se que todas as unidades habitacionais obtiveram o Nível A.

Tabela 4.21 - Determinação do  $EqNumEnv_A$  do 2º pavimento

UH	AMBIENTE DE PERMANÊNCIA PROLONGADA	$C_A$	$EQNUMENV_{AMB_A}$	$AU_{AMB}$	$EQNUMENV_A$
201	Estar – Cozinha A	7,39	5 (A)	17,36m <sup>2</sup>	5 (A)
	Dormitório A	11,83	5 (A)	10,20m <sup>2</sup>	
202	Estar B	2,58	5 (A)	20,40m <sup>2</sup>	5 (A)
	Suíte B	5,98	5 (A)	11,60m <sup>2</sup>	
	Dormitório B	2,11	5 (A)	9,27m <sup>2</sup>	
203	Estar C	2,05	5 (A)	20,40m <sup>2</sup>	5 (A)
	Suíte C	6,46	5 (A)	11,60m <sup>2</sup>	
	Dormitório C	2,32	5 (A)	9,27m <sup>2</sup>	
204	Estar – Cozinha D	7,36	5 (A)	17,36m <sup>2</sup>	5 (A)
	Dormitório D	11,33	5 (A)	10,20m <sup>2</sup>	

Sendo definidos os valores do equivalente numérico de resfriamento e de aquecimento, são inseridos na Equação do Equivalente Numérico da Envoltória.

$$EqNumEnv = 0,44 \times EqNumEnv_{Refrig} + 0,56 \times EqNum_A$$

$$EqNumEnv = 0,44 \times 5 + 0,56 \times 5$$

$$EqNumEnv = 5$$

Assim, resultando em 5 a eficiência energética da envoltória da edificação, correspondendo ao Nível A.

Na Tabela 4.22 estão apresentados os valores do  $C_R$  dos ambientes de permanência prolongada quando condicionada artificialmente.

Tabela 4.22 - Determinação do  $EqNumEnv_{Refrig}$  do 2º pavimento

UH	AMBIENTE DE PERMANÊNCIA PROLONGADA	$C_R$	$EQNUMENV_{AMB_{RESF}}_{RIG}$	$AU_{AMB}$	$EQNUMENV_{RESFRI}_G$
201	Estar – Cozinha A	21,75	1 (E)	17,36m <sup>2</sup>	1 (E)
	Dormitório A	40,22	1 (E)	10,20m <sup>2</sup>	
202	Estar B	25,58	1 (E)	20,40m <sup>2</sup>	1 (E)
	Suíte B	42,86	1 (E)	11,60m <sup>2</sup>	
	Dormitório B	43,20	1 (E)	9,27m <sup>2</sup>	
203	Estar C	25,60	1 (E)	20,40m <sup>2</sup>	1 (E)
	Suíte C	42,58	1 (E)	11,60m <sup>2</sup>	
	Dormitório C	42,87	1 (E)	9,27m <sup>2</sup>	
204	Estar – Cozinha D	23,03	1 (E)	17,36m <sup>2</sup>	1 (E)
	Dormitório D	42,02	1 (E)	10,20m <sup>2</sup>	

A envoltória da edificação quando condicionada artificialmente obteve o Nível E, o que não acrescenta a pontuação de bonificação referente ao condicionamento de ar.

Após a definição dos valores do  $EqNumEnv$  pela simulação, do  $EqNum_{AA}$  e das bonificações analisadas pelo método prescritivo, são aplicados na Equação da Pontuação Total do Nível de Eficiência da Unidade Habitacional, para a definição do nível de classificação das unidades habitacionais.

$$PT_{UH} = (a \times EqNumEnv) + [(1 - a) \times EqNum_{AA}] + Bonificações$$

$$PT_{UH} = (0,65 \times 5) + [(1 - 0,65) \times 5] + 0,61$$

$$PT_{UH} = 5,61 \text{ (Nível A)}$$

É possível analisar que a pontuação total das unidades habitacionais do 2º pavimento, resultou em 5,61, referente ao Nível A.

#### 4.3.3.2 Simulações do 5º pavimento

Na Tabela 4.23 são apresentados os valores de  $GH_R$  obtidos em cada ambiente de permanência prolongada de cada apartamento do 5º pavimento. Determinou-se o valor do  $EqNumEnv_{Resfr}$  através da ponderação do

$EqNumEnvAmb_{Resfr}$  pela área útil de cada ambiente, onde resultou o valor 4 em cada UH, correspondente ao Nível B. Todos os ambientes atenderam ao pré-requisito de ventilação natural e iluminação, referentes às Tabelas 4.10 e 4.11, os níveis dos  $EqNumEnvAmb_{Resfr}$  e  $EqNumEnvAmb_A$  são mantidos.

Tabela 4.23 – Determinação  $EqNumEnv_{Resfr}$  do 5º Pavimento

UH	AMBIENTE DE PERMANÊNCIA PROLONGADA	$GH_R$	$EQNUMENVAMB_{RESFR}$	$AU_{AMB}$	$EQNUMENV_{RESFR}$
501	Estar – Cozinha A	3593	4 (B)	17,36m <sup>2</sup>	4 (B)
	Dormitório A	4315	4 (B)	10,20m <sup>2</sup>	
502	Estar B	3971	4 (B)	20,40m <sup>2</sup>	4 (B)
	Suíte B	3260	4 (B)	11,60m <sup>2</sup>	
	Dormitório B	3589	4 (B)	9,27m <sup>2</sup>	
503	Estar C	3928	4 (B)	20,40m <sup>2</sup>	4 (B)
	Suíte C	3025	4 (B)	11,60m <sup>2</sup>	
	Dormitório C	3545	4 (B)	9,27m <sup>2</sup>	
504	Estar – Cozinha D	3563	4 (B)	17,36m <sup>2</sup>	4 (B)
	Dormitório D	4311	4 (B)	10,20m <sup>2</sup>	

Na Tabela 4.24 são apresentados os valores de  $C_A$  da segunda simulação. Na determinação do  $EqNumEnv_A$ , pondera-se o  $EqNumEnvAmb_A$  pela área útil de cada ambiente, resultando no valor 4, equivalendo ao Nível B.

Tabela 4.24 - Determinação do  $EqNumEnv_A$  do 5º pavimento

UH	AMBIENTE DE PERMANÊNCIA PROLONGADA	$C_A$	$EQNUMENVAMB_A$	$AU_{AMB}$	$EQNUMENV_A$
501	Estar – Cozinha A	8,13	5 (A)	17,36m <sup>2</sup>	5 (A)
	Dormitório A	11,49	5 (A)	10,20m <sup>2</sup>	
502	Estar B	2,68	5 (A)	20,40m <sup>2</sup>	5 (A)
	Suíte B	5,34	5 (A)	11,60m <sup>2</sup>	
	Dormitório B	1,77	5 (A)	9,27m <sup>2</sup>	
503	Estar C	2,10	5 (A)	20,40m <sup>2</sup>	5 (A)
	Suíte C	5,81	5 (A)	11,60m <sup>2</sup>	
	Dormitório C	1,95	5 (A)	9,27m <sup>2</sup>	
504	Estar – Cozinha D	8,06	5 (A)	17,36m <sup>2</sup>	5 (A)
	Dormitório D	10,86	5 (A)	10,20m <sup>2</sup>	

Em relação ao equivalente numérico de resfriamento, analisa-se que todas as unidades habitacionais obtiveram o Nível B, e o equivalente numérico de aquecimento o Nível A.

Sendo definidos os valores do equivalente numérico de resfriamento e de aquecimento, são inseridos na Equação do Equivalente Numérico da Envoltória.

$$\text{EqNumEnv} = 0,44 \times \text{EqNumEnv}_{\text{Refrig}} + 0,56 \times \text{EqNum}_A$$

$$\text{EqNumEnv} = 0,44 \times 4 + 0,56 \times 5$$

$$\text{EqNumEnv} = 4,56$$

Assim, resultando em 4,56 a eficiência energética da envoltória da edificação, correspondendo ao Nível A.

Na Tabela 4.25 estão apresentados os valores do  $C_R$  dos ambientes de permanência prolongada quando condicionada artificialmente.

A envoltória da edificação quando condicionada artificialmente obteve o Nível E, o que não acrescenta a pontuação de bonificação referente ao condicionamento de ar.

Tabela 4.25 - Determinação do  $\text{EqNumEnv}_{\text{Refrig}}$  do 5º pavimento

UH	AMBIENTE DE PERMANÊNCIA PROLONGADA	$C_R$	$\text{EQNUMENV}_{\text{AMB}}^{\text{RESF}}$ RIG	$\text{AU}_{\text{AMB}}$	$\text{EQNUMENV}_{\text{RESFRI}}$ G
501	Estar – Cozinha A	28,03	1 (E)	17,36m <sup>2</sup>	1 (E)
	Dormitório A	43,92	1 (E)	10,20m <sup>2</sup>	
502	Estar B	33,10	1 (E)	20,40m <sup>2</sup>	1 (E)
	Suíte B	46,76	1 (E)	11,60m <sup>2</sup>	
	Dormitório B	47,59	1 (E)	9,27m <sup>2</sup>	
503	Estar C	33,42	1 (E)	20,40m <sup>2</sup>	1 (E)
	Suíte C	46,29	1 (E)	11,60m <sup>2</sup>	
	Dormitório C	47,17	1 (E)	9,27m <sup>2</sup>	
504	Estar – Cozinha D	29,60	1 (E)	17,36m <sup>2</sup>	1 (E)
	Dormitório D	46,14	1 (E)	10,20m <sup>2</sup>	

Após a definição dos valores do  $\text{EqNumEnv}$  pela simulação, do  $\text{EqNum}_{\text{AA}}$  e das bonificações analisadas pelo método prescritivo, são aplicados na Equação da Pontuação Total do Nível de Eficiência da Unidade Habitacional, para a definição do nível de classificação das unidades habitacionais.



$$PT_{UH} = (a \times EqNumEnv) + [(1 - a) \times EqNumAA] + Bonificações$$

$$PT_{UH} = (0,65 \times 4,56) + [(1 - 0,65) \times 5] + 0,61$$

$$PT_{UH} = 5,32 \text{ (Nível A)}$$

É possível analisar que a pontuação total das unidades habitacionais do 5º pavimento, resultou em 5,32, referente ao Nível A.

#### 4.3.3.3 Simulações do 7º pavimento

Na Tabela 4.26 são apresentados os valores de  $GH_R$  obtidos em cada ambiente de permanência prolongada de cada apartamento do 7º pavimento. Determinou-se o valor do  $EqNumEnv_{Resfr}$  através da ponderação do  $EqNumEnv_{Amb_{Resfr}}$  pela área útil de cada ambiente, resultando o valor 4 em cada UH, correspondente ao Nível B.

Todos os ambientes atendem ao pré-requisito de ventilação natural e iluminação, referentes às Tabelas 4.10 e 4.11, os níveis dos  $EqNumEnv_{Amb_{Resfr}}$  e  $EqNumEnv_{Amb_A}$  também são mantidos.

Tabela 4.26 - Determinação  $EqNumEnv_{Resfr}$  do 7º Pavimento

UH	AMBIENTE DE PERMANÊNCIA PROLONGADA	$GH_R$	$EQNUMENV_{AMB_{RESFR}}$	$AU_{AMB}$	$EQNUMENV_{RESFR}$
701	Estar – Cozinha A	2737	4 (B)	17,36m <sup>2</sup>	4 (B)
	Dormitório A	3475	4 (B)	10,20m <sup>2</sup>	
702	Estar B	3008	4 (B)	20,40m <sup>2</sup>	4 (B)
	Suíte B	2640	4 (B)	11,60m <sup>2</sup>	
	Dormitório B	2779	4 (B)	9,27m <sup>2</sup>	
703	Estar C	2989	4 (B)	20,40m <sup>2</sup>	4 (B)
	Suíte C	2459	4 (B)	11,60m <sup>2</sup>	
	Dormitório C	2755	4 (B)	9,27m <sup>2</sup>	
704	Estar – Cozinha D	2793	4 (B)	17,36m <sup>2</sup>	4 (B)
	Dormitório D	3496	4 (B)	10,20m <sup>2</sup>	

Na Tabela 4.27 apresentam-se os valores de  $C_A$  da segunda simulação. Na determinação do  $EqNumEnv_A$  pondera-se o  $EqNumEnv_{Amb_A}$  pela área útil de cada ambiente, resultando nos valores 4 e 5, equivalendo ao Nível B e A.

Em relação ao equivalente numérico de resfriamento, analisa-se que as unidades habitacionais 701 e 704 obtiveram o Nível B, equivalente ao valor

numérico 4, e as unidades habitacionais 702 e 703 alcançaram o Nível A, sendo o equivalente numérico 5.

Tabela 4.27 - Determinação do  $EqNumEnv_A$  do 7º pavimento

UH	AMBIENTE DE PERMANÊNCIA PROLONGADA	$C_A$	$EQNUMENV_{AMB_A}$	$AU_{AMB}$	$EQNUMENV_A$
701	Estar – Cozinha A	21,55	4 (B)	17,36m <sup>2</sup>	4 (B)
	Dormitório A	18,73	4 (B)	10,20m <sup>2</sup>	
702	Estar B	12,55	5 (A)	20,40m <sup>2</sup>	5 (A)
	Suíte B	9,63	5 (A)	11,60m <sup>2</sup>	
	Dormitório B	5,31	5 (A)	9,27m <sup>2</sup>	
703	Estar C	11,73	5 (A)	20,40m <sup>2</sup>	5 (A)
	Suíte C	11,81	5 (A)	11,60m <sup>2</sup>	
	Dormitório C	5,52	5 (A)	9,27m <sup>2</sup>	
704	Estar – Cozinha D	21,32	4 (B)	17,36m <sup>2</sup>	4 (B)
	Dormitório D	20,32	4 (B)	10,20m <sup>2</sup>	

Sendo definidos os valores do equivalente numérico de resfriamento e de aquecimento das unidades habitacionais, eles são inseridos na Equação do Equivalente Numérico da Envoltória.

$$EqNumEnv_{701/704} = 0,44 \times EqNumEnv_{Refrig} + 0,56 \times EqNum_A$$

$$EqNumEnv_{701/704} = 0,44 \times 4 + 0,56 \times 4$$

$$EqNumEnv_{701/704} = 4$$

$$EqNumEnv_{702/703} = 0,44 \times EqNumEnv_{Refrig} + 0,56 \times EqNum_A$$

$$EqNumEnv_{702/703} = 0,44 \times 4 + 0,56 \times 5$$

$$EqNumEnv_{702/703} = 4,56$$

Assim, resultando a eficiência energética da envoltória da edificação nas unidades habitacionais 701 e 704 o valor 4, correspondente ao Nível B, e no 702 e 703 o valor 4,56, referindo-se ao Nível A.

Na Tabela 4.28 estão apresentados os valores do  $C_R$  dos ambientes de permanência prolongada quando condicionada artificialmente.

Tabela 4.28 - Determinação do EqNumEnv<sub>Refrig</sub> do 7º pavimento

UH	AMBIENTE DE PERMANÊNCIA PROLONGADA	C <sub>R</sub>	EQNUMENVAMB <sub>RESF</sub> RIG	AU <sub>AMB</sub>	EQNUMENV <sub>RESFRI</sub> G
701	Estar – Cozinha A	25,64	1 (E)	17,36m <sup>2</sup>	1 (E)
	Dormitório A	38,95	1 (E)	10,20m <sup>2</sup>	
702	Estar B	29,88	1 (E)	20,40m <sup>2</sup>	1 (E)
	Suíte B	40,32	1 (E)	11,60m <sup>2</sup>	
	Dormitório B	40,27	1 (E)	9,27m <sup>2</sup>	
703	Estar C	29,60	1 (E)	20,40m <sup>2</sup>	1 (E)
	Suíte C	40,39	1 (E)	11,60m <sup>2</sup>	
	Dormitório C	39,66	1 (E)	9,27m <sup>2</sup>	
704	Estar – Cozinha D	26,77	1 (E)	17,36m <sup>2</sup>	1 (E)
	Dormitório D	43,12	1 (E)	10,20m <sup>2</sup>	

A envoltória da edificação, no 7º pavimento, quando condicionada artificialmente obteve o Nível E, o que não acrescenta a pontuação de bonificação referente ao condicionamento de ar.

Após a definição dos valores do EqNumEnv pela simulação, do EqNum<sub>AA</sub> e das bonificações analisadas pelo método prescritivo, são aplicados na Equação da Pontuação Total do Nível de Eficiência da Unidade Habitacional, para a definição do nível de classificação das unidades do 7º pavimento.

$$PT_{UH701/704} = (a \times \text{EqNumEnv}) + [(1 - a) \times \text{EqNumAA}] + \text{Bonificações}$$

$$PT_{UH701/704} = (0,65 \times 4) + [(1 - 0,65) \times 5] + 0,61$$

$$PT_{UH701/704} = 4,96 \text{ (Nível A)}$$

$$PT_{UH702/703} = (a \times \text{EqNumEnv}) + [(1 - a) \times \text{EqNumAA}] + \text{Bonificações}$$

$$PT_{UH702/703} = (0,65 \times 4,56) + [(1 - 0,65) \times 5] + 0,61$$

$$PT_{UH702/703} = 5,32 \text{ (Nível A)}$$

Analisando pelos resultados, a pontuação total das unidades habitacionais do 7º pavimento, obtiveram o Nível A de classificação, com os valores distintos de 4,96 e 5,32.

#### 4.3.3.4 Classificação do nível de eficiência da edificação multifamiliar por simulação

A classificação do nível de eficiência da edificação multifamiliar por simulação é o resultado da ponderação da classificação das unidades habitacionais autônomas da edificação simuladas pelas suas áreas úteis. Na Tabela 4.29 estão apresentadas as classificações das unidades habitacionais autônomas da edificação.

Tabela 4.29 – Classificação das unidades habitacionais pelo método de simulação do RTQ-R

201		202		203		204	
5,61	A	5,61	A	5,61	A	5,61	A
501		502		503		504	
5,32	A	5,32	A	5,32	A	5,32	A
701		702		703		704	
4,96	A	5,32	A	5,32	A	4,96	A

Podendo ser analisado pela tabela, todas as unidades habitacionais obtiveram o nível de classificação A, sendo as do segundo pavimento possuem o valor mais alto, 5,61, já as unidades encontradas na cobertura obtêm os valores mais baixos, 4,96 e 5,32.

Para a determinação do nível da eficiência da edificação foi feita a ponderação dos resultados das unidades habitacionais pela área útil dessas unidades. Na Tabela 4.30 é apresentado o valor da edificância energética da edificação por essa ponderação.

Tabela 4.30 – Determinação da eficiência energética na edificação multifamiliar por simulação

NÚMERO UHS	PONTUAÇÃO (PT <sub>UH</sub> )	ÁREA ÚTIL (M <sup>2</sup> )	EQNUM MF	
4	5,61 (A)	37,58	5,36	A
4	5,61 (A)	58,94		
4	5,32 (A)	37,58		
8	5,32 (A)	58,94		
4	4,96 (A)	37,58		

O valor da ponderação é 5,36, referindo-se ao nível A classificação de eficiência da edificação multifamiliar.

#### 4.3.4 Comparação da avaliação da eficiência energética do método prescritivo e de simulação do RTQ-R

Na Tabela 4.31 é possível comparar os resultados do método prescritivo pelo de simulação das unidades habitacionais dos apartamentos da edificação avaliada, permitindo uma análise dos resultados sem a ponderação dos pré-requisitos.

Tabela 4.31 - Resultados do método prescritivo e de simulação dos ambientes de permanência prolongada dos apartamentos analisado

UH	Ambiente	PRESCRITIVO				SIMULAÇÃO			
		EqNum AmbResf	EqNum Resf	EqNumEnv AmbA	EqNumA	EqNum AmbResf	EqNum Resf	EqNumEnv AmbA	EqNumA
201	Estar/ Cozinha	3 (C)	3 (C)	5 (A)	4,7 (A)	5 (A)	5 (A)	5 (A)	5 (A)
	Dormitório	3 (C)		4 (B)		5 (A)		5 (A)	
202	Estar	3 (C)	3 (C)	4 (B)	3,71 (B)	5 (A)	5 (A)	5 (A)	5 (A)
	Suíte	3 (C)		3 (C)		5 (A)		5 (A)	
	Dormitório	3 (C)		4 (B)		5 (A)		5 (A)	
203	Estar	3 (C)	3 (C)	4 (B)	3,71 (B)	5 (A)	5 (A)	5 (A)	5 (A)
	Suíte	3 (C)		3 (C)		5 (A)		5 (A)	
	Dormitório	3 (C)		4 (B)		5 (A)		5 (A)	
204	Estar/ Cozinha	3 (C)	3 (C)	5 (A)	4,7 (A)	5 (A)	5 (A)	5 (A)	5 (A)
	Dormitório	3 (C)		4 (B)		5 (A)		5 (A)	
501	Estar/ Cozinha	3 (C)	3 (C)	5 (A)	5 (A)	4 (B)	4 (B)	5 (A)	5 (A)
	Dormitório	3 (C)		5 (A)		4 (B)		5 (A)	
502	Estar	3 (C)	3 (C)	5 (A)	5 (A)	4 (B)	4 (B)	5 (A)	5 (A)
	Suíte	3 (C)		5 (A)		4 (B)		5 (A)	
	Dormitório	3 (C)		5 (A)		4 (B)		5 (A)	
503	Estar	3 (C)	3 (C)	5 (A)	5 (A)	4 (B)	4 (B)	5 (A)	5 (A)
	Suíte	3 (C)		5 (A)		4 (B)		5 (A)	
	Dormitório	3 (C)		5 (A)		4 (B)		5 (A)	
504	Estar/ Cozinha	3 (C)	3 (C)	5 (A)	5 (A)	4 (B)	4 (B)	5 (A)	5 (A)
	Dormitório	3 (C)		5 (A)		4 (B)		5 (A)	
701	Estar/ Cozinha	3 (C)	3 (C)	5 (A)	4,7 (A)	4 (B)	4 (B)	4 (B)	4 (B)
	Dormitório	3 (C)		4 (B)		4 (B)		4 (B)	
702	Estar	3 (C)	3 (C)	4 (B)	4,38 (B)	4 (B)	4 (B)	5 (A)	5 (A)
	Suíte	4 (D)		5 (A)		4 (B)		5 (A)	
	Dormitório	3 (C)		4 (B)		4 (B)		5 (A)	
703	Estar	3 (C)	3 (C)	4 (B)	4,38 (B)	4 (B)	4 (B)	5 (A)	5 (A)
	Suíte	4 (D)		5 (A)		4 (B)		5 (A)	
	Dormitório	3 (C)		4 (B)		4 (B)		5 (A)	
704	Estar/ Cozinha	3 (C)	3 (C)	5 (A)	4,7 (A)	4 (B)	4 (B)	4 (B)	4 (B)
	Dormitório	3 (C)		4 (B)		4 (B)		4 (B)	

Podemos verificar que a maioria dos apartamentos obtiveram o Nível C pelo método prescritivo no equivalente numérico por ambiente para resfriamento, apenas as suítes do sétimo pavimento obtiveram o Nível D. No equivalente numérico para aquecimento, o nível obteve uma maior variação, entre A, B e C. No segundo pavimento, as suítes dos apartamentos com dois dormitórios obtiveram o Nível C, o estar e o dormitório também do apartamento de um dormitório alcançaram o Nível B e o estar e cozinha do apartamento de um dormitório obteve Nível A. Os apartamentos do quinto pavimento, todos os ambientes de permanência prolongada obtiveram o nível A. E no sétimo pavimento o ambiente de Estar e Cozinha, dos apartamentos de um dormitório, e a Suíte, dos apartamentos de dois dormitórios, obtiveram Nível A e os demais ambientes alcançaram o Nível B. Com a ponderação dos equivalente numérico de resfriamento todas as unidades habitacionais atingiram Nível C e na ponderação dos equivalentes numéricos por aquecimento as unidades habitacionais variaram de Nível A e Nível B, sendo sua grande maioria o Nível A. Apenas os apartamentos com dois dormitórios do segundo e sétimo pavimento ficaram com o Nível B.

Os apartamentos de dois dormitórios no segundo e sétimo pavimento sofreram uma maior variação de nível no método prescrito, possivelmente pela inserção de dados na Planilha do RTQ-R do Labeee, por se situarem em pavimentos extremos, pelo segundo pavimento estar em contato com o térreo e o sétimo pavimento com a cobertura.

No método de simulação, no equivalente numérico para resfriamento no segundo pavimento, todos os apartamento possuíram o Nível A, nos demais pavimentos os apartamentos obtiveram o Nível B. No equivalente numérico para aquecimento no segundo e no quinto pavimento todos os apartamentos obtiveram o Nível A, e no sétimo pavimento os apartamentos de dois dormitórios obtiveram o Nível A e de um dormitório obtiveram o Nível B.

Portanto, no método de simulação, para o equivalente numérico de resfriamento todos os apartamentos melhoraram a sua classificação, subindo de Nível D para o Nível A, e no equivalente numérico de aquecimento, a maioria dos apartamentos também aumentou de nível com a simulação, porém nos apartamentos de um dormitório do último pavimento, o nível diminuiu.

É possível verificar que as maiores diferenças dos resultados aconteceram no equivalente numérico para resfriamento, onde pelo método prescritivo sem levar em

consideração as características da ventilação natural e em condições normais de ventilação natural, apresentou um maior desconforto térmico nos ambientes de permanência prolongada.

Na Tabela 4.32 são apresentados os valores da ponderação dos equivalentes numérico da unidade habitacional para resfriamento e para aquecimento, juntamente com seu nível de classificação no método prescritivo e de simulação.

Tabela 4.32 – Resultado da pontuação das unidades habitacionais no método prescritivo e por simulação

	PRESCRITIVO	SIMULAÇÃO
UH	Pontuação	Pontuação
201	3,92 (B)	5 (A)
202	3,39 (C)	5 (A)
203	3,39 (C)	5 (A)
204	3,92 (B)	5 (A)
501	4,12 (B)	4,56 (A)
502	4,12 (B)	4,56 (A)
503	4,12 (B)	4,56 (A)
504	4,12 (B)	4,56 (A)
701	3,92 (B)	4 (B)
702	3,77 (B)	4,56 (A)
703	3,77 (B)	4,56 (A)
704	3,92 (B)	4 (B)

É possível verificar que as unidades habitacionais obtiveram um aumento no equivalente numérico, mantendo alguns níveis e aumentando a maioria deles. A maior variação de aumento de nível com a simulação foi nos apartamentos de dois dormitórios do segundo pavimento, que possuíam Nível C e subiram para o Nível A. Os apartamentos de um dormitório do sétimo pavimento apresentaram a menor variação do equivalente numérico, mas mantiveram o mesmo Nível B. E a grande maioria dos apartamentos aumentou de Nível B para Nível A.

Na tabela 4.33 estão apresentados os resultados obtidos no método prescritivo e no método de simulação da edificação levando em consideração dos pré-requisitos, do sistema de aquecimento de água e das bonificações, além da pontuação final da edificação multifamiliar.

Tabela 4.33 - Síntese dos resultados obtidos pelo método prescritivo e método de simulação

MÉTODO PRESCRITIVO							
UH	Pré-Requisito	EqNumEnvResf	EqNumEnvA	EqNumEnv	SAA	Bonificações	PT <sub>UH</sub>
201	Atende	3 (C)	3 (C)	3 (C)	5 (A)	0,61	4,31 (B)
202	Atende	3 (C)	3 (C)	3 (C)	5 (A)	0,81	4,51 (A)
203	Atende	3 (C)	3 (C)	3 (C)	5 (A)	0,81	4,51 (A)
204	Atende	3 (C)	3 (C)	3 (C)	5 (A)	0,61	4,31 (B)
501	Atende	3 (C)	3 (C)	3 (C)	5 (A)	0,61	4,31 (B)
502	Atende	2 (D)	3 (C)	3 (C)	5 (A)	0,93	4,44 (B)
503	Atende	2 (D)	3 (C)	3 (C)	5 (A)	0,93	4,44 (B)
504	Atende	3 (C)	3 (C)	3 (C)	5 (A)	0,61	4,31 (B)
701	Atende	3 (C)	3 (C)	3 (C)	5 (A)	0,61	4,31 (B)
702	Atende	2 (D)	3 (C)	3 (C)	5 (A)	0,93	4,44 (B)
703	Atende	2 (D)	3 (C)	3 (C)	5 (A)	0,93	4,44 (B)
704	Atende	3 (C)	3 (C)	3 (C)	5 (A)	0,61	4,31 (B)
<b>PONTUAÇÃO TOTAL</b>		<b>4,39 (B)</b>					
MÉTODO DE SIMULAÇÃO							
UH	Pré-Requisito	EqNumEnvResf	EqNumEnvA	EqNumEnv	SAA	Bonificações	PT <sub>UH</sub>
201	Atende	5 (A)	5 (A)	5 (A)	5 (A)	0,61	5,61 (A)
202	Atende	5 (A)	5 (A)	5 (A)	5 (A)	0,81	5,61 (A)
203	Atende	5 (A)	5 (A)	5 (A)	5 (A)	0,81	5,61 (A)
204	Atende	5 (A)	5 (A)	5 (A)	5 (A)	0,61	5,61 (A)
501	Atende	4 (B)	5 (A)	4,56 (A)	5 (A)	0,61	5,32 (A)
502	Atende	4 (B)	5 (A)	4,56 (A)	5 (A)	0,93	5,32 (A)
503	Atende	4 (B)	5 (A)	4,56 (A)	5 (A)	0,93	5,32 (A)
504	Atende	4 (B)	5 (A)	4,56 (A)	5 (A)	0,61	5,32 (A)
701	Atende	4 (B)	4 (B)	4 (B)	5 (A)	0,61	4,96 (A)
702	Atende	4 (B)	5 (A)	4,56 (A)	5 (A)	0,93	4,56 (A)
703	Atende	4 (B)	5 (A)	4,56 (A)	5 (A)	0,93	4,56 (A)
704	Atende	4 (B)	4 (B)	4 (B)	5 (A)	0,61	4,96 (A)
<b>PONTUAÇÃO TOTAL</b>		<b>5,36 (A)</b>					

É possível analisar que pelo método prescritivo a pontuação das unidades habitacionais 202 e 203 aumentaram de nível, passando de Nível C à Nível A, nos demais apartamentos a pontuação aumentou, porém o nível permaneceu o mesmo, B. Pelo método de simulação, podemos verificar que além dos apartamentos 202, 203, 701 e 704, todos os outros diminuíram de classificação, diminuindo o seu nível. Os apartamentos 202 e 203 diminuíram a pontuação, mas mantiveram a



classificação A. E nos apartamentos 701 e 704 aumentou a pontuação, mas o nível de classificação se manteve o mesmo, B.

Os atendimentos dos pré-requisitos, sistema de aquecimento e as bonificações possuem um impacto positivo na pontuação dos apartamentos, aumentando o seu nível de eficiência energética, sendo mais significativo no método prescritivo do que no método de simulação. A pontuação sem essas avaliações no método prescritivo atingia o nível C, onde passou a aumentar significativamente de nível. No apartamento 502, 503, 702 e 703, ele atingiu aos pré-requisitos de ventilação e iluminação natural, adquiriu o Nível C no equivalente numérico de envoltória, nível A no sistema de aquecimento de água e 0,93 pontos de bonificações, adquirindo o Nível B de classificação, portanto o alto valor das bonificações auxiliou no melhor nível de eficiência.

A eficiência energética da edificação multifamiliar melhorou de classificação do método prescritivo para o método de simulação, pois nos equivalentes numéricos de envoltória para resfriamento e para aquecimento na simulação eles obtiveram melhores classificações. As áreas de uso comum da edificação obtiveram pontuação 4,43, classificando-as então como Nível B. Como estas áreas acabaram não recebendo pontuações nas bonificações elas não subiram para o Nível A.

#### **4.4 Influência dos diferentes valores de transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância do fechamento vertical opaco sobre o desempenho térmico**

Neste item são apresentadas as relações do desempenho térmico da edificação em função das propriedades térmicas nos fechamentos verticais opacos, considerando a transmitância térmica (U), a capacidade térmica (C) e a absorvância térmica ( $\alpha$ ) das vedações verticais externas em relação a pior situação de temperatura interna dos ambientes de permanência prolongada da edificação estudada, referindo-se ao sétimo pavimento, para os períodos de inverno e de verão. Na Tabela 5.4 podemos verificar os resultados de temperatura mínimas e máximas no período de inverno e verão.

Tabela 4.34 - Resultados das 64 simulações das variáveis nos períodos de inverno e período de verão

INVERNO – DIA 30/07 9:00		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
UH	Ambiente de perm. prolongada	U = 1,61 W/m <sup>2</sup> C = 31,5 kJ/m <sup>2</sup> $\alpha$ 0,2 $\alpha$ 0,45 $\alpha$ 0,8	U = 1,61 W/m <sup>2</sup> C = 245,41 kJ/m <sup>2</sup> $\alpha$ 0,2 $\alpha$ 0,45 $\alpha$ 0,8	U = 1,61 W/m <sup>2</sup> C = 366 kJ/m <sup>2</sup> $\alpha$ 0,2 $\alpha$ 0,45 $\alpha$ 0,8	U = 2,79 W/m <sup>2</sup> C = 31,5 kJ/m <sup>2</sup> $\alpha$ 0,2 $\alpha$ 0,45 $\alpha$ 0,8	U = 2,79 W/m <sup>2</sup> C = 245,41 kJ/m <sup>2</sup> $\alpha$ 0,2 $\alpha$ 0,45 $\alpha$ 0,8	U = 2,79 W/m <sup>2</sup> C = 366 kJ/m <sup>2</sup> $\alpha$ 0,2 $\alpha$ 0,45 $\alpha$ 0,8	U = 2,79 W/m <sup>2</sup> C = 31,5 kJ/m <sup>2</sup> $\alpha$ 0,2 $\alpha$ 0,45 $\alpha$ 0,8	U = 3,46 W/m <sup>2</sup> C = 31,5 kJ/m <sup>2</sup> $\alpha$ 0,2 $\alpha$ 0,45 $\alpha$ 0,8	U = 3,46 W/m <sup>2</sup> C = 245,41 kJ/m <sup>2</sup> $\alpha$ 0,2 $\alpha$ 0,45 $\alpha$ 0,8	U = 3,46 W/m <sup>2</sup> C = 366 kJ/m <sup>2</sup> $\alpha$ 0,2 $\alpha$ 0,45 $\alpha$ 0,8
	Temp. ext. min. (°C)	15,43 15,5 15,71	16,09 16,24 16,44	16,32 16,45 16,62	14,75 14,87 15,1	15,72 16,02 16,38	15,85 16,05 16,37	14,43 14,6 14,81	14,43 14,6 14,81	15,31 15,52 15,8	15,73 15,95 16,36
701	Estar – Cozinha	14,37 14,54 14,79	15,88 16,13 16,46	16,49 16,75 17,09	12,85 13,02 13,35	15,1 15,46 15,91	16 16,47 17,22	12,18 12,42 12,73	12,18 12,42 12,73	13,83 14,11 14,48	15,38 15,74 16,25
	Dormitório A	16,73 16,71 17,03	17,25 17,55 17,47	17,39 17,48 17,58	16,16 16,29 16,55	16,8 17,27 17,84	17,08 17,22 17,4	15,9 16,08 16,33	15,9 16,08 16,33	16,76 16,91 17,1	17 17,15 17,79
702	Estar B	15,32 15,45 15,92	17,06 17,09 17,12	18,71 17,1 17,14	13,53 13,77 14,25	16,07 16,74 17,58	17,04 17,04 17,09	12,76 13,1 13,55	12,76 13,1 13,55	16,98 17,02 17,08	16,99 17,03 18,04
	Suíte B	16,94 16,76 17,1	17,82 17,87 17,94	17,86 17,91 17,97	16,77 16,84 16,99	16,97 17,62 18,43	17,72 17,8 17,9	16,69 16,8 16,93	16,69 16,8 16,93	17,67 17,76 17,88	17,69 17,78 18,71
703	Dormitório B	18,99 19,11 19,34	19,49 19,72 19,98	19,68 19,86 19,37	18,29 18,43 18,74	19,01 19,43 19,91	19,44 19,83 19,95	18,17 18,45 18,59	18,17 18,45 18,59	18,59 18,95 19,38	18,97 19,32 19,85
	Estar C	15,31 15,47 15,89	17,22 17,59 18,06	18,06 18,47 19,01	13,49 13,72 14,17	16,13 16,74 17,51	16,88 17,44 18,17	12,71 13,02 13,43	12,71 13,02 13,43	14,62 15,03 15,55	16,5 17,05 17,96
704	Suíte C	16,46 16,62 17	17,9 18,23 18,65	18,57 18,93 19,39	14,95 15,17 15,64	17,01 17,63 18,36	18,76 18,05 18,76	14,25 14,58 15,01	14,25 14,58 15,01	15,91 16,34 16,87	17,22 17,76 18,63
	Dormitório C	15,48 15,58 15,76	16,18 16,34 16,56	16,42 16,56 16,75	14,8 14,92 15,15	15,78 16,05 16,39	15,89 16,12 16,41	14,48 14,65 14,86	14,48 14,65 14,86	15,34 15,58 15,89	15,77 16,01 16,38
704	Estar – Cozinha D	14,28 14,44 14,68	15,81 16,06 16,39	16,43 16,69 17,03	12,76 12,92 13,24	15,01 15,34 15,75	15,56 15,91 16,35	12,1 12,6 12,7	12,1 12,6 12,7	13,77 14,06 14,43	15,3 15,66 16,15
	Dormitório D	14,28 14,44 14,68	15,81 16,06 16,39	16,43 16,69 17,03	12,76 12,92 13,24	15,01 15,34 15,75	15,56 15,91 16,35	12,1 12,6 12,7	12,1 12,6 12,7	13,77 14,06 14,43	15,3 15,66 16,15
PRÉDIO (temperatura mínima)											
VERÃO – DIA 20/02 15:00		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
UH	Ambiente de perm. prolongada	U = 1,61 W/m <sup>2</sup> C = 31,5 kJ/m <sup>2</sup> $\alpha$ 0,2 $\alpha$ 0,45 $\alpha$ 0,8	U = 1,61 W/m <sup>2</sup> C = 245,41 kJ/m <sup>2</sup> $\alpha$ 0,2 $\alpha$ 0,45 $\alpha$ 0,8	U = 1,61 W/m <sup>2</sup> C = 366 kJ/m <sup>2</sup> $\alpha$ 0,2 $\alpha$ 0,45 $\alpha$ 0,8	U = 2,79 W/m <sup>2</sup> C = 31,5 kJ/m <sup>2</sup> $\alpha$ 0,2 $\alpha$ 0,45 $\alpha$ 0,8	U = 2,79 W/m <sup>2</sup> C = 245,41 kJ/m <sup>2</sup> $\alpha$ 0,2 $\alpha$ 0,45 $\alpha$ 0,8	U = 2,79 W/m <sup>2</sup> C = 366 kJ/m <sup>2</sup> $\alpha$ 0,2 $\alpha$ 0,45 $\alpha$ 0,8	U = 2,79 W/m <sup>2</sup> C = 31,5 kJ/m <sup>2</sup> $\alpha$ 0,2 $\alpha$ 0,45 $\alpha$ 0,8	U = 3,46 W/m <sup>2</sup> C = 31,5 kJ/m <sup>2</sup> $\alpha$ 0,2 $\alpha$ 0,45 $\alpha$ 0,8	U = 3,46 W/m <sup>2</sup> C = 245,41 kJ/m <sup>2</sup> $\alpha$ 0,2 $\alpha$ 0,45 $\alpha$ 0,8	U = 3,46 W/m <sup>2</sup> C = 366 kJ/m <sup>2</sup> $\alpha$ 0,2 $\alpha$ 0,45 $\alpha$ 0,8
	Temp. ext. max. (°C)	30,22 30,46 30,94	29,48 29,83 30,28	29,47 29,76 30,13	29,69 30,22 30,79	29,04 29,59 30,24	28,9 29,38 30	29,47 30,05 30,72	29,47 30,05 30,72	28,76 29,32 30,05	28,72 29,24 29,95
701	Estar – Cozinha	30,08 30,78 31,81	29,28 29,93 30,69	29,35 29,89 30,54	29,38 30,55 31,89	28,46 29,36 30,49	28,31 29,15 30,02	29,16 30,43 32,01	28,3 29,34 30,74	28,3 29,34 30,74	28,08 28,94 30,1
	Dormitório A	30,61 30,85 31,37	29,69 30,06 30,51	29,35 29,92 30,28	30,14 30,66 31,25	29,43 29,95 30,64	29,19 29,69 30,31	29,95 30,5 31,19	29,07 29,68 30,4	29,07 29,68 30,4	28,03 29,6 30,29
702	Estar B	29,71 30,7 32,11	28,65 29,44 30,41	28,5 29,13 29,92	29,32 30,85 32,71	28,05 29,18 30,59	27,84 28,83 30,1	29,21 30,95 33,15	28,02 29,33 31,09	28,02 29,33 31,09	27,65 28,72 30,12
	Suíte B	30,48 31,11 32,07	29,4 29,99 30,66	29,25 29,7 30,25	29,99 31,11 32,53	28,91 29,82 30,85	28,64 29,42 30,38	29,82 31,17 32,95	28,66 29,61 30,85	28,66 29,61 30,85	28,45 29,32 30,39
703	Dormitório B	30,41 30,73 31,15	29,74 30,08 30,5	29,67 29,95 30,3	30,02 30,51 31,03	29,49 30,04 30,68	29,24 29,71 30,32	29,83 30,34 30,97	29,11 29,67 30,35	29,11 29,67 30,35	29,09 29,62 30,32
	Estar C	29,47 30,31 31,42	28,57 29,31 30,22	28,43 29 29,74	29,08 30,43 32,01	27,95 28,99 30,27	27,76 28,68 28,87	29 30,58 32,52	27,87 28,94 30,42	27,87 28,94 30,42	27,59 28,59 29,93
704	Suíte C	30,55 31,22 32,26	29,36 29,93 30,6	29,22 29,67 30,21	30,06 31,19 32,61	28,85 29,77 30,8	28,61 29,36 30,3	29,88 31,18 32,88	28,69 29,68 31	28,69 29,68 31	28,42 29,25 30,33
	Dormitório C	30,25 30,48 30,88	29,59 29,94 30,35	29,58 29,86 30,22	30,23 30,74 32,01	29,14 29,68 30,31	29,01 29,48 30,07	30,04 30,68 32,12	27,41 29,38 30,07	27,41 29,38 30,07	28,83 29,33 30,03
704	Estar – Cozinha D	30 30,6 31,43	29,41 30,03 30,74	29,49 30 30,6	29,32 30,4 31,59	28,57 29,45 30,51	28,45 29,25 30,28	29,12 30,36 31,81	28,35 29,26 30,43	28,35 29,26 30,43	28,17 29,05 30,18
	Dormitório D	30,61 31,22 32,26	29,74 30,08 30,74	29,67 30 30,6	31,19 32,61 34,19	29,49 30,4 31,59	28,45 29,25 30,28	29,12 30,36 31,81	28,35 29,26 30,43	28,35 29,26 30,43	28,17 29,05 30,18
PRÉDIO (temperatura máxima)											
PRÉDIO (temperatura máxima)		30,61 31,22 32,26	29,74 30,08 30,74	29,67 30 30,6	31,19 32,61 34,19	29,49 30,4 31,59	28,45 29,25 30,28	29,12 30,36 31,81	28,35 29,26 30,43	28,35 29,26 30,43	28,17 29,05 30,18
PRÉDIO (temperatura máxima)		30,61 31,22 32,26	29,74 30,08 30,74	29,67 30 30,6	31,19 32,61 34,19	29,49 30,4 31,59	28,45 29,25 30,28	29,12 30,36 31,81	28,35 29,26 30,43	28,35 29,26 30,43	28,17 29,05 30,18

Para os resultados foram considerados os dias típicos 30 de setembro de 2002, às 9 horas da manhã e 20 de fevereiro de 2002, às 15 horas. Avaliando pela NBR 15.575:2013, é possível verificar que em todas as composições das variáveis no período de inverno, com a temperatura externa mínima de 3°C, as temperaturas mínimas atendem ao requisito superior da norma, possuindo a diferença de temperatura interna em relação à externa superiores à 7°C. A variação mínima da diferença da temperatura interna com externa é de 9°C, e a variação máxima é de 14°C.

As temperaturas mínimas altas se dão quando a capacidade térmica e a absorvância solar possuem valores altos e a transmitância térmica baixa, conforme as situações 2 e 3, na Tabela 5.4. As temperaturas mínimas baixas ocorreram quando os valores de capacidade térmica e absorvância solar são baixos, e o valor da transmitância térmica é alto.

Quando o bloco de concreto como vedação vertical na edificação multifamiliar, analisando a edificação, ele atinge os critérios de desempenho térmico no período frio com classificação superior, se mostrando eficiente como fechamento opaco.

No período de verão e analisando o dia típico, com a temperatura externa máxima de 30,6°C, mais da metade das composições entre as três variáveis atenderiam ao requisito mínimo da norma, onde a temperatura interna máxima é inferior ou igual à temperatura externa. Porém a temperatura interna mais baixa em relação às outras temperaturas é de 29,1°C, apenas 1,5°C abaixo da temperatura externa, a temperatura limite para satisfazer a norma é igual à temperatura externa, 30,6°C, onde os valores de transmitância e capacidade térmica são altos e a absorvância solar é baixa. A temperatura interna máxima é de 33,1°C. Possuindo uma variação de temperaturas máximas de 4°C, possuindo no fechamento opaco uma composição do valor da transmitância térmica e absorvância solar serem altas e da capacidade térmica ser baixa.

Na Figura 4.15 é apresentado o gráfico das temperaturas mínimas internas em relação à transmitância térmica no período de inverno.

Todas as variáveis apresentam a mesma situação, quanto maior a transmitância térmica, maior é a perda de calor do ambiente interno, ou seja, menor é a temperatura interna. Podemos analisar que se segmentaram as capacidades térmicas, quanto maior o valor da capacidade térmica e da absorvância solar, maior

é a temperatura interna, pelo maior acúmulo de calor solar nos fechamentos durante o dia.

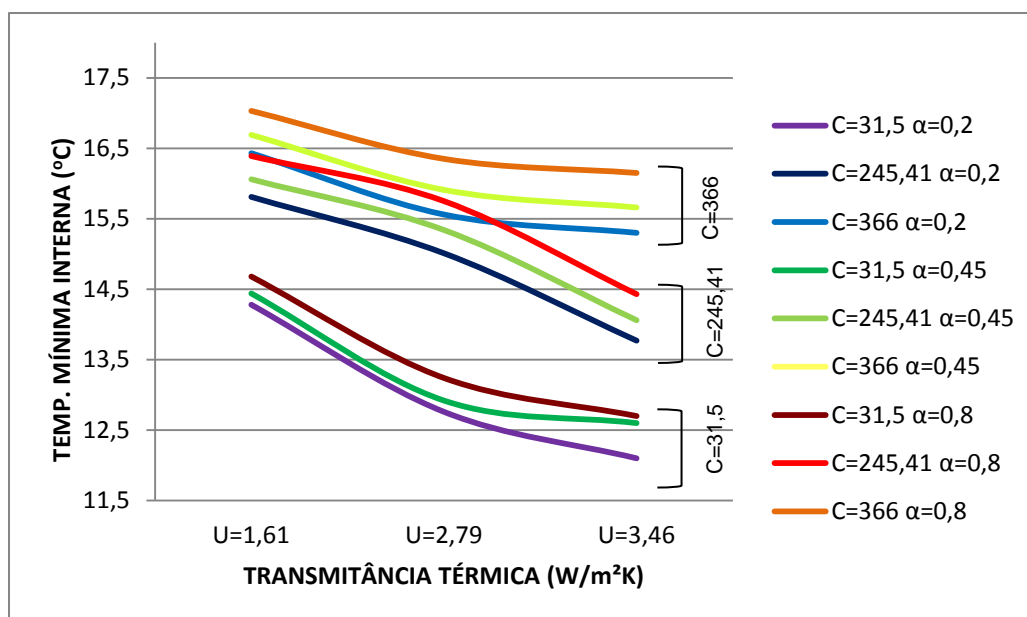


Figura 4.15 - Gráfico da temperatura mínima interna em relação a transmitância térmica no período inverno

Então, para o período de inverno, se a transmitância térmica for baixa, juntamente com a capacidade e a absorvância possuindo valores altos, resultará em temperaturas internas mais elevadas, assim sendo mais confortável para o usuário. Ainda, podemos analisar da influência direta da transmitância térmica juntamente com as variáveis de capacidade térmica e absorvância solar.

Observa-se uma redução da temperatura mínima interna no inverno com o aumento da transmitância térmica a qual é mais acentuada quanto menor for a capacidade térmica. O que indica ao uso dos fechamentos leves e isolados nos períodos de inverno.

Na Figura 4.16 apresenta o gráfico das temperaturas máximas internas em relação à transmitância térmica no período de verão.

Observa-se pelo gráfico que a transmitância térmica sendo alta para a absorvância solar sendo baixa, menor é a temperatura interna, independente da capacidade térmica. Para a transmitância térmica sendo alta e a absorvância solar também sendo alta, maior é a temperatura interna, com exceção se a capacidade térmica for alta, a temperatura interna diminuiu.

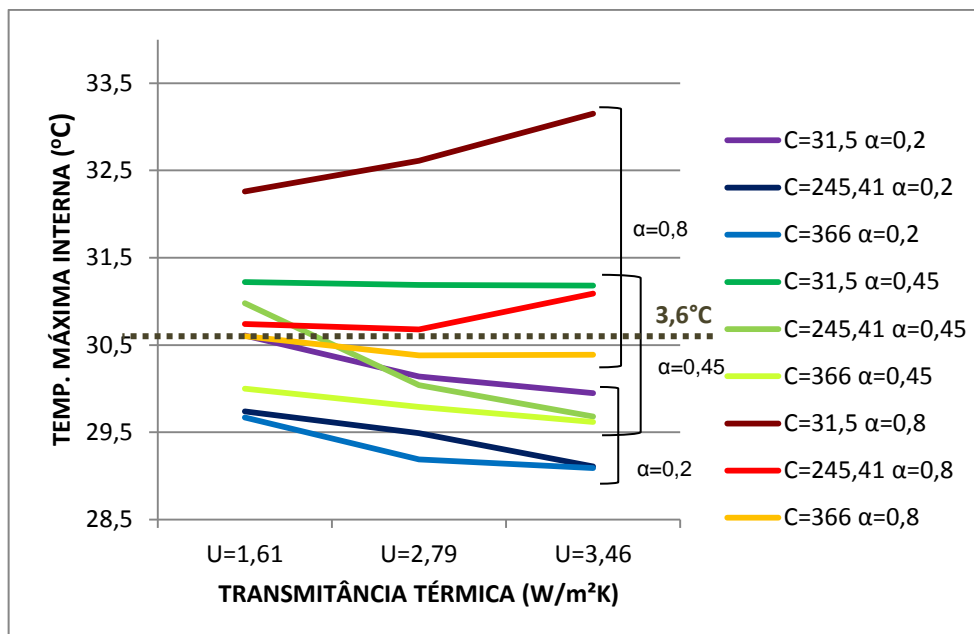


Figura 4.16 - Gráfico da temperatura máxima interna em relação a transmitância térmica no período verão

No período quente, a capacidade térmica baixa e a absorvância solar alta possuem uma maior influência sobre as temperaturas máximas internas, do que a transmitância térmica. Observa-se que as configurações que não atendem a norma ocorrem quando o valor da capacidade térmica é 31,5 kJ/m²K e o valor da absorvância solar é 0,8, independente da transmitância térmica.

Na Figura 4.17 é apresentado o gráfico das temperaturas mínimas internas em relação à capacidade térmica no período de inverno.

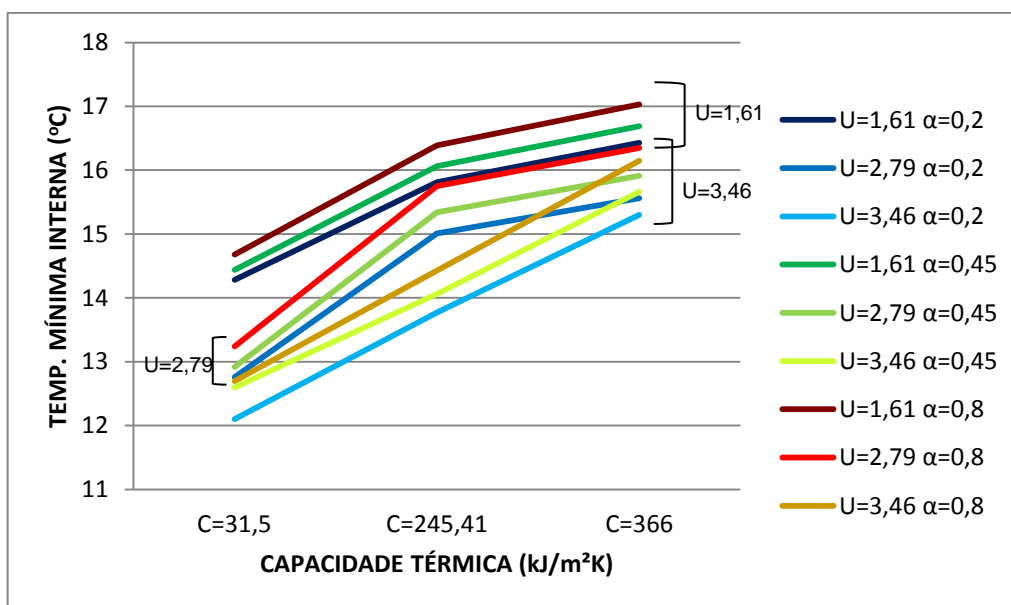


Figura 4.17 - Gráfico da temperatura mínima interna em relação a capacidade térmica no período de inverno

Analisando a relação da capacidade térmica com a temperatura no período de inverno, o padrão da curvatura é o mesmo, quando maior os valores de capacidade térmica e absorvância solar maior é o ganho e a conservação do calor interno. Também, é possível verificar a influencia da transmitância térmica, quanto menor for seu valor, independente dos valores de capacidade térmica e de absorvância solar, maior será a temperatura mínima interna, pela redução das perdas.

Portanto, no período de inverno, o gráfico mostra a influência direta do valor da capacidade térmica, juntamente com os valores de transmitância térmica e absorvância térmica. Ou seja, a condição mais favorável de temperatura interna ocorre para a capacidade térmica e absorvância altas, e valores de transmitância térmica baixa.

A Figura 4.18 apresenta o gráfico das temperaturas mínimas internas em relação a capacidade térmica no período de verão.

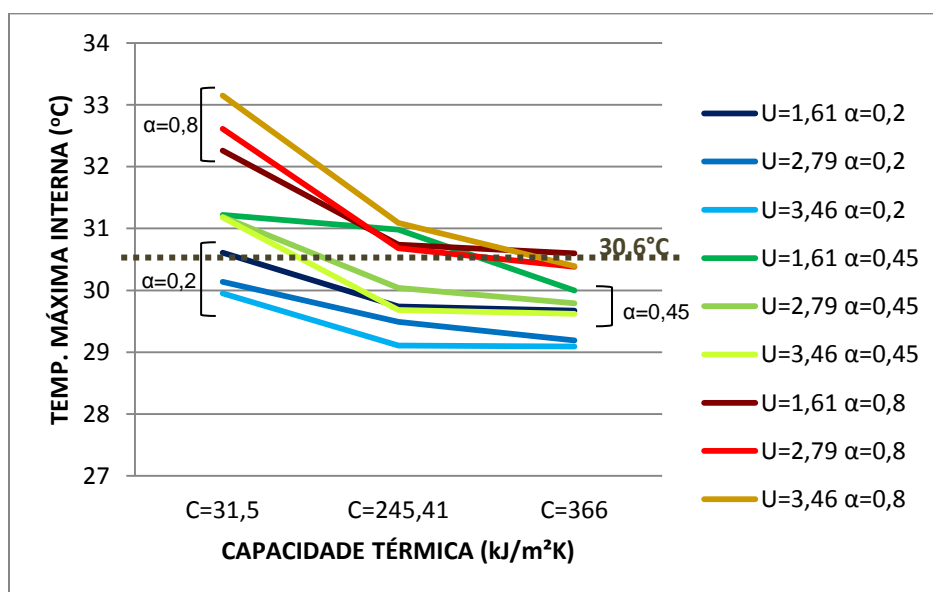


Figura 4.18 - Gráfico da temperatura máxima interna em relação a capacidade térmica no período de verão

Podemos analisar ainda mais claramente nesse gráfico que quanto menor o valor da capacidade térmica, maior são as temperaturas máximas internas de calor interno. O que indica a importância significativa da capacidade térmica também para o período de verão no clima considerado. Quanto maior a absorvância solar maior é essa influência, com uma curva mais acentuada.

A Figura 4.19 apresenta no gráfico das temperaturas mínimas internas em relação absorvância térmica no período de inverno.

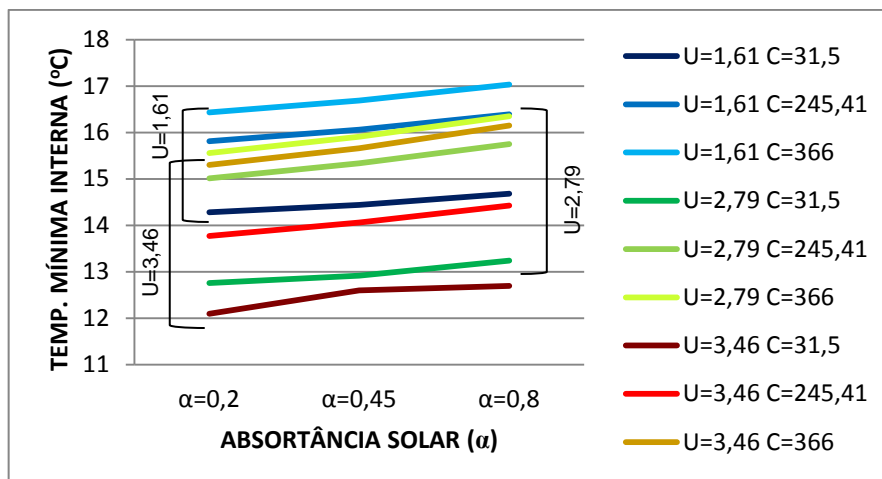


Figura 4.19 - Gráfico da temperatura mínima interna em relação a absorptância solar no período de inverno

É possível verificar que independente dos valores de transmitância e capacidade térmica, a variação das temperaturas mínimas de inverno sofrem pequenas variações positivas com o aumento de absorptância solar. A situação que houve maior variação de temperatura interna com os valores de absorptância solar 0,2 e 0,8 é com os valores da transmitância solar igual a 3,46 W/m<sup>2</sup>K e da capacidade solar igual a 366 kJ/m<sup>2</sup>K, possuindo 0,4°C a 0,85°C de variação de temperatura interna. O que apresenta uma influência baixa da absorptância solar na temperatura interna do ambiente no período de inverno.

Na Figura 4.20 apresenta no gráfico das temperaturas mínimas internas em relação absorptância térmica no período de verão.

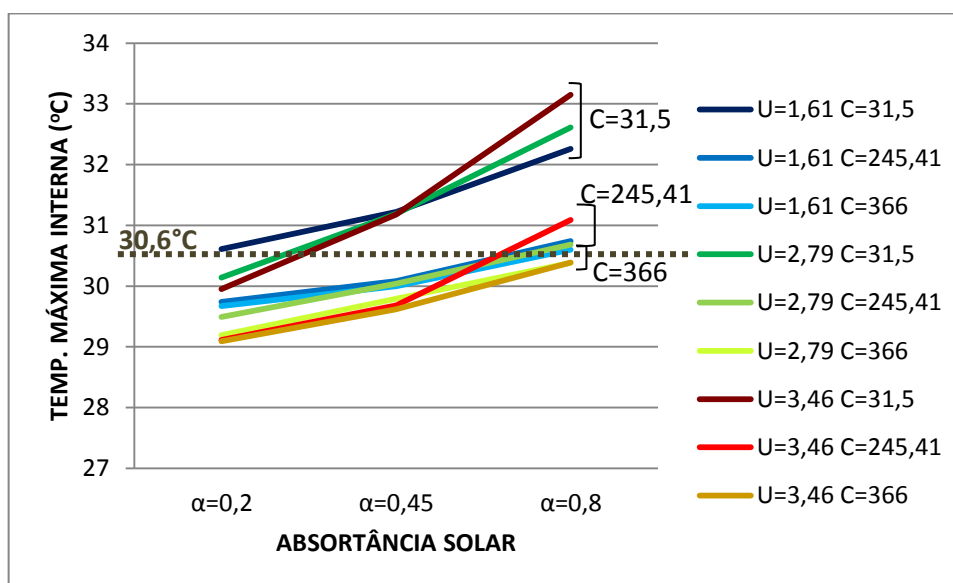


Figura 4.20 - Gráfico da temperatura máxima interna em relação a absorptância solar no período de verão

Para o período de verão a influência da absorvância solar sobre a temperatura interna máxima é mais acentuada com variações positivas de 0,95°C à 3,2°C entre absorvância solar igual 0,2 e igual a 0,8. Maior é a diferença dessa variação quando a capacidade térmica for mais baixa.

Com a análise na influência das variáveis térmicas podemos concluir que algumas delas são mais significantes na influência das temperaturas internas nos ambientes de permanência prolongada da edificação em períodos de inverno, e outras no período de verão na cidade de Santa Maria, porém são fundamentais no resultado final do desempenho térmico de acordo com a norma.

Na Figura 4.21 é apresentado algumas considerações realizadas através dos resultados obtidos pelas as simulações realizadas no período de inverno e verão.

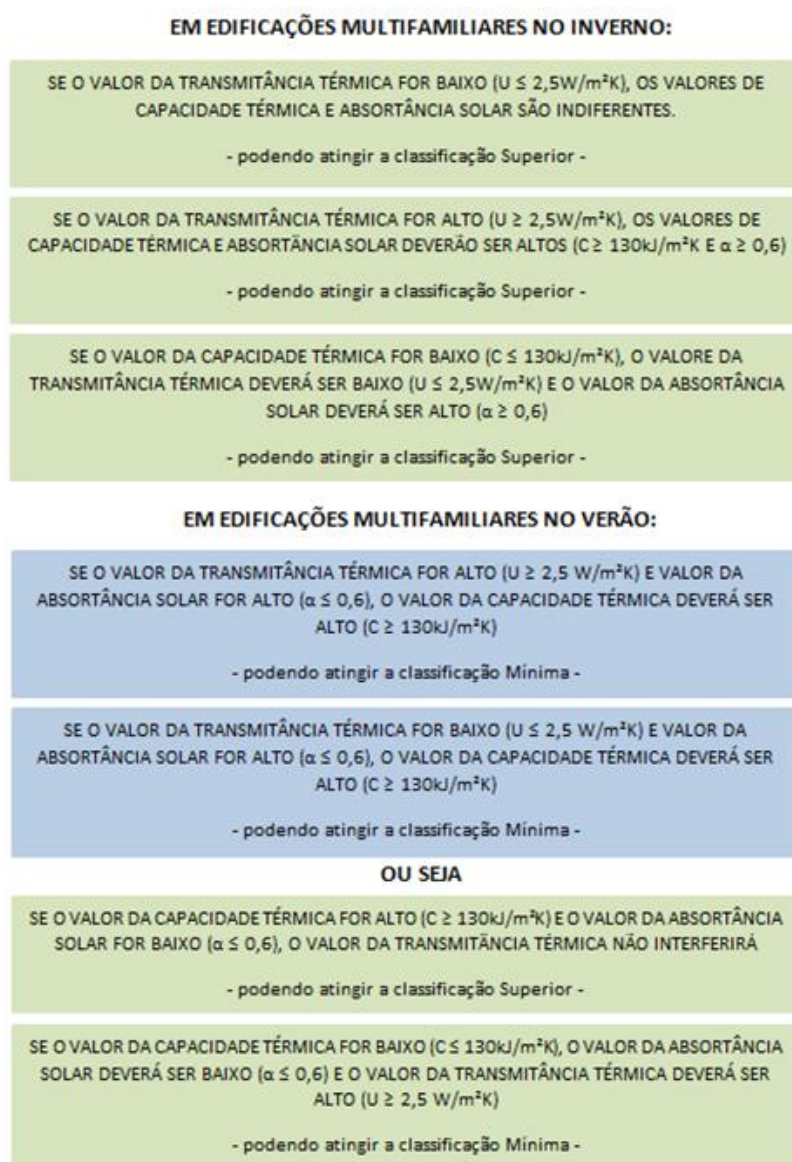


Figura 4.21 - Relação das variáveis térmicas no desempenho térmico em edificações multifamiliares para a Zona Bioclimática 2



No período de inverno, a transmitância térmica possui uma influência direta na temperatura interna, independente dos valores de capacidade térmica e absorvância solar. A situação que permite que tenhamos um maior ganho na temperatura interna é quando a transmitância térmica for baixa e os valores de capacidade e absorvância forem elevados, assim sendo mais eficiente no desempenho térmico, permitindo uma classificação superior.

No período de verão verificamos que a capacidade térmica e absorvância solar influenciam mais na temperatura interna nos ambientes do que a transmitância térmica. Onde capacidade térmica apresenta uma influencia direta na temperatura interna. A situação que permite que a temperatura interna seja mais baixa é a que apresenta o valor da capacidade térmica alta, da absorvância solar baixa e da transmitância térmica alta.

É importante enfatizar que analisando a influência das variáveis para a edificação multifamiliar em alvenaria estrutural com bloco de concreto na Zona Bioclimática 2, o desempenho térmico no período de inverno atinge aos critérios da NBR 15.575:2013, com uma variação grande da temperatura interna mínima em relação a temperatura externa, de 12°C. No período de verão a edificação também atinge ao critério de desempenho térmico, porém com uma variação pequena de temperatura máxima em relação à temperatura externa, de 0,5°C. Portanto é necessário o cuidado na elaboração de projetos com bloco de concreto no fechamento vertical da edificação, visando às estratégias bioclimáticas.



## 5 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo geral avaliar o desempenho térmico e a eficiência energética de uma edificação multifamiliar de padrão médio construído com fechamento vertical em alvenaria estrutural de bloco de concreto na cidade de Santa Maria-RS, localizada na Zona Bioclimática 2.

A edificação multifamiliar objeto de análise do estudo foi escolhida devido ao fato de se enquadrar dos requisitos definidos no objetivo geral e por possuir quatro apartamentos por pavimento e um alto nível de simetria em relação ao seu eixo longitudinal.

O desempenho térmico da edificação multifamiliar analisado pelo método simplificado não atingiu ao critério estabelecido de transmitância térmica, segundo a NBR15.575:2013, para a vedação vertical, mas atingiu aos demais critérios, de capacidade térmica, da absorvância solar, das aberturas para ventilação e da transmitância térmica para cobertura. No método de avaliação de desempenho térmico por simulação, ela atingiu aos critérios para período de inverno e verão.

No período de inverno, a edificação alcançou ao nível Superior, com diferença de 12°C de temperatura mínima interna nos ambientes em relação à temperatura externa. No período de verão o prédio alcançou o nível Mínimo, onde a temperatura interna é menor que a temperatura externa, porém com uma diferença de apenas 0,5°C.

Na eficiência energética avaliada pelo RTQ-R a edificação multifamiliar se classifica no Nível B pelo método prescritivo, e no Nível A, pelo método de simulação. Os resultados dos pré-requisitos de envoltória, do sistema de aquecimento de água e das bonificações, apresentaram uma significativa importância na classificação da pontuação final nos apartamentos no método prescritivo, sendo que os equivalentes numéricos de envoltória para resfriamento e aquecimento atingiram uma classificação baixa. No método por simulação esses pré-requisitos de envoltória, de aquecimento de água e as bonificações não foram tão significativos para a classificação, pois nos equivalentes numéricos apresentaram um nível melhor. A pontuação total da edificação multifamiliar por simulação foi melhor que a prescritiva, atingindo o Nível A de classificação. As áreas de uso comum da edificação obtiveram o Nível B, apresentando que as bonificações são importantes para alcançar um nível superior de eficiência.

Pelos métodos prescritivos de avaliação, diferentemente da NBR15575, o RTQ-R apresenta mais variáveis e equações para sua análise simplificada, não analisando somente a transmitância térmica, a capacidade térmica, absorvância solar, porcentagem de abertura para ventilação e iluminação, mas áreas de paredes externas, áreas de aberturas, relação de altura de abertura e profundidade de ambiente e mais alguns itens. Porém, nas duas normas, ficou claro que a simulação representa a edificação multifamiliar na sua situação mais próxima do real, considerando não apenas seus componentes construtivos, mas também sua geometria, os dados de localização geográfica, os dados do arquivo climático da cidade e a análise durante um período de tempo.

Na análise da influência das variações das propriedades térmicas em vedações verticais no desempenho térmico a transmitância térmica do fechamento opaco da edificação estudada não atinge ao critério da norma, porém no método da simulação a edificação alcança aos critérios exigidos. Portanto, a norma deveria apresentar considerações dos valores de transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância térmica em mais de uma situação e não somente uma consideração, conforme acontece hoje.

Na edificação em alvenaria estrutural com bloco de concreto no período de inverno, a transmitância térmica possui uma influência direta na temperatura interna, independente dos valores de capacidade térmica e absorvância solar. No período de verão verificamos que a capacidade térmica e absorvância solar influenciam mais na temperatura interna nos ambientes do que a transmitância térmica.

É necessário enfatizar que, por mais que a edificação multifamiliar em alvenaria estrutural com bloco de concreto tenha atingido os critérios da NBR15.575:2013 pela simulação e um nível alto de eficiência energética pelo RTQ-R, na análise da influência das variações das propriedades térmicas, observou-se que para ter um melhor desempenho térmico e uma edificação mais eficiente energeticamente é preciso o cuidado dos projetistas em relação às estratégias bioclimáticas adotadas na elaboração do projeto, dimensões de aberturas e sombreamentos, distribuições de ambientes em relação a posição solar, do clima local onde a edificação será inserida, e especialmente na composição de materiais utilizados nos fechamentos verticais e horizontais.

## 5.1 Sugestão de trabalhos futuros

A partir deste trabalho, sugere-se que trabalhos futuros abordem:

- Análise da influência térmica em edificação multifamiliar em alvenaria estrutural com diferentes coberturas;
- Análise da influência das variáveis térmicas em edificação multifamiliar em alvenaria estrutural com bloco de concreto nas diferentes zonas bioclimáticas brasileiras;
- Análise da influência térmica em edificação multifamiliar com métodos construtivos diferentes (bloco cerâmico, drywall...).



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1:** Edificações Habitacionais – Desempenho: Parte 1 - Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-4:** Edificações Habitacionais – Desempenho: Parte 4 - Requisitos de vedações verticais externas e internas. Rio de Janeiro, 2013b.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-5:** Edificações Habitacionais – Desempenho: Parte 5 - Requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013c.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220-1:** Desempenho Térmico de Edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220-2:** Desempenho Térmico de Edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220-3:** Desempenho Térmico de Edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005c.

ASHRAE. **ASHRAE Fundamentals Handbook**. Atlanta: ASHRAE, 2009

BERLEZE, Angélica S. **Avaliação do Nível de Eficiência Energética da Envoltória de Edifícios Públicos Educacionais da UFSM com Base no RTQ-C**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria, 2013.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Eficiência Energética: premissas e diretrizes básicas**. Brasília, 2011. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/PlanoNacEfiEnergetica.pdf>>. Acesso em: 5 abril 2014.

BRASIL. **Balanco Energético Nacional**. Brasília, 2013. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal2013.aspx>>. Acesso em: 5 de abril de 2014.

CASADO, Marcelo. **Introdução a Sistemas de Certificação Ambiental Leed e Processo AQUA**. Apostila desenvolvida para a disciplina de Introdução a Sistemas de Certificação Ambiental. Curitiba: INBEC, 2011.

CBIC, CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS**: Guia orientativo para atendimento da ABNT NBR 15575/2013. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

**CB3E, Centro Brasileiro de Eficiência Energética de Edificações**. Disponível em: <<http://cb3e.ufsc.br/etiquetagem/residencial/downloads/planilhas-e-catalogos>>. Acesso em: 25 maio 2014.

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

Cruz, Eduardo M. G. **Selección de materiales em la concepcion arquitectonica bioclimática**. Artigo. Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura y Diseño, Universade del Zulia. Maracaibo, Venezuel - 2003.

DESIGN BUILDER SOFTWARE. **Download do Design Builder 2.0**. Disponível em: <<http://www.designbuilder.co.uk/helpv2/>>. Acesso em: 5 de junho de 2014.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. **Influência das tintas imobiliárias sobre o desempenho térmico e energético de edificações**. In: X Congresso Internacional de Tintas, 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABRAFATI, 2007.

DRYSDALE, R. G. **Masonry structures**. Behavior and design. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1999.

DUARTE, R. B. **Recomendações para o projeto e execução de edifícios de alvenaria estrutural**. Porto Alegre: ANICER, 1999.

ELETROBRÁS. **Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel)**. Disponível em: <<http://www.eletrabras.com/elb/procel/>>. Acesso em: 27 abril



2014.

\_\_\_\_\_. **Catálogo Selo Procel 2009.** Disponível em: <<http://www.eletronbras.com/elb/data/documents/storedDocuments/%7BAE43DA-69AD-4278-B9FC-41031DD07B52%7D/%7BA69C1DAA-7479-4F34-A77F-FDA9DB792F36%7D/Cat%E1logo%20Selo%20Procel%202009.pdf>>. Acesso em: 18 outubro 2014.

Flores, Michelle Gomes. **Geração da Base Climática de Santa Maria – RS – para Análise de Desempenho Térmico e Eficiência Energética de Edificações.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

INMETRO. **Informações ao consumidor.** Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>>. Acesso em: 20 novembro 2014.

KLUSENER, Cibele S. **Aplicação do regulamento para etiquetagem do nível de eficiência energética de edifícios:** o caso do Centro de Tecnologia da UFSM. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura.** [3.ed.] Rio de Janeiro, 2014.

MANGER, D. M. **Conceitos de um Edifício Inteligente.** Disponível em: <<http://1927364753624353037a1802744773732722657sites.googlegroups.com/site/automacaopredialufop/disciplinasdegraduacao/instalacoesprediais/EdiC3%ADciosInteligente28apostila%29.pdf?attachauth>> Acesso em: 16 julho 2013.

MARIN, P.; AMORIM, C. N. D. Estratégias para a eficiência energética de residências unifamiliares na serra gaúcha: uma análise baseada no RTQ-R. In: XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC, 2012, Juiz de Fora. **Anais...** ENTAC, 2012.

MOHAMAD, Gihad. **Construções em Alvenaria Estrutural – Materiais, projeto e desempenho.** Editora Blucher. São Paulo, 2015.

OLIVEIRA, Liader Silva. **Avaliação dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos da NBR 15220-3, para habitações de interesse social, da Zona Bioclimática 2.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

PROCEL. **Selo Procel Edificações.** Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br>>. Acesso em: 17 abril 2014.

PRONTO MIX. **Manual de blocos de concreto.** Disponível em: <[http://www.prontomix.com.br/site/sites/default/files/downloads/manual\\_blocos.pdf](http://www.prontomix.com.br/site/sites/default/files/downloads/manual_blocos.pdf)>. Acessado em: 12 janeiro 2015.

SOARES, Roberta M. D. **Aplicação do Regulamento para Etiquetagem do Nível de Eficiência Energética em Edificação Unifamiliar Padrão Normal na Zona Bioclimática 2 Brasileira.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

SOLANO, Nelson. **Eficiência Energética II Procel Edifica Introdução.** Apostila desenvolvida para a disciplina de Eficiência Energética II. Curitiba: INBEC, 2012.

SORGATO, Márcio José. **Relatório Técnico da Base de Simulações para o RTQ-R.** Relatório desenvolvido para Eletrobrás/Procel pela Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.

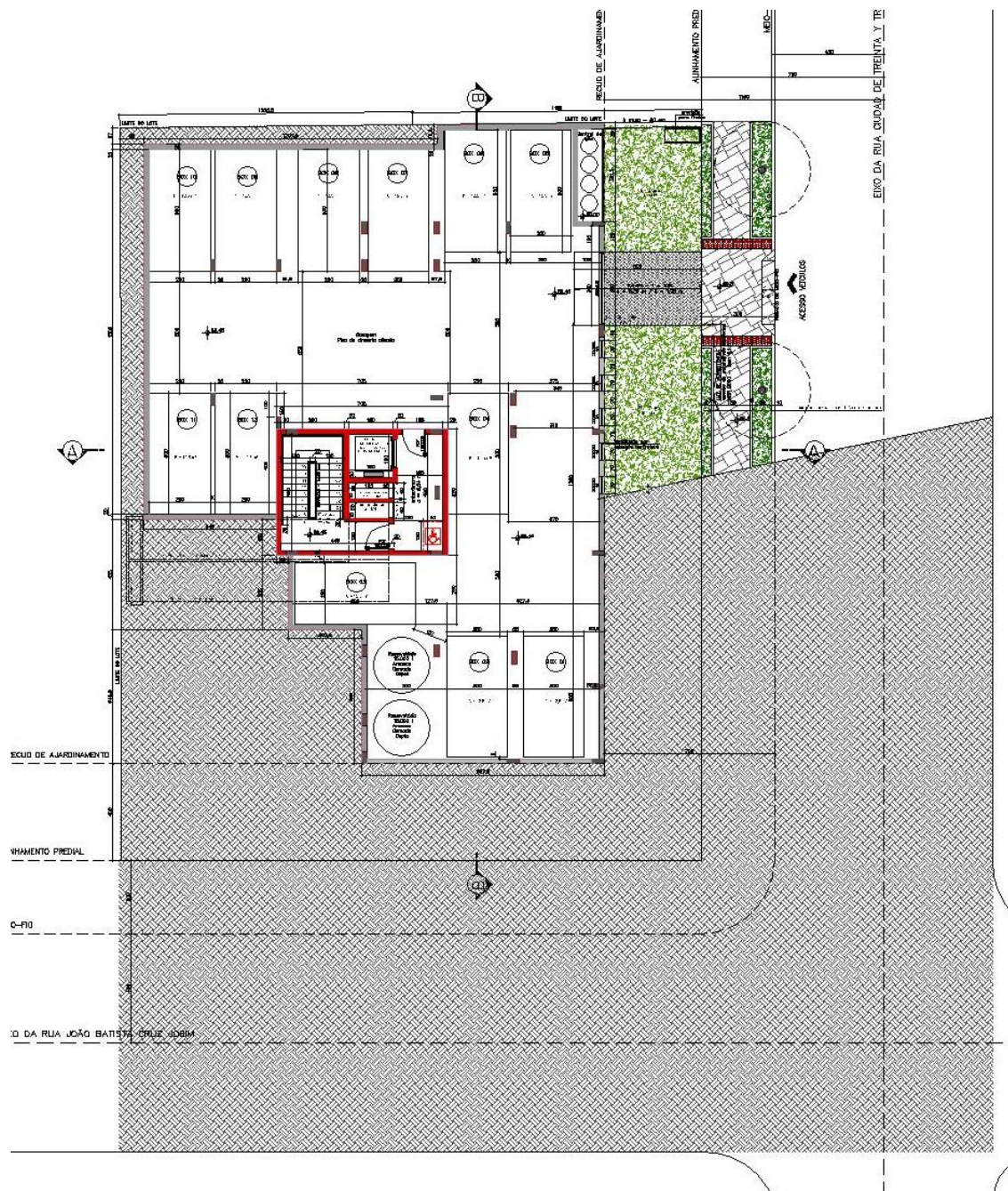
VENÂNCIO, Raoni. **Manual de Treinamento para o Programa Design Builder versão 2.0.** Manual desenvolvido para o Laboratório de Conforto Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2009.

WENDLER, A. A. **Relatório sobre alvenaria estrutural.** Considerações econômicas. Disponível em: <<http://www.wendlerprojetos.com.br/alvenaria.php>> Acesso: 22 junho 2015,

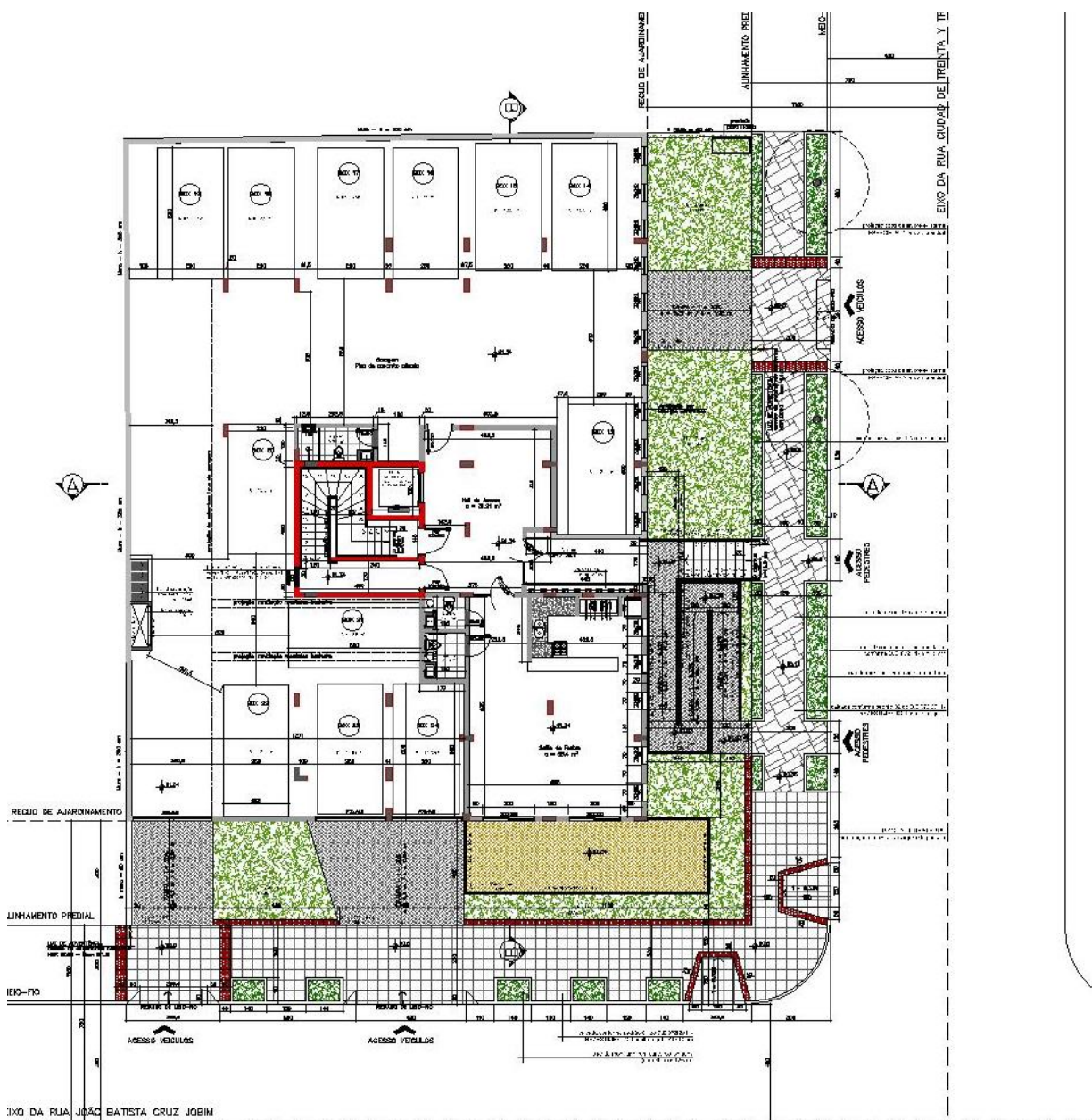


# ANEXO

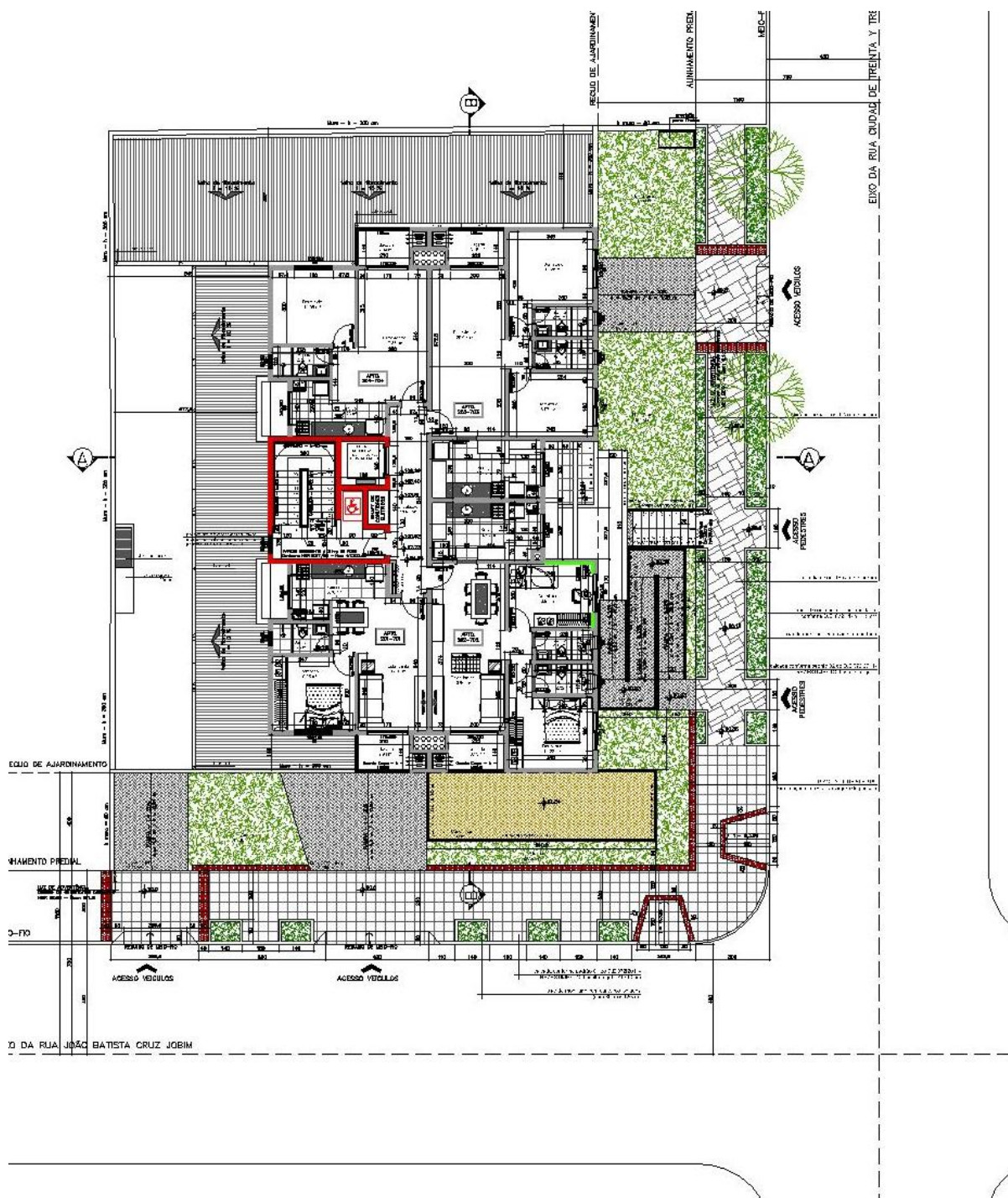
## Anexo 01 – Residencial do Parque – Planta Baixa (Subsolo)



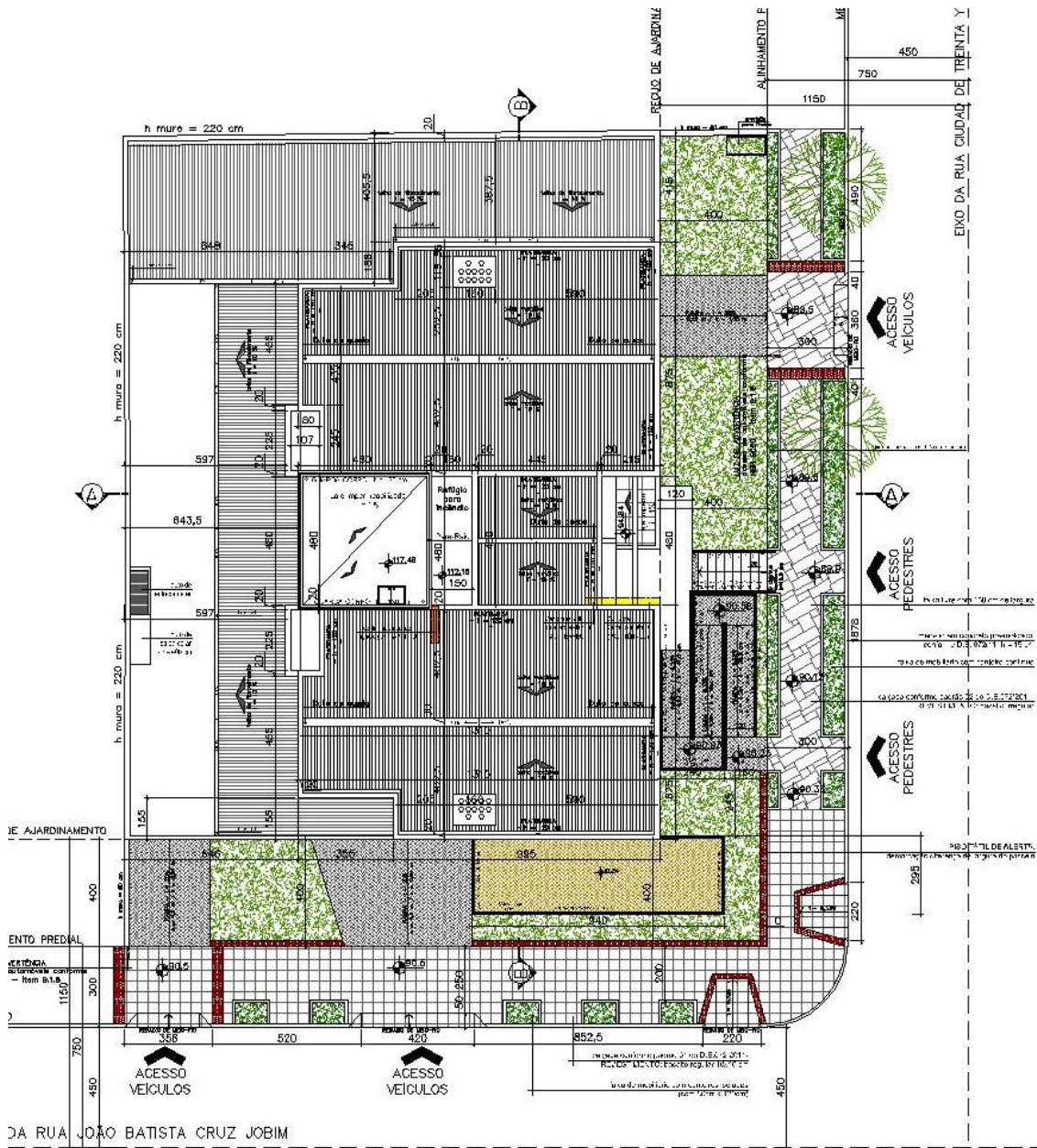
ANEXO 02 – Residencial do Parque – Planta Baixa (Térreo)



ANEXO 03 – Residencial do Parque – Planta Baixa (pavimento tipo)



ANEXO 04 – Residencial do Parque – Planta baixa (cobertura)



ANEXO 05 – Residencial do Parque - Elevações

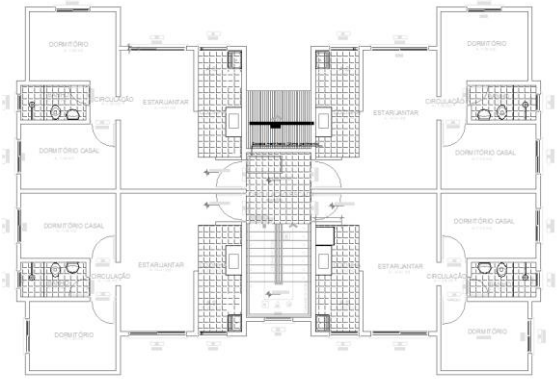







## APÊNDICE

APÊNDICE 01 – Levantamento de edificações executadas em alvenaria estrutural com quatro ou mais pavimentos

Ano	Número de pavimentos tipo	Apartamento por pavimento	Caráter
<b>RESIDENCIAL PRESIDENTE</b>			
(sem planta baixa)			
2002	4 pavimentos (03 torres)	4 apartamentos (de 02 dormitórios)	Baixo
<b>RESIDENCIAL LAS PALMAS</b>			
(sem planta baixa)			
2004	4 pavimentos (01 torre)	6 apartamentos (de 02 dormitórios)	Baixo
<b>PAR I BAVARESCO</b>			
			
2004	5 pavimentos (01 torre)	4 apartamentos (com 02 dormitórios)	Popular
<b>PAR II VENTO NORTE</b>			
			
2006	5 pavimentos (10 torres)	4 apartamentos (com 02 dormitórios)	Popular

(continua)

### PAR III MEDIANEIRA

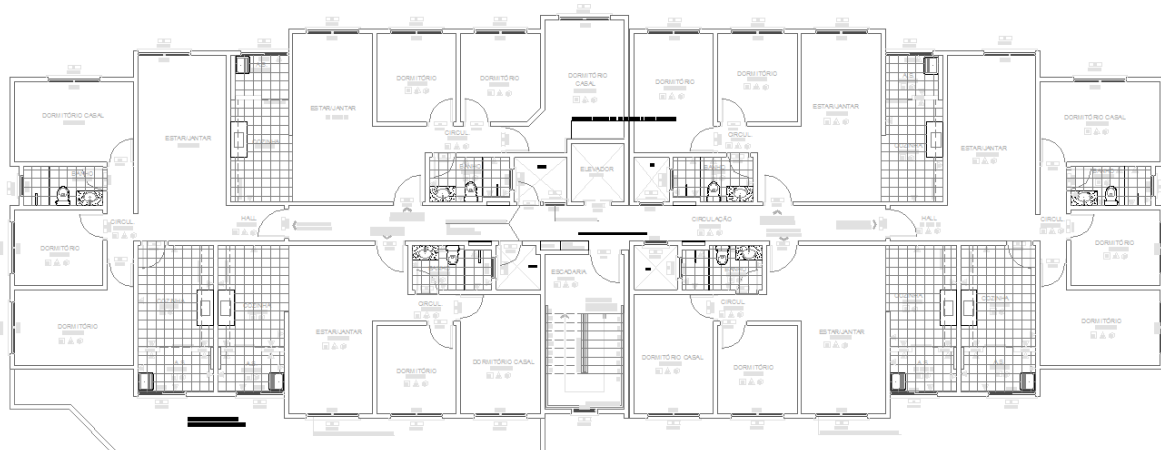


2007

5 pavimentos  
(10 torres)4 apartamentos  
(com 02 dormitórios)

Popular

### RESIDENCIAL FERRARA

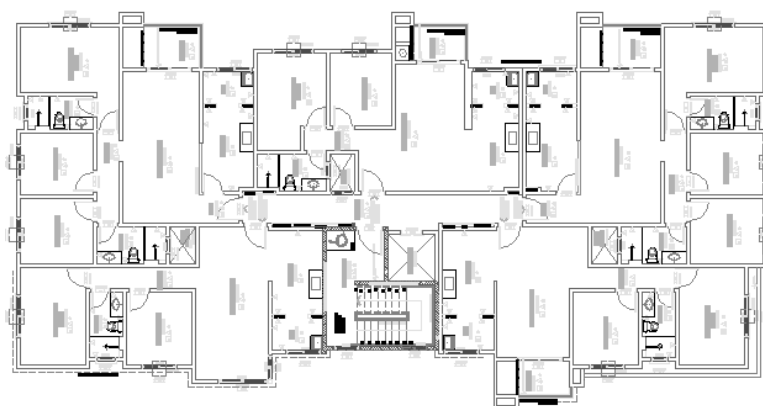


2006

6 pavimentos  
(01 torre)6 apartamentos  
(com 04 de 02 dorm. e  
02 de 03 dorm.)

Baixo

### RESIDENCIAL PROVENÇA



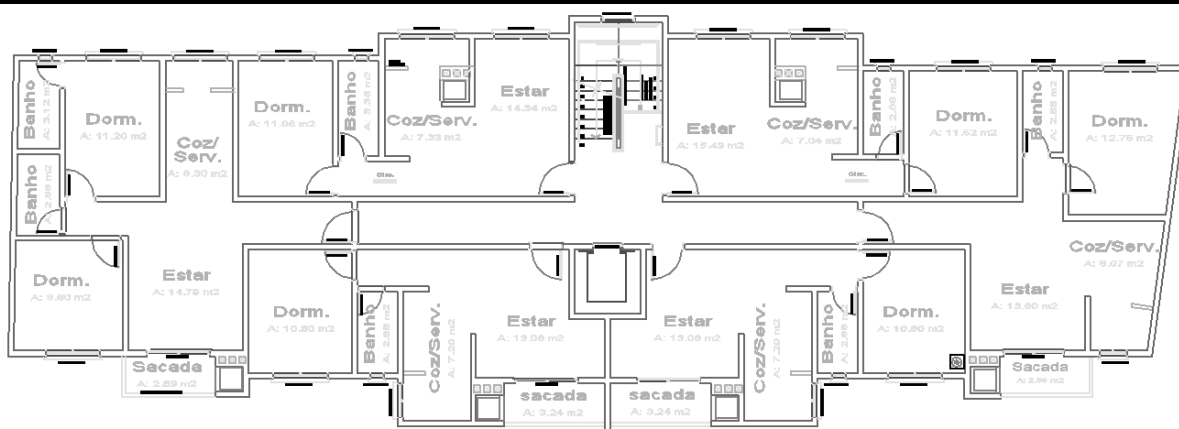
2009

11 pavimentos  
(01 torre)5 apartamentos  
(com 02 de 02  
dorm. e 01 de 03  
dorm.)

Baixo

(continua)

### SÃO MIGUEL



2011

4 pavimentos  
(01 torre)6 apartamentos  
(com 01 de 02 dorm. e  
05 de 01 dorm.)

Médio

### RESIDENCIAL ELECTRA



2011

4 pavimentos  
(01 torre)4 apartamentos  
(com 02 dormitórios)

Médio

### RESIDENCIAL VERCELLI

(sem planta baixa)

2011

6 pavimentos  
(05 torres)4 apartamentos  
(com 02 dormitórios)

Popular

### CONDOMÍNIO SOLARI

(sem planta baixa)

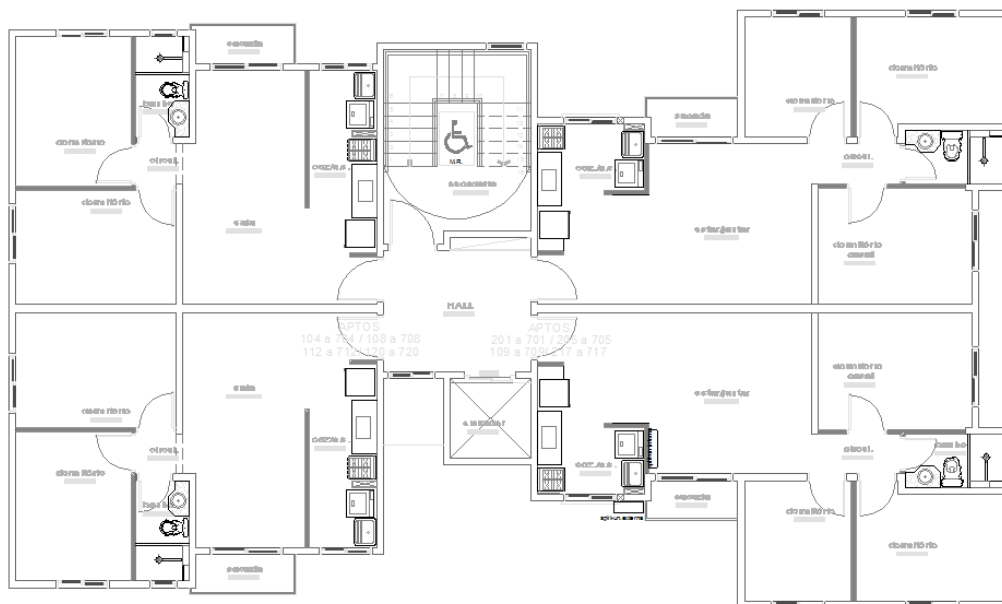
2012

4 pavimentos  
(02 torres –  
“grudadas”)4 apartamentos  
(com 02 dormitórios)

Médio

(continua)

## RESIDENCIAL NOVARA



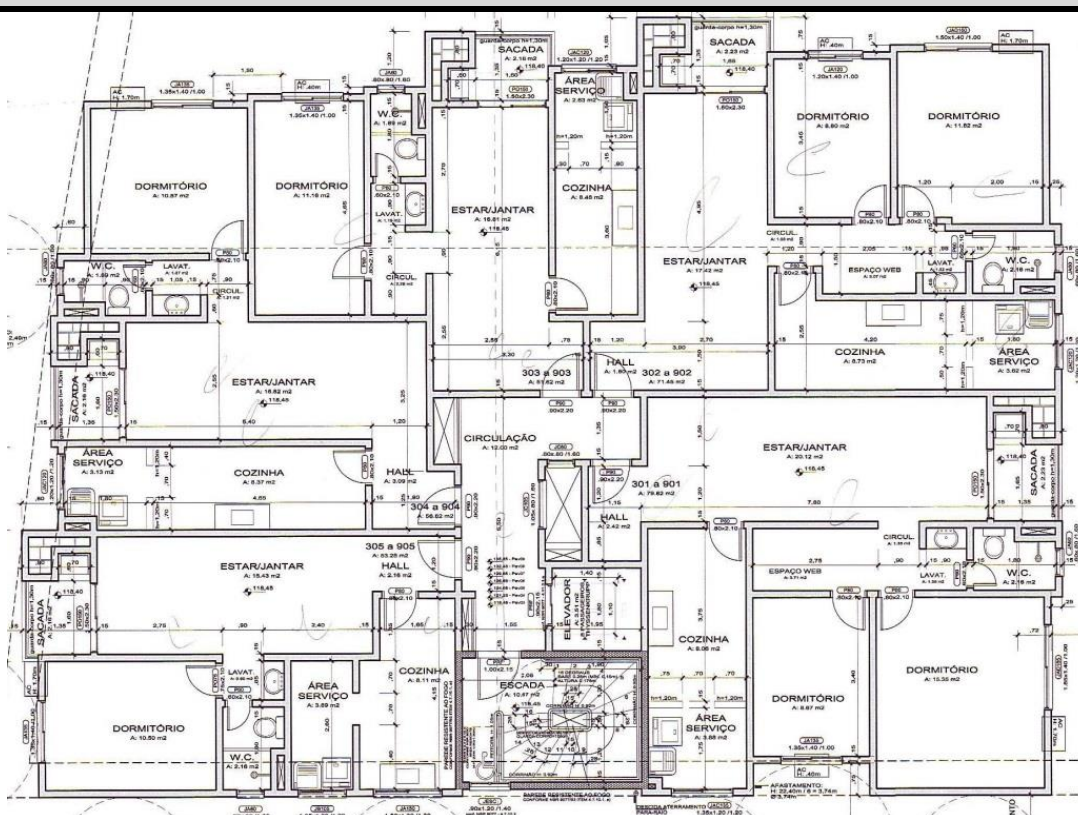
2012

5 pavimentos  
(6 torres)

4 apartamentos  
(com 02 de 02 dorm. e  
02 de 03 dorm.)

Baixo/médio

## RESIDENCIAL ÔMEGA



2012

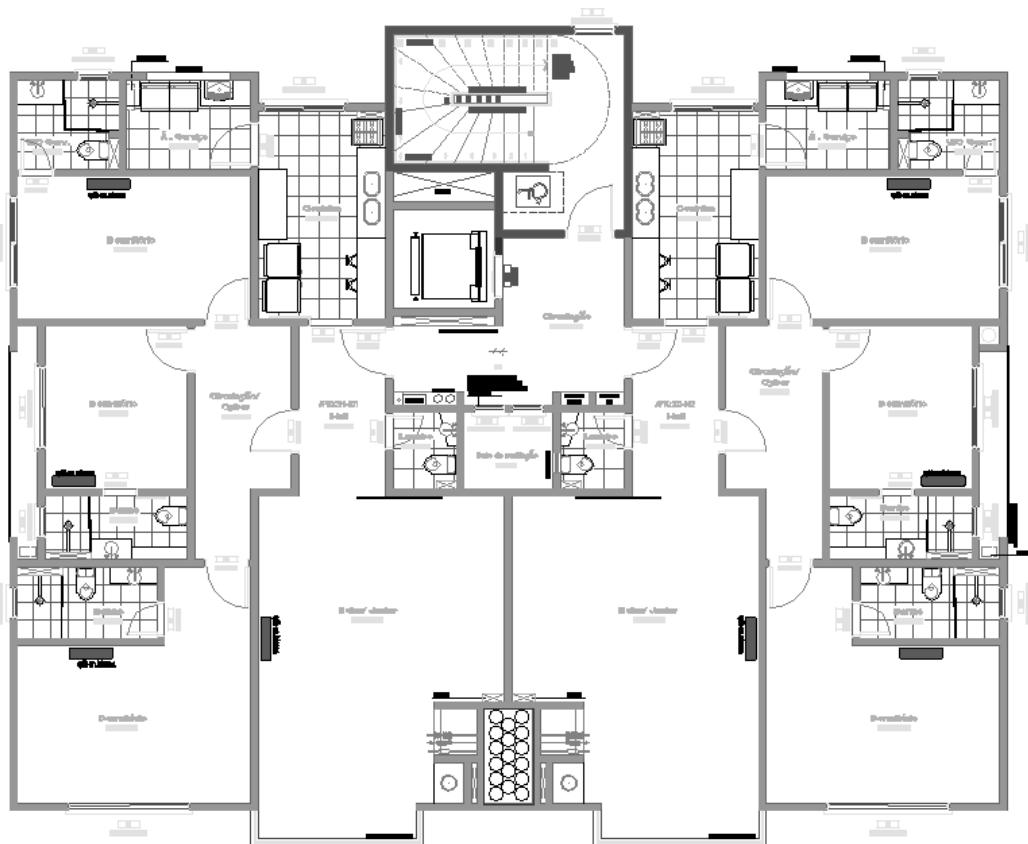
8 pavimentos  
(01 torre)

4 apartamentos  
(com 02 dormitórios)

Médio

(continua)

## RESIDENCIAL VILLA LOBOS

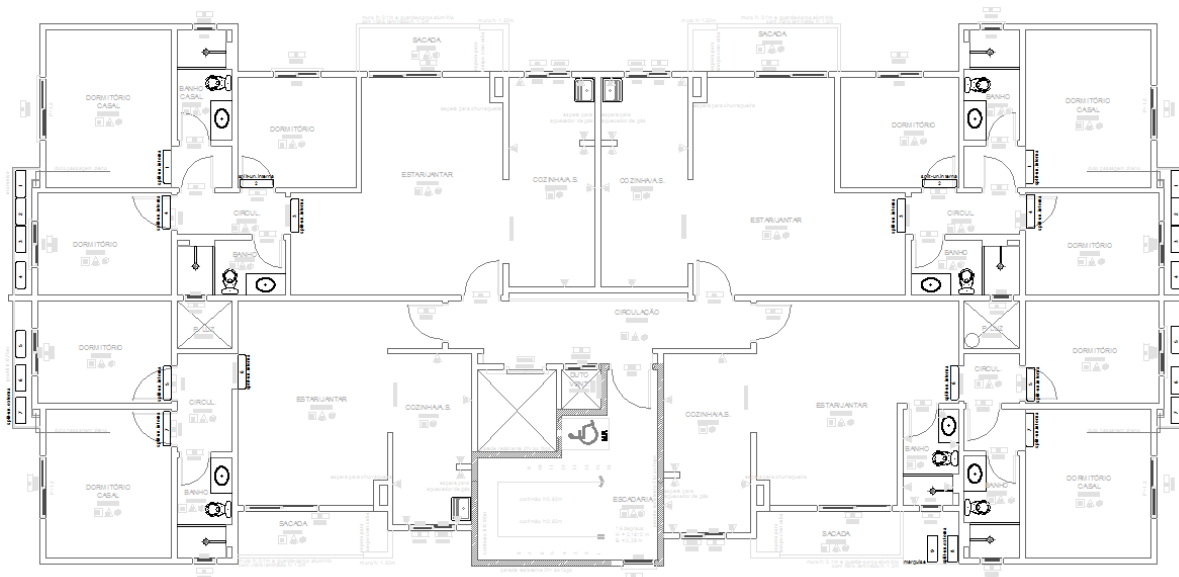


2012

8 pavimentos  
(01 torre)2 apartamentos  
(com 03 dormitórios)

Médio/Alto

## RESIDENCIAL BRETANHA



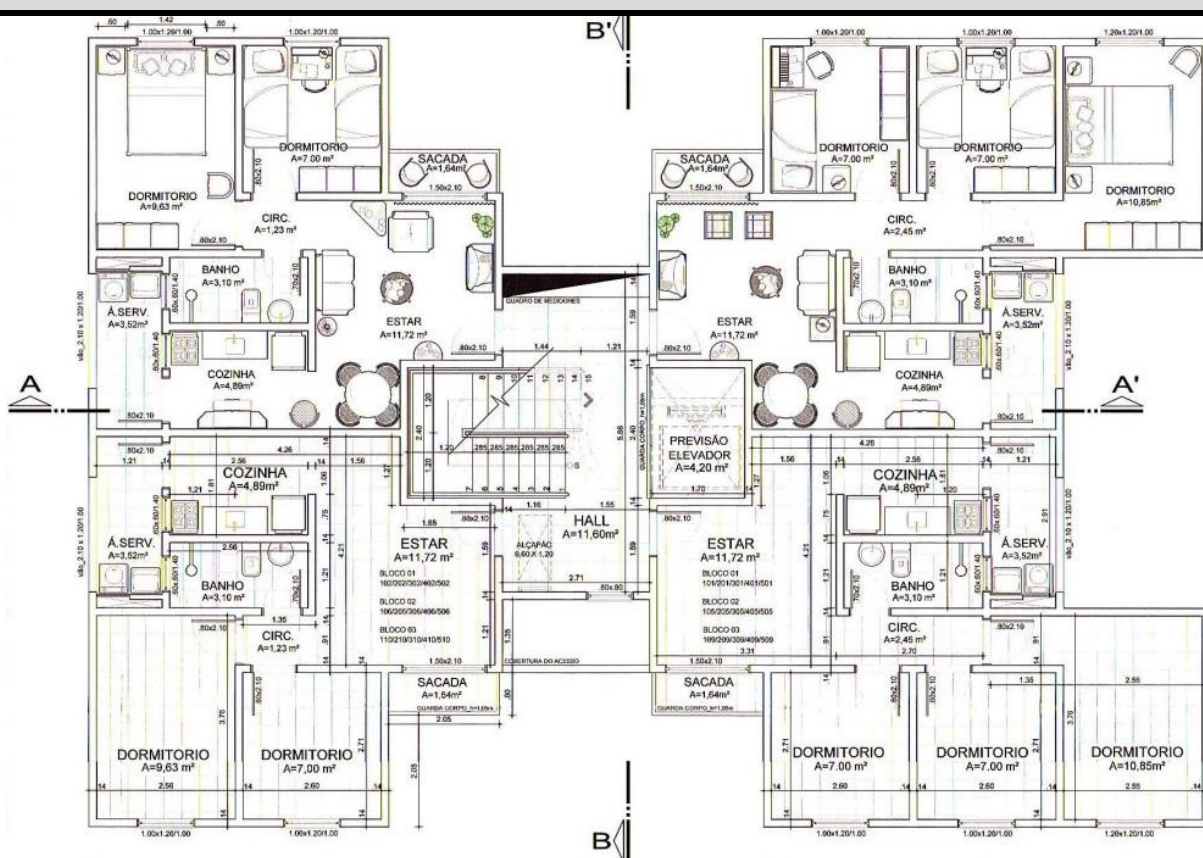
2012

11 pavimentos  
(01 torre)3 apartamentos  
(com 02 de 02 dorm. e  
01 de 03 dorm.)

Médio

(continua)

## RESIDENCIAL VILLA TOSCANA

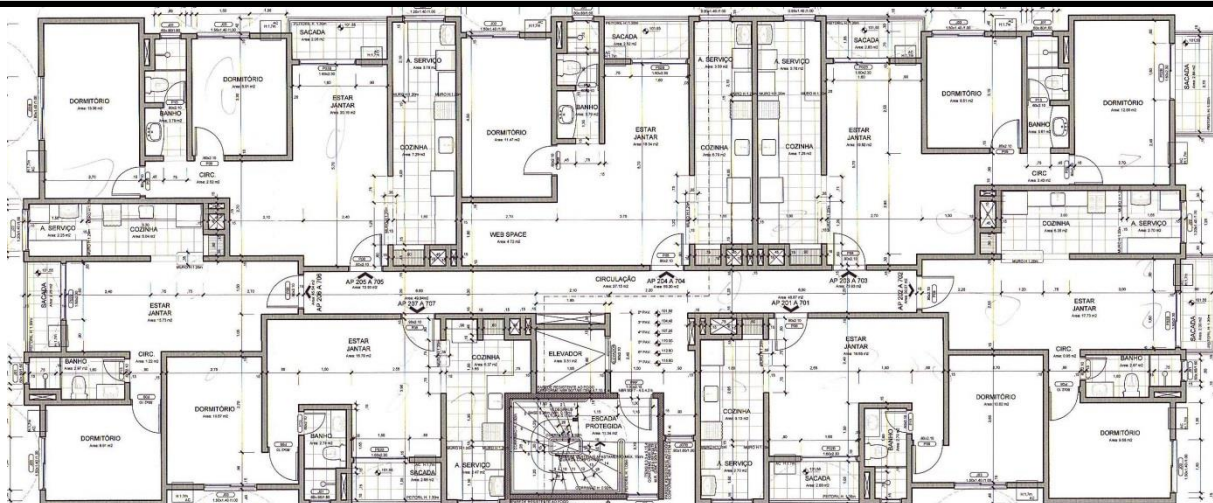


2013

5 pavimentos  
(08 torres)4 apartamentos  
(com 02 de 02  
dorm. e 02 de 03  
dorm.)

Baixo/Médio

## RESIDENCIAL SAGITÁRIUS



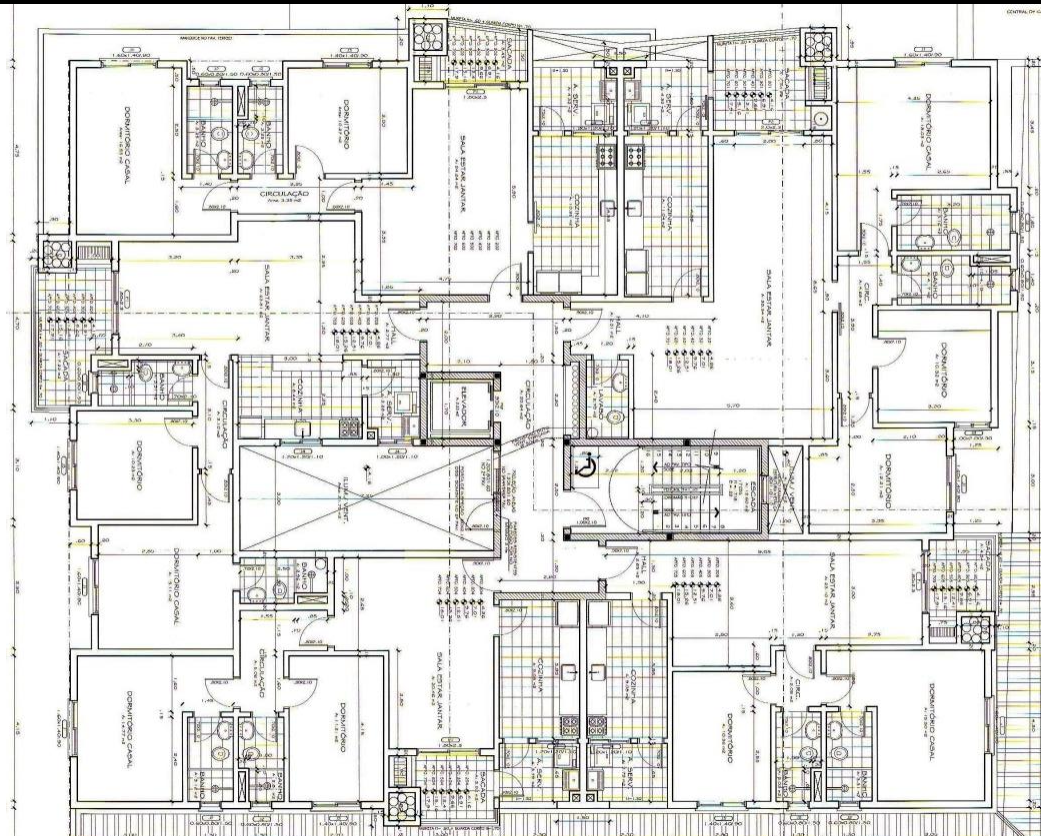
2013

6 pavimentos  
(01 torre)7 apartamentos  
(de 01 e 02 dormitórios)

Médio

(continua)

### RESIDENCIAL VISTA ALEGRE



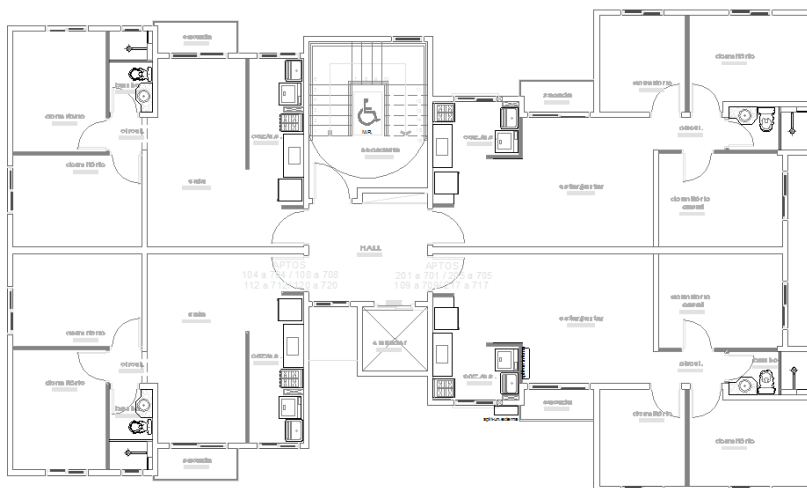
2013

09 pavimentos  
(01 torre)

5 apartamentos  
(com 04 de 02 dorm. e  
01 de 03 dorm.)

Médio/Alto

### RESIDENCIAL GREZZANA



2014

5 pavimentos  
(07 torres)

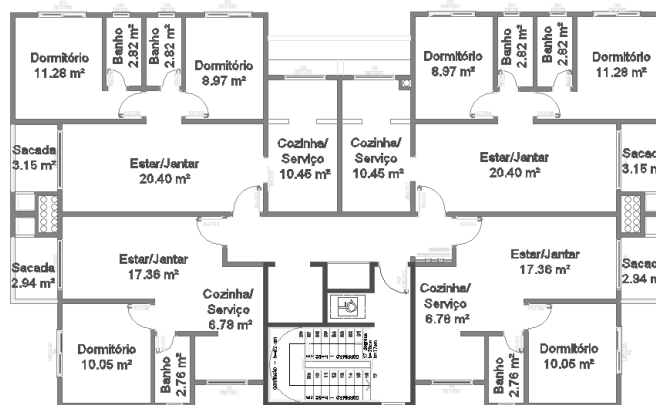
4 apartamentos  
(com 02 de 02 dorm. e 02  
de 03 dorm.)

Baixo/Médio

(continua)



### RESIDENCIAL DO PARQUE

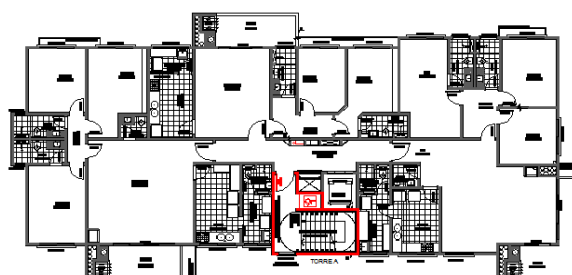
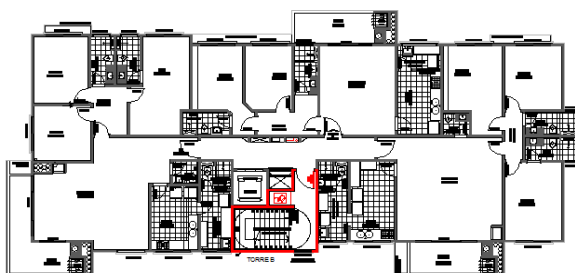


2014

7 pavimentos  
(01 torre)4 apartamentos  
(com 02 de 01 dorm. e  
02 de 02 dorm.)

Médio

### RESIDENCIAL OLAVO BILAC

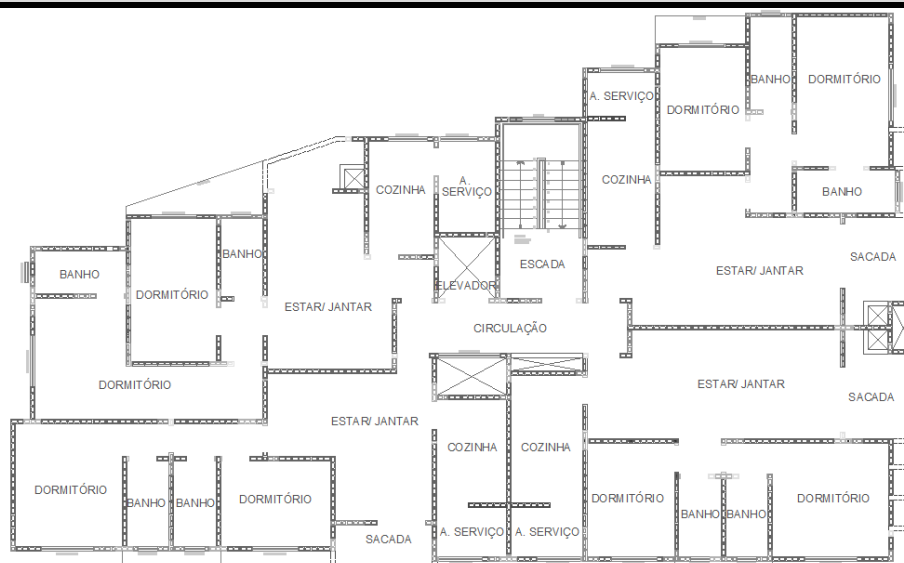


2014

10 pavimentos  
(02 torres)2 apartamentos  
(com 01 de 02 dorm. e  
02 de 03 dorm.)

Médio/Alto

### RESIDENCIAL VILARÓ



2015

6 pavimentos  
(01 torre)4 apartamentos  
(com 02 dormitórios)

Médio

(continua)

## RESIDENCIAL ARUBA

(sem planta baixa)

Em andamento	5 pavimentos (20 torres)	4 apartamentos (com 02 dormitórios)	Popular
--------------	-----------------------------	--	---------

## RESIDENCIAL TRENTINO



Tipologia 01

Tipologia 02\*

\* tipologia idêntica do Residencial Grezzana

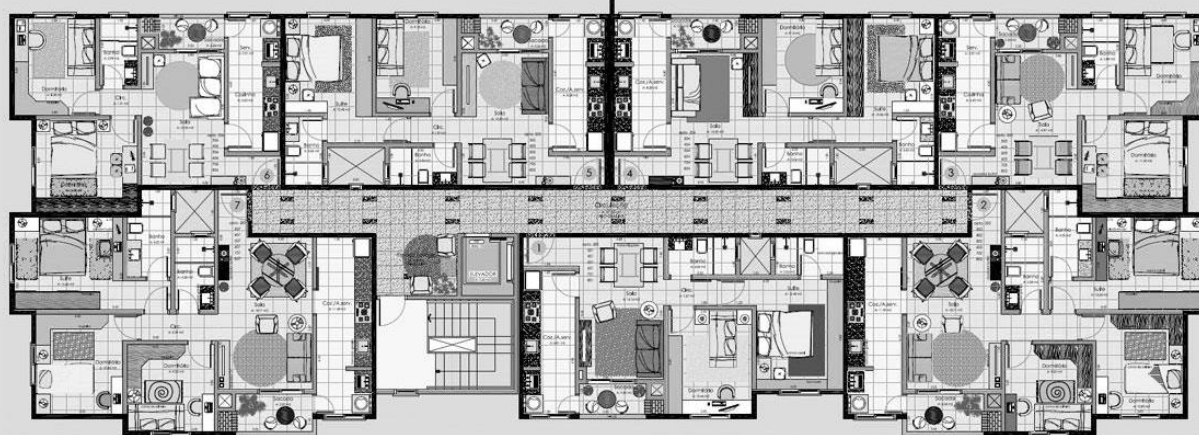
Em andamento	6 pavimentos (06 torres)	4 apartamentos (2 torres de 02 dorm. e 04 torres com 02 de dorm. e 02 de 03 dorm.)	Baixo
--------------	-----------------------------	---	-------

## RESIDENCIAL CONTEMPORANI

(sem planta baixa)

Em andamento	8 pavimentos (01 torres)	17 apartamentos (com 15 de 01 dorm. e 02 de 02 dorm.)	Médio
--------------	-----------------------------	---	-------

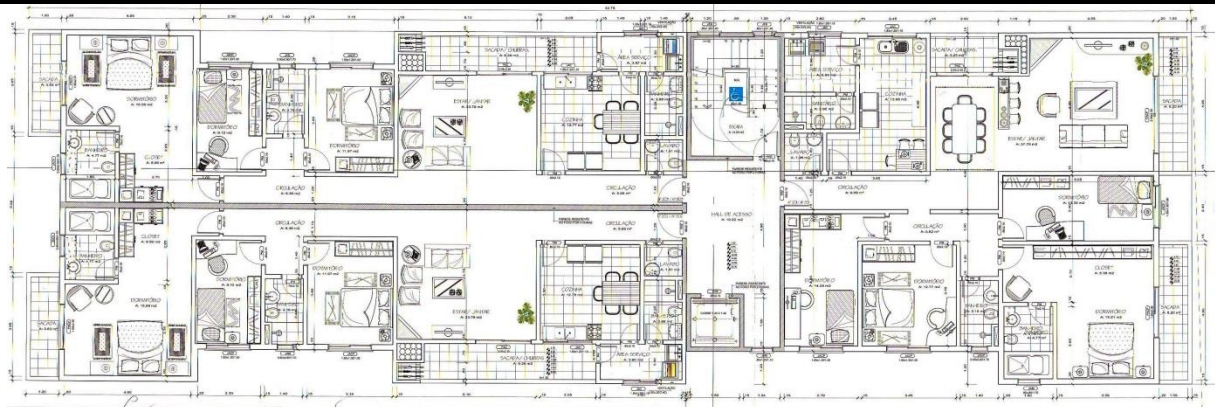
## EDIFÍCIO PORTO



Em andamento	8 pavimentos (01 torres)	04 apartamentos (com 02 de 02 dorm. e 02 de 32 dorm.)	Médio
--------------	-----------------------------	---	-------

(continua)

## EDIFÍCIO ALTO DO BOM FIM



Em  
andamento

9 pavimentos  
(01 torre)

3 apartamentos  
(de 02 de 03 dorm.  
e 01 de 04  
dormitórios)

Médio/Alto

## RESIDENCIAL TITAN



Em  
andamento

9 pavimentos  
(02 torres)

4 apartamentos  
(com 02 de 02  
dorm. e 02 de 03  
dorm.)

Médio/Alto

APÊNDICE 02 – Determinação dos graus-hora de resfriamento (GHR) e do consumo para aquecimento (CA) do apartamento 202

Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes  
RTQ - Edificações Residenciais

TERMO DE RESPONSABILIDADE (passar o mouse)

Zona Bioclimática	ZB	DETALHE IMPORTANTE: após os cálculos não modificar a zona bioclimática da célula E:10	ZB2	ZB2	ZB2
Ambiente	Identificação	adimensional	Dormitório (202)	Sala (202)	Suíte (202)
Situação do piso e cobertura	Área útil do APP	m <sup>2</sup>	9,27	21,86	11,60
Cobertura	Cobertura	adimensional	0	0	0
	Contato com solo Sobre Pilotis	adimensional	1	1	1
Paredes Externas	Ucob	W/m <sup>2</sup> .K	1,15	1,15	1,15
	CTcob	kJ/m <sup>2</sup> .K	270,11	270,11	270,11
	αcob	adimensional	0,30	0,30	0,30
Característica construtiva	Upar	W/m <sup>2</sup> .K	2,79	2,86	2,86
	C Tpar	kJ/m <sup>2</sup> .K	245,41	235,86	235,86
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	αpar	adimensional	0,30	0,30	0,30
	CTbaixa	binário	0	0	0
Áreas de Aberturas Externas	CTalta	binário	1	1	1
	NORTE	m <sup>2</sup>	7,65	0,00	8,52
	SUL	m <sup>2</sup>	0,00	0,00	7,80
Áreas de Aberturas Externas	LESTE	m <sup>2</sup>	0,00	6,65	10,11
	OESTE	m <sup>2</sup>	5,78	0,00	0,00
	NORTE	m <sup>2</sup>	2,24	0,00	2,24
Características das Aberturas	SUL	m <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,00
	LESTE	m <sup>2</sup>	0,00	4,40	0,00
	OESTE	m <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,00
Características Gerais	Fvent	adimensional	0,42	0,43	0,42
	Somb	adimensional	1,00	0,50	1,00
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	Área das Paredes Internas	m <sup>2</sup>	31,79	50,08	39,65
	Pé Direito	m	2,89	2,89	2,89
Consumo Relativo para Aquecimento	C altura	adimensional	0,312	0,132	0,249
	isol	binário	0	0	0
Consumo Relativo para Refrigeração	vid	binário	0	0	0
	Uvid	W/m <sup>2</sup> .K	0	0	0
	GHR	°C.h	C	C	C
			5690	5169	5011
	CA	kWh/m <sup>2</sup> .ano	B	A	B
			16,458	12,911	21,540
	CR	kWh/m <sup>2</sup> .ano	D	Não se aplica	A
			20,304	0,000	5,533

## APÊNDICE 03 – Planilha com a análise da envoltória e dos pré-requisitos da UH 202

Pré-requisitos por ambiente					
Pré Requisitos da Envoltória	Paredes externas	Upar, Ctpar e qpar atendem?	Não	Não	Não
	Cobertura	Ucob, Ctcob e qcob atendem?	Sim	Sim	Sim
	Fatores para iluminação e ventilação natural	O ambiente é um dormitório?	Sim	Não	Sim
		Há corredor no Ambiente?	Não	Sim	Não
		Se sim, qual é a AUamb sem contar a área deste corredor?		20,55	
	Iluminação Natural	Área de abertura para iluminação [m²]	1,03	1,84	1,03
		Ai/Auamb (%)	11,11	8,95	8,88
		Atende 12,5%?	Não	Não	Não
		Área de abertura para ventilação	1,03	1,84	1,03
	Ventilação Natural	Av/Auamb (%)	11,11	8,95	8,88
		Atende % mínima?	Sim	Sim	Sim
		Tipo de abertura	de correr	de correr	de correr
		Abertura passível de fechamento?	Sim	Sim	Sim
ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C?		Não	Não	Não	
Atende?		Sim	Sim	Sim	

Pontuação após avaliar os pré-requisitos por ambiente	Ponderação da nota pela área útil do ambiente			
	Envoltória para Verão	C	C	C
	3,00	3,00	3,00	3,00
Envoltória para Inverno	C	C	C	C
	3,00	3,00	3,00	3,00
Envoltória se Refrigerada Artificialmente	C	D	Não se aplica	C
	3,00	2,00	0,00	3,00

## APÊNDICE 04 – Planilha com variáveis para o sistema de aquecimento de água por aquecimento a gás da UH 202

Análise do aquecimento de Água  
RTQ - Edificações Residenciais

Pré-requisitos do sistema de aquecimento de água	As tubulações para água quente são apropriadas para a função de condução a que se destinam e atendem às normas técnicas de produtos aplicáveis?	Sim	Sistema de aquecimento a Gás	Pré-requisito: os aquecedores a gás do tipo instantâneo e de acumulação possuem ENCE A ou B?	Sim
	A edificação apresenta sistema de aquecimento de água?	Sim		Potência do sistema de aquecimento e volume de armazenamento dentro da variação de + ou - 20%?	Sim
	A edificação pertence a região Norte ou Nordeste?	Não		Demanda	20l
	O sistema apresenta aquecimento solar?	Não		Classificação	B
	A estrutura do reservatório apresenta resistência térmica maior ou igual a 2,20 (m²K)/W?	Sim			4
	Atende?	Sim			
	As tubulações para água quente são metálicas?	Não			
	A condutividade térmica da tubulação está entre 0,032 e 0,040 W/(mK)?	Não			
	Diâmetro nominal da tubulação (cm)	2,2			
	Espessura do isolamento (cm)	1			
Condutividade do material alternativo à temperatura média indicada para a temperatura da água (W/mK)	0,6				
Atende?	Sim				
A maior classificação que a UH pode atingir em aquecimento de água é:	A				
<b>Nota final para o aquecimento de água</b>	<b>A</b>	<b>5,00</b>			

APÊNDICE 05 – Planilha com variáveis de para avaliação das bonificações da UH  
202

**Análise das Bonificações**  
**RTQ - Edificações Residenciais**

Bonificações			
Bonificação Ventilação Natural	Porosidade	ATAVN (m²)	7,96
		AATVS (m²)	0
		AATVL (m²)	4,4
		AATVO (m²)	0
		ATFN (m²)	38,49
		ATFS (m²)	0
		ATFL (m²)	29,1
		ATFNO (m²)	0
		Pavimento da UH	1 ou 2
		Porosidade a Atender	20,0%
		Porosidade Norte	20,7%
		Porosidade Sul	0,0%
		Porosidade Leste	15,1%
		Porosidade Oeste	0,0%
	Atende pelo menos 2 fachadas?	Não	
	Bonificação	0	
	Dispositivos Especiais	Todos os APP apresentam dispositivos especiais?	Sim
		Quais dispositivos?	Venzianas em dormitórios e sombreamento por sacada nas sala
Bonificação		0,16	
Centro Geométrico	Todos os APP apresentam abertura com centro geométrico entre 0,40 e 0,70m?		
	Bonificação	0	
Permeabilidade	Todos APP apresentam abertura intermediária com área livre $\geq 30\%$ da área da abertura?		
	Bonificação	0	
Bonificação Iluminação Natural	Profundidade	50%+1 dos APP, cozinha e lavanderia atendem $P \leq 2,4 \cdot h_a$ ?	Sim
		Bonificação	0,2
	Refletância Teto	Todos os APPs, cozinha e lavanderia apresentam refletância do teto maior que 0,6?	Sim
Bonificação		0,1	
Outras Bonificações	Uso Racional de Água	Bonificação de uso racional de água	0
	Condicionamento Artificial de Ar	Bonificação de condicionamento artificial de ar	0,1
	Iluminação Artificial	Porcentagem das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75 lm/W ou com Selo Procel (em todos os ambientes)	De 50% a 99%
		Bonificação	0,05
	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?	Sim
		Garante as condições adequadas de instalação conforme recomendações do fabricante?	Sim
		Bonificação	0,1
	Medição Individualizada de Aquecimento de Água	Apresenta medição individualizada de água quente?	Sim
Bonificação		0,1	
<b>Total de bonificações</b>		<b>0,81</b>	

## APÊNDICE 06 – Pontuação total do nível da eficiência energética da UH 202

**Análise da classificação final da UH**  
**RTQ - Edificações Residenciais**

<b>Pontuação Total</b>	Identificação	702
	Envoltória para Verão	C
		3,00
	Envoltória para Inverno	C
		3,00
	Aquecimento de Água	A
		5,00
	Equivalente numérico da envoltória	C
		3,00
	Envoltória se refrigerada artificialmente	D
2,00		
Bonificações	0,81	
Região	Sul	
Coeficiente a	0,65	
<b>Classificação final da UH</b>		<b>A</b>
<b>Pontuação Total</b>		<b>4,51</b>

## APÊNDICE 07 – Planilha com as variáveis do GHR e Ca dos ambientes do UH 203

Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes  
RTQ - Edificações Residenciais

TERMO DE RESPONSABILIDADE (passe o mouse)		ZB	ZB2		ZB2	ZB2	ZB2
Zona Bioclimática	Identificação	adimensional	Dormitório (202)	Sala (202)	Suíte (202)		
Ambiente	Área útil do APP	m <sup>2</sup>	9,27	21,86	11,60		
	Cobertura	adimensional	0	0	0		
Situação do piso e cobertura	Contato com solo	adimensional	0	0	0		
	Sobre Pilotis	adimensional	1	1	1		
Cobertura	Ucob	W/m <sup>2</sup> .K	1,15	1,15	1,15		
	CTcob	kJ/m <sup>2</sup> .K	270,11	270,11	270,11		
	αcob	adimensional	0,30	0,30	0,30		
Paredes Externas	Upar	W/m <sup>2</sup> .K	2,79	2,86	2,86		
	CTpar	kJ/m <sup>2</sup> .K	245,41	235,86	235,86		
	αpar	adimensional	0,30	0,30	0,30		
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0	0	0		
	CTalta	binário	1	1	1		
	NORTE	m <sup>2</sup>	7,65	0,00	8,52		
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	SUL	m <sup>2</sup>	0,00	0,00	7,80		
	LESTE	m <sup>2</sup>	0,00	6,65	10,11		
	OESTE	m <sup>2</sup>	5,78	0,00	0,00		
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m <sup>2</sup>	2,24	0,00	2,24		
	SUL	m <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,00		
	LESTE	m <sup>2</sup>	0,00	4,40	0,00		
Características das Aberturas	OESTE	m <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,00		
	Fvent	adimensional	0,42	0,43	0,42		
	Somb	adimensional	1,00	0,50	1,00		
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m <sup>2</sup>	31,79	50,08	39,65		
	Pé Direito	m	2,89	2,89	2,89		
	C altura	adimensional	0,312	0,132	0,249		
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	0	0	0		
	vid	binário	0	0	0		
	Uvid	W/m <sup>2</sup> .K					
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	C 5690	C 5169	C 5011		
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m <sup>2</sup> .ano	B 16,458	A 12,911	B 21,540		
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m <sup>2</sup> .ano	D 20,304	Não se aplica 0,000	A 5,533		



## APÊNDICE 08 – Planilha com a análise da envoltória e dos pré-requisitos da UH 203

Pré-requisitos por ambiente					
Pré Requisitos da Envoltória	Paredes externas	Upar, Ctpar e qpar atendem?	Não	Não	Não
	Cobertura	Ucob, Ct cob e qcob atendem?	Sim	Sim	Sim
	Fatores para iluminação e ventilação natural	O ambiente é um dormitório?	Sim	Não	Sim
		Há corredor no Ambiente?	Não	Sim	Não
		Se sim, qual é a AUamb sem contar a área deste corredor?		20,55	
	Iluminação Natural	Área de abertura para iluminação [m²]	1,03	1,84	1,03
		Ai/Auamb (%)	11,11	8,95	8,88
		Atende 12,5%?	Não	Não	Não
	Ventilação Natural	Área de abertura para ventilação	1,03	1,84	1,03
		Av/Auamb (%)	11,11	8,95	8,88
		Atende % mínima?	Sim	Sim	Sim
		Tipo de abertura	de correr	de correr	de correr
		Abertura passível de fechamento?	Sim	Sim	Sim
		ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C?	Não	Não	Não
		Atende?	Sim	Sim	Sim

Pontuação após avaliar os pré-requisitos por ambiente	Ponderação da nota pela área útil do ambiente			
	Envoltória para Verão	C	C	C
	3,00	3,00	3,00	3,00
Envoltória para Inverno	C	C	C	C
	3,00	3,00	3,00	3,00
Envoltória se Refrigerada Artificialmente	C	D	Não se aplica	C
	3,00	2,00	0,00	3,00

## APÊNDICE 09 – Planilha com variáveis para o sistema de aquecimento de água por aquecimento a gás da UH 203

Análise do aquecimento de Água  
RTQ - Edificações Residenciais

Pré-requisitos do sistema de aquecimento de água	As tubulações para água quente são apropriadas para a função de condução a que se destinam e atendem às normas técnicas de produtos aplicáveis?	Sim	Sistema de aquecimento a Gás	Pré-requisito: os aquecedores a gás do tipo instantâneo e de acumulação possuem ENCE A ou B?	Sim
	A edificação apresenta sistema de aquecimento de água?	Sim			
	A edificação pertence a região Norte ou Nordeste?	Não			
	O sistema apresenta aquecimento solar?	Não			
	A estrutura do reservatório apresenta resistência térmica maior ou igual a 2,20 (m²K)/W?	Sim			
	Atende?	Sim			
	As tubulações para água quente são metálicas?	Não			
	A condutividade térmica da tubulação está entre 0,032 e 0,040 W/(mK)?	Não			
	Diâmetro nominal da tubulação (cm)	2,2			
	Espessura do isolamento (cm)	1			
	Condutividade do material alternativo à temperatura média indicada para a temperatura da água (W/mK)	0,6			
	Atende?	Sim			
A maior classificação que a UH pode atingir em aquecimento de água é:	A	Potência do sistema de aquecimento e volume de armazenamento dentro da variação de + ou - 20%?	Sim		
		Demanda	20l		
		Classificação	B		
			4		
Nota final para o aquecimento de água	A				
	5,00				

APÊNDICE 10 – Planilha com variáveis de para avaliação das bonificações da UH 203

Análise das Bonificações  
RTQ - Edificações Residenciais

Bonificações			
Bonificação Ventilação Natural	Porosidade	ATAVN (m²)	7,96
		AATVS (m²)	0
		AATVL (m²)	0
		AATVO (m²)	4,4
		ATFN (m²)	38,49
		ATFS (m²)	0
		ATFL (m²)	0
		ATFNO (m²)	29,01
		Pavimento da UH	1 ou 2
		Porosidade a Atender	20,0%
		Porosidade Norte	20,7%
		Porosidade Sul	0,0%
		Porosidade Leste	0,0%
		Porosidade Oeste	15,2%
		Atende pelo menos 2 fachadas?	Não
	Bonificação	0	
	Dispositivos Especiais	Todos os APP apresentam dispositivos especiais?	Sim
		Quais dispositivos?	Venzianas em dormitórios e sombreamento por sacada nas sala
		Bonificação	0,16
	Centro Geométrico	Todos os APP apresentam abertura com centro geométrico entre 0,40 e 0,70m?	
Bonificação		0	
Permeabilidade	Todos APP apresentam abertura intermediária com área livre $\geq 30\%$ da área da abertura?		
	Bonificação	0	
Bonificação Iluminação Natural	Profundidade	50%+1 dos APP, cozinha e lavanderia atendem $P \leq 2,4 \cdot h_a$ ?	Sim
		Bonificação	0,2
	Refletância Teto	Todos os APPs, cozinha e lavanderia apresentam refletância do teto maior que 0,6?	Sim
		Bonificação	0,1
Outras Bonificações	Uso Racional de Água	Bonificação de uso racional de água	0
	Condicionamento Artificial de Ar	Bonificação de condicionamento artificial de ar	0,1
	Iluminação Artificial	Porcentagem das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75 lm/W ou com Selo Procel (em todos os ambientes)	De 50% a 99%
		Bonificação	0,05
	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?	Sim
		Garante as condições adequadas de instalação conforme recomendações do fabricante?	Sim
		Bonificação	0,1
	Medição Individualizada de Aquecimento de Água	Apresenta medição individualizada de água quente?	Sim
Bonificação		0,1	
<b>Total de bonificações</b>			<b>0,81</b>

## APÊNDICE 11 – Pontuação total do nível da eficiência energética da UH 203

**Análise da classificação final da UH**  
**RTQ - Edificações Residenciais**

<b>Pontuação Total</b>	Identificação	702
	Envoltória para Verão	C
		3,00
	Envoltória para Inverno	C
		3,00
	Aquecimento de Água	A
		5,00
	Equivalente numérico da envoltória	C
		3,00
Envoltória se refrigerada artificialmente	D	
	2,00	
Bonificações	0,81	
Região	Sul	
Coeficiente a	0,65	
<b>Classificação final da UH</b>		<b>A</b>
<b>Pontuação Total</b>		<b>4,51</b>

APÊNDICE 12 – Planilha com as variáveis do GHR e Ca dos ambientes do UH 204  
Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes  
RTQ - Edificações Residenciais

TERMO DE RESPONSABILIDADE (passe o mouse)

Zona Bioclimática	ZB	DETALHE IMPORTANTE: após os cálculos não modificar a zona bioclimática da célula E10	ZB2	ZB2
Ambiente	Identificação	adimensional	SALA (201)	DORMITÓRIO (201)
	Área útil do APP	m²	24,63	10,20
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional	0	0
	Contato com solo	adimensional	0	0
	Sobre Pilotis	adimensional	1	1
Cobertura	Ucob	W/m².K	1,15	1,15
	CTcob	kJ/m².K	270,11	270,11
	acob	adimensional	0,30	0,30
Paredes Externas	Upar	W/m².K	2,79	2,79
	CTpar	kJ/m².K	245,41	245,41
	opar	adimensional	0,45	0,30
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0	0
	CTalta	binário	1	1
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m²	0,00	0,00
	SUL	m²	6,79	8,87
	LESTE	m²	0,00	0,00
	OESTE	m²	6,00	9,82
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m²	0,00	0,00
	SUL	m²	2,52	0,00
	LESTE	m²	3,74	0,00
	OESTE	m²	0,00	2,24
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	0,43	0,42
	Somb	adimensional	0,50	1,00
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m²	64,84	32,95
	Pé Direito	m	2,89	2,89
	C altura	adimensional	0,117	0,283
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	0	0
	vid	binário	0	0
	Uvid	W/m².K		
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	<b>C</b> 5461	<b>C</b> 4891
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m².ano	<b>A</b> 13,443	<b>B</b> 20,794
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m².ano	Não se aplica 0,000	<b>C</b> 14,997

Pré-requisitos por ambiente				
Pré Requisitos da Envoltória	Paredes externas	Upar, Ctpar e opar atendem?	Não	Não
	Cobertura	Ucob, Ctcob e acob atendem?	Sim	Sim
	Fatores para iluminação e ventilação natural	O ambiente é um dormitório?	Não	Sim
		Há corredor no Ambiente?	Não	Não
		Se sim, qual é a AUamb sem contar a área deste corredor?		0
	Iluminação Natural	Área de abertura para iluminação [m²]	3,2	1,84
		Ai/Auamb (%)	12,99	18,04
		Atende 12,5%?	Sim	Sim
	Ventilação Natural	Área de abertura para ventilação	1,03	1,84
		Av/Auamb (%)	4,18	18,04
		Atende % mínima?	Não	Sim
		Tipo de abertura	de correr	de correr
		Abertura passível de fechamento?	Sim	Sim
		ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C?	Não	Não
Atende?	Sim	Sim		

Pontuação após avaliar os pré-requisitos por ambiente	Ponderação da nota pela área útil do ambiente			
	Envoltória para Verão	C	C	C
		3,00	3,00	3,00
	Envoltória para Inverno	C	C	C
		3,00	3,00	3,00
Envoltória se Refrigeração Artificialmente	C	Não se aplica	C	
	3,00	0,00	3,00	

APÊNDICE 13 – Planilha com variáveis para o sistema de aquecimento de água por aquecimento a gás da UH 204

### Análise do aquecimento de Água RTQ - Edificações Residenciais

Pré-requisitos do sistema de aquecimento de água	As tubulações para água quente são apropriadas para a função de condução a que se destinam e atendem às normas técnicas de produtos aplicáveis?	Sim
	A edificação apresenta sistema de aquecimento de água?	Sim
	A edificação pertence a região Norte ou Nordeste?	Não
	O sistema apresenta aquecimento solar?	Não
	A estrutura do reservatório apresenta resistência térmica maior ou igual a 2,20 (m <sup>2</sup> K)/W ?	Sim
	Atende?	<b>Sim</b>
	As tubulações para água quente são metálicas?	Não
	A condutividade térmica da tubulação está entre 0,032 e 0,040 W/(mK)?	Não
	Diâmetro nominal da tubulação (cm)	2,2
	Espessura do isolamento (cm)	1
	Condutividade do material alternativo à temperatura média indicada para a temperatura da água (W/mK)	0,6
	Atende?	Sim
	<b>A maior classificação que a UH pode atingir em aquecimento de água é:</b>	<b>A</b>
	Sistema de aquecimento a Gás	Pré-requisito: os aquecedores a gás do tipo instantâneo e de acumulação possuem ENCE A ou B?
Potência do sistema de aquecimento e volume de armazenamento dentro da variação de + ou - 20%?		Sim
Demanda		20l
<b>Classificação</b>		<b>B</b>
		4
	<b>Nota final para o aquecimento de água</b>	<b>A</b>
		5,00

APÊNDICE 14 – Planilha com variáveis de para avaliação das bonificações da UH 204

Análise das Bonificações  
RTQ - Edificações Residenciais

Bonificações			
Bonificação Ventilação Natural	Porosidade	ATAVN (m²)	0
		AATVS (m²)	1,38
		AATVL (m²)	0
		AATVO (m²)	2,77
		ATFN (m²)	0
		ATFS (m²)	22,54
		ATFL (m²)	0
		ATFNO (m²)	23,61
		Pavimento da UH	1 ou 2
		Porosidade a Atender	20,0%
		Porosidade Norte	0,0%
		Porosidade Sul	6,1%
		Porosidade Leste	0,0%
		Porosidade Oeste	11,7%
		Atende pelo menos 2 fachadas?	Não
	Bonificação	0	
	Dispositivos Especiais	Todos os APP apresentam dispositivos especiais?	Sim
		Quais dispositivos?	Venzianas em dormitório e sombreamento por sacada na sala
		Bonificação	0,16
	Centro Geométrico	Todos os APP apresentam abertura com centro geométrico entre 0,40 e 0,70m?	
Bonificação		0	
Permeabilidade	Todos APP apresentam abertura intermediária com área livre $\geq 30\%$ da área da abertura?		
	Bonificação	0	
Bonificação Iluminação Natural	Profundidade	50%+1 dos APP, cozinha e lavanderia atendem $P \leq 2,4 \cdot h_a$ ?	Não
		Bonificação	0
	Refletância Teto	Todos os APPs, cozinha e lavanderia apresentam refletância do teto maior que 0,6?	Sim
		Bonificação	0,1
Outras Bonificações	Uso Racional de Água	Bonificação de uso racional de água	0
	Condicionamento Artificial de Ar	Bonificação de condicionamento artificial de ar	0,1
	Iluminação Artificial	Porcentagem das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75 lm/W ou com Selo Procel (em todos os ambientes)	De 50% a 99%
		Bonificação	0,05
	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?	Sim
		Garante as condições adequadas de instalação conforme recomendações do fabricante?	Sim
		Bonificação	0,1
	Medição Individualizada de Aquecimento de Água	Apresenta medição individualizada de água quente?	Sim
Bonificação		0,1	
<b>Total de bonificações</b>			<b>0,61</b>

## APÊNDICE 15 – Pontuação total do nível da eficiência energética da UH 204

**Análise da classificação final da UH**  
**RTQ - Edificações Residenciais**

<b>Pontuação Total</b>	Identificação	204
	Envoltória para Verão	C
		3,00
	Envoltória para Inverno	C
		3,00
	Aquecimento de Água	A
		5,00
	Equivalente numérico da envoltória	C
		3,00
	Envoltória se refrigerada artificialmente	E
1,00		
Bonificações	0,61	
Região	Sul	
Coeficiente a	0,65	
<b>Classificação final da UH</b>		<b>B</b>
<b>Pontuação Total</b>		<b>4,31</b>

## APÊNDICE 16 – Planilha com as variáveis do GHr e Ca dos ambientes do UH 501

### Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes RTQ - Edificações Residenciais

TERMO DE RESPONSABILIDADE (passe o mouse)

Zona Bioclimática	ZB	DETALHE IMPORTANTE: após os cálculos não modificar a zona bioclimática da célula E10	ZB2	ZB2
Ambiente	Identificação	adimensional	SALA (201)	DORMITÓRIO (201)
	Área útil do APP	m²	24,63	10,20
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional	0	0
	Contato com solo	adimensional	0	0
	Sobre Pilotis	adimensional	0	0
Cobertura	Ucob	W/m².K	1,15	1,15
	CTcob	kJ/m².K	270,11	270,11
	acob	adimensional	0,30	0,30
Paredes Externas	Upar	W/m².K	2,79	2,79
	CTpar	kJ/m².K	245,41	245,41
	qpar	adimensional	0,45	0,30
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0	0
	CTalta	binário	1	1
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m²	0,00	0,00
	SUL	m²	6,79	8,87
	LESTE	m²	6,00	9,82
	OESTE	m²	0,00	0,00
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m²	0,00	0,00
	SUL	m²	2,52	0,00
	LESTE	m²	3,74	2,24
	OESTE	m²	0,00	0,00
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	0,43	0,42
	Somb	adimensional	0,50	1,00
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m²	64,84	32,95
	Pé Direito	m	2,89	2,89
	C altura	adimensional	0,117	0,283
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	0	0
	vid	binário	0	0
	Uvid	W/m².K		
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	C 5174	C 5312
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m².ano	A 8,024	A 15,005
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m².ano	Não se aplica 0,000	D 18,780

Pré-requisitos por ambiente					
Pré Requisitos da Envoltória	Paredes externas	Upar, Ctpar e apar atendem?	Não	Não	
	Cobertura	Ucob, Ctcob e acob atendem?	Sim	Sim	
	Fatores para iluminação e ventilação natural	O ambiente é um dormitório?		Não	Sim
		Há corredor no Ambiente?		Não	Não
		Se sim, qual é a AUamb sem contar a área deste corredor?			0
	Iluminação Natural	Área de abertura para iluminação [m²]		3,2	1,84
		Ai/Auamb (%)		12,99	18,04
		Atende 12,5%?		Sim	Sim
	Ventilação Natural	Área de abertura para ventilação		1,03	1,84
		Av/Auamb (%)		4,18	18,04
		Atende % mínima?		Não	Sim
		Tipo de abertura		de correr	de correr
		Abertura passível de fechamento?		Sim	Sim
		ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C?		Não	Não
	Atende?		Sim	Sim	

Ponderação da nota pela área útil do ambiente				
Pontuação após avaliar os pré-requisitos por ambiente	Envoltória para Verão	C	C	C
		3,00	3,00	3,00
	Envoltória para Inverno	C	C	C
		3,00	3,00	3,00
	Envoltória se Refrigerada Artificialmente	D	Não se aplica	D
		2,00	0,00	2,00



APÊNDICE 17 – Planilha com variáveis para o sistema de aquecimento de água por aquecimento à gás da UH 501

### Análise do aquecimento de Água RTQ - Edificações Residenciais

<b>Pré-requisitos do sistema de aquecimento de água</b>	As tubulações para água quente são apropriadas para a função de condução a que se destinam e atendem às normas técnicas de produtos aplicáveis?	Sim
	A edificação apresenta sistema de aquecimento de água?	Sim
	A edificação pertence a região Norte ou Nordeste?	Não
	O sistema apresenta aquecimento solar?	Não
	A estrutura do reservatório apresenta resistência térmica maior ou igual a 2,20 (m <sup>2</sup> K)/W ?	Sim
	Atende?	<b>Sim</b>
	As tubulações para água quente são metálicas?	Não
	A condutividade térmica da tubulação está entre 0,032 e 0,040 W/(mK)?	Não
	Diâmetro nominal da tubulação (cm)	2,2
	Espessura do isolamento (cm)	1
	Condutividade do material alternativo à temperatura média indicada para a temperatura da água (W/mK)	0,6
	Atende?	Sim
	<b>A maior classificação que a UH pode atingir em aquecimento de água é:</b>	<b>A</b>
	<b>Sistema de aquecimento a Gás</b>	Pré-requisito: os aquecedores a gás do tipo instantâneo e de acumulação possuem ENCE A ou B?
Potência do sistema de aquecimento e volume de armazenamento dentro da variação de + ou - 20%?		Sim
Demanda		20l
<b>Classificação</b>		<b>B</b>
		4
	<b>Nota final para o aquecimento de água</b>	<b>A</b>
		5,00

## APÊNDICE 18 – Planilha com variáveis de para avaliação das bonificações da UH 501

### Análise das Bonificações RTQ - Edificações Residenciais

Bonificações			
Bonificação Ventilação Natural	Porosidade	ATAVN (m²)	0
		AATVS (m²)	1,38
		AATVL (m²)	2,77
		AATVO (m²)	0
		ATFN (m²)	0
		ATFS (m²)	22,54
		ATFL (m²)	23,61
		ATFNO (m²)	0
		Pavimento da UH	4 ou 5
		Porosidade a Atender	14,0%
		Porosidade Norte	0,0%
		Porosidade Sul	6,1%
		Porosidade Leste	11,7%
		Porosidade Oeste	0,0%
		Atende pelo menos 2 fachadas?	Não
	Bonificação	0	
	Dispositivos Especiais	Todos os APP apresentam dispositivos especiais?	Sim
		Quais dispositivos?	Venzianas em dormitório e sombreamento por sacada na sala
		Bonificação	0,16
	Centro Geométrico	Todos os APP apresentam abertura com centro geométrico entre 0,40 e 0,70m?	
Bonificação		0	
Permeabilidade	Todos APP apresentam abertura intermediária com área livre $\geq 30\%$ da área da abertura?		
	Bonificação	0	
Bonificação Iluminação Natural	Profundidade	50%+1 dos APP, cozinha e lavanderia atendem $P \leq 2,4 \cdot h_a$ ?	Não
		Bonificação	0
	Refletância Teto	Todos os APPs, cozinha e lavanderia apresentam refletância do teto maior que 0,6?	Sim
Bonificação		0,1	
Outras Bonificações	Uso Racional de Água	Bonificação de uso racional de água	0
	Condicionamento Artificial de Ar	Bonificação de condicionamento artificial de ar	0,1
	Iluminação Artificial	Porcentagem das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75 lm/W ou com Selo Procel (em todos os ambientes)	De 50% a 99%
		Bonificação	0,05
	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?	Sim
		Garante as condições adequadas de instalação conforme recomendações do fabricante?	Sim
		Bonificação	0,1
	Medição Individualizada de Aquecimento de Água	Apresenta medição individualizada de água quente?	Sim
Bonificação		0,1	
<b>Total de bonificações</b>			<b>0,61</b>

## APÊNDICE 19 – Pontuação total do nível da eficiência energética da UH 501

**Análise da classificação final da UH**  
**RTQ - Edificações Residenciais**

<b>Pontuação Total</b>	Identificação	501
	Envoltória para Verão	<b>C</b>
		3,00
	Envoltória para Inverno	<b>C</b>
		3,00
	Aquecimento de Água	<b>A</b>
		5,00
	Equivalente numérico da envoltória	<b>C</b>
		3,00
	Envoltória se refrigerada artificialmente	<b>D</b>
2,00		
Bonificações	0,61	
Região	Sul	
Coeficiente a	0,65	
<b>Classificação final da UH</b>		<b>B</b>
<b>Pontuação Total</b>		<b>4,31</b>



## APÊNDICE 21 – Planilha com a análise da envoltória e dos pré-requisitos da UH 502

Pré-requisitos por ambiente					
Pré Requisitos da Envoltória	Paredes externas	Upar, Ctpar e qpar atendem?	Não	Não	Não
	Cobertura	Ucob, Ctcob e qcob atendem?	Sim	Sim	Sim
	Fatores para iluminação e ventilação natural	O ambiente é um dormitório?	Sim	Não	Sim
		Há corredor no Ambiente?	Não	Sim	Não
		Se sim, qual é a AUamb sem contar a área deste corredor?		20,55	
	Iluminação Natural	Área de abertura para iluminação [m²]	1,03	1,84	1,03
		Ai/Auamb (%)	11,11	8,95	8,88
		Atende 12,5%?	Não	Não	Não
	Ventilação Natural	Área de abertura para ventilação	1,03	1,84	1,03
		Av/Auamb (%)	11,11	8,95	8,88
		Atende % mínima?	Sim	Sim	Sim
		Tipo de abertura	de correr	de correr	de correr
		Abertura passível de fechamento?	Sim	Sim	Sim
		ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C?	Não	Não	Não
Atende?		Sim	Sim	Sim	

Pontuação após avaliar os pré-requisitos por ambiente	Ponderação da nota pela área útil do ambiente				
	Envoltória para Verão	C	C	C	C
		3,00	3,00	3,00	3,00
	Envoltória para Inverno	C	C	C	C
		3,00	3,00	3,00	3,00
Envoltória se Refrigerada Artificialmente	C	E	Não se aplica	C	
	3,00	1,00	0,00	3,00	

## APÊNDICE 22 – Planilha com variáveis para o sistema de aquecimento de água por aquecimento à gás da UH 502

### Análise do aquecimento de Água RTQ - Edificações Residenciais

Pré-requisitos do sistema de aquecimento de água	As tubulações para água quente são apropriadas para a função de condução a que se destinam e atendem às normas técnicas de produtos aplicáveis?	Sim	Sistema de aquecimento a Gás	Pré-requisito: os aquecedores a gás do tipo instantâneo e de acumulação possuem ENCE A ou B?	Sim			
	A edificação apresenta sistema de aquecimento de água?	Sim						
	A edificação pertence a região Norte ou Nordeste?	Não						
	O sistema apresenta aquecimento solar?	Não						
	A estrutura do reservatório apresenta resistência térmica maior ou igual a 2,20 (m²K)/W?	Sim						
	Atende?	Sim						
	As tubulações para água quente são metálicas?	Não						
	A condutividade térmica da tubulação está entre 0,032 e 0,040 W/(mK)?	Não						
	Diâmetro nominal da tubulação (cm)	2,2						
	Espessura do isolamento (cm)	1						
	Condutividade do material alternativo à temperatura média indicada para a temperatura da água (W/mK)	0,6						
	Atende?	Sim						
A maior classificação que a UH pode atingir em aquecimento de água é:	A							
		Nota final para o aquecimento de água		A	5,00			

## APÊNDICE 23 – Planilha com variáveis de para avaliação das bonificações da UH 502

### Análise das Bonificações RTQ - Edificações Residenciais

Bonificações			
Bonificação Ventilação Natural	Porosidade	ATAVN (m²)	7,96
		AATVS (m²)	0
		AATVL (m²)	0
		AATVO (m²)	4,4
		ATFN (m²)	38,49
		ATFS (m²)	0
		ATFL (m²)	0
		ATFNO (m²)	29,1
		Pavimento da UH	4 ou 5
		Porosidade a Atender	14,0%
		Porosidade Norte	20,7%
		Porosidade Sul	0,0%
		Porosidade Leste	0,0%
		Porosidade Oeste	15,1%
	Atende pelo menos 2 fachadas?	Sim	
	Bonificação	0,12	
	Dispositivos Especiais	Todos os APP apresentam dispositivos especiais?	Sim
Quais dispositivos?		Venzianas em dormitórios e sombreamento por sacada nas sala	
Bonificação		0,16	
Centro Geométrico	Todos os APP apresentam abertura com centro geométrico entre 0,40 e 0,70m?		
	Bonificação	0	
Permeabilidade	Todos APP apresentam abertura intermediária com área livre $\geq 30\%$ da área da abertura?		
	Bonificação	0	
Bonificação Iluminação Natural	Profundidade	50%+1 dos APP, cozinha e lavanderia atendem $P \leq 2,4 \cdot h_a$ ?	Sim
		Bonificação	0,2
	Refletância Teto	Todos os APPs, cozinha e lavanderia apresentam refletância do teto maior que 0,6?	Sim
Bonificação		0,1	
Outras Bonificações	Uso Racional de Água	Bonificação de uso racional de água	0
	Condicionamento Artificial de Ar	Bonificação de condicionamento artificial de ar	0,1
	Iluminação Artificial	Porcentagem das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75 lm/W ou com Selo Procel (em todos os ambientes)	De 50% a 99%
		Bonificação	0,05
	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?	Sim
		Garante as condições adequadas de instalação conforme recomendações do fabricante?	Sim
		Bonificação	0,1
	Medição Individualizada de Aquecimento de Água	Apresenta medição individualizada de água quente?	Sim
Bonificação		0,1	
<b>Total de bonificações</b>			<b>0,93</b>

## APÊNDICE 24 – Pontuação total do nível da eficiência energética da UH 502

**Análise da classificação final da UH  
RTQ - Edificações Residenciais**

<b>Pontuação Total</b>	Identificação	502
	Envoltória para Verão	<b>D</b>
		2,35
	Envoltória para Inverno	<b>C</b>
		3,00
	Aquecimento de Água	<b>A</b>
		5,00
	Equivalente numérico da envoltória	<b>C</b>
		2,71
	Envoltória se refrigerada artificialmente	<b>C</b>
3,00		
Bonificações	0,93	
Região	Sul	
Coeficiente a	0,65	
<b>Classificação final da UH</b>		<b>B</b>
<b>Pontuação Total</b>		<b>4,44</b>





## APÊNDICE 26 – Planilha com a análise da envoltória e dos pré-requisitos da UH 503

Pré-requisitos por ambiente					
Pré Requisitos da Envoltória	Paredes externas	Upar, Cpar e cpar atendem?	Não	Não	Não
	Cobertura	Ucob, Ccob e acob atendem?	Sim	Sim	Sim
	Fatores para iluminação e ventilação natural	O ambiente é um dormitório?	Sim	Não	Sim
		Há corredor no Ambiente?	Não	Sim	Não
		Se sim, qual é a AUamb sem contar a área deste corredor?		20,55	
	Iluminação Natural	Área de abertura para iluminação [m²]	1,03	1,84	1,03
		Ai/Auamb (%)	11,11	8,95	8,88
		Atende 12,5%?	Não	Não	Não
	Ventilação Natural	Área de abertura para ventilação	1,03	1,84	1,03
		Av/Auamb (%)	11,11	8,95	8,88
		Atende % mínima?	Sim	Sim	Sim
		Tipo de abertura	de correr	de correr	de correr
		Abertura passível de fechamento?	Sim	Sim	Sim
		ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C?	Não	Não	Não
Atende?		Sim	Sim	Sim	

Ponderação da nota pela área útil do ambiente					
Pontuação após avaliar os pré-requisitos por ambiente	Envoltória para Verão	C	C	C	C
		3,00	3,00	3,00	3,00
	Envoltória para Inverno	C	C	C	C
		3,00	3,00	3,00	3,00
Envoltória se Refrigerada Artificialmente	C	E	Não se aplica	C	
	3,00	1,00	0,00	3,00	

## APÊNDICE 27 – Planilha com variáveis para o sistema de aquecimento de água por aquecimento à gás da UH 503

Análise do aquecimento de Água  
RTQ - Edificações Residenciais

Pré-requisitos do sistema de aquecimento de água	As tubulações para água quente são apropriadas para a função de condução a que se destinam e atendem às normas técnicas de produtos aplicáveis?	Sim	Sistema de aquecimento a Gás	Pré-requisito: os aquecedores a gás do tipo instantâneo e de acumulação possuem ENCE A ou B?	Sim
	A edificação apresenta sistema de aquecimento de água?	Sim			
	A edificação pertence a região Norte ou Nordeste?	Não			
	O sistema apresenta aquecimento solar?	Não			
	A estrutura do reservatório apresenta resistência térmica maior ou igual a 2,20 (m²K)/W?	Sim			
	Atende?	Sim			
	As tubulações para água quente são metálicas?	Não			
	A condutividade térmica da tubulação está entre 0,032 e 0,040 W/(mK)?	Não			
	Diâmetro nominal da tubulação (cm)	2,2			
	Espessura do isolamento (cm)	1			
	Condutividade do material alternativo à temperatura média indicada para a temperatura da água (W/mK)	0,6			
	Atende?	Sim			
	A maior classificação que a UH pode atingir em aquecimento de água é:	A			
			5,00		
			Potência do sistema de aquecimento e volume de armazenamento dentro da variação de ± ou - 20%?	Sim	
			Demanda	20l	
			Classificação	B	
				4	

## APÊNDICE 28 – Planilha com variáveis de para avaliação das bonificações da UH 503

### Análise das Bonificações RTQ - Edificações Residenciais

Bonificações			
Bonificação Ventilação Natural	Porosidade	ATAVN (m²)	0
		AATVS (m²)	1,38
		AATVL (m²)	0
		AATVO (m²)	2,77
		ATFN (m²)	0
		ATFS (m²)	22,54
		ATFL (m²)	0
		ATFNO (m²)	23,61
		Pavimento da UH	4 ou 5
		Porosidade a Atender	14,0%
		Porosidade Norte	0,0%
		Porosidade Sul	6,1%
		Porosidade Leste	0,0%
		Porosidade Oeste	11,7%
	Atende pelo menos 2 fachadas?	Não	
	Bonificação	0	
	Dispositivos Especiais	Todos os APP apresentam dispositivos especiais?	Sim
Quais dispositivos?		Venzianas em dormitório e sombreamento por sacada na sala	
Bonificação		0,16	
Centro Geométrico	Todos os APP apresentam abertura com centro geométrico entre 0,40 e 0,70m?		
	Bonificação	0	
Permeabilidade	Todos APP apresentam abertura intermediária com área livre $\geq 30\%$ da área da abertura?		
	Bonificação	0	
Bonificação Iluminação Natural	Profundidade	50%+1 dos APP, cozinha e lavanderia atendem $P \leq 2,4 \cdot h_a$ ?	Não
		Bonificação	0
	Refletância Teto	Todos os APPs, cozinha e lavanderia apresentam refletância do teto maior que 0,6?	Sim
Bonificação		0,1	
Outras Bonificações	Uso Racional de Água	Bonificação de uso racional de água	0
	Condicionamento Artificial de Ar	Bonificação de condicionamento artificial de ar	0,1
		Iluminação Artificial	Porcentagem das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75 lm/W ou com Selo Procel (em todos os ambientes)
	Bonificação		0,05
	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?	Sim
		Garante as condições adequadas de instalação conforme recomendações do fabricante?	Sim
		Bonificação	0,1
	Medição Individualizada de Aquecimento de Água	Apresenta medição individualizada de água quente?	Sim
Bonificação		0,1	
<b>Total de bonificações</b>			<b>0,61</b>

## APÊNDICE 29 – Pontuação total do nível da eficiência energética da UH 503

**Análise da classificação final da UH  
RTQ - Edificações Residenciais**

<b>Pontuação Total</b>	Identificação	503
	Envoltória para Verão	<b>D</b>
		2,35
	Envoltória para Inverno	<b>C</b>
		3,00
	Aquecimento de Água	<b>A</b>
		5,00
	Equivalente numérico da envoltória	<b>C</b>
		2,71
	Envoltória se refrigerada artificialmente	<b>C</b>
3,00		
Bonificações	0,93	
Região	Sul	
Coeficiente a	0,65	

<b>Classificação final da UH</b>	<b>B</b>
<b>Pontuação Total</b>	<b>4,44</b>

## APÊNDICE 30 – Planilha com as variáveis do GHR e Ca dos ambientes do UH 504

### Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes RTQ - Edificações Residenciais

TERMO DE RESPONSABILIDADE (passe o mouse)

Zona Bioclimática	ZB	DETALHE IMPORTANTE: após os cálculos não modificar a zona bioclimática da célula E10	ZB2	ZB2
Ambiente	Identificação	adimensional	SALA (504)	DORMITÓRIO (504)
	Área útil do APP	m²	24,63	10,20
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional	0	0
	Contato com solo	adimensional	0	0
	Sobre Pilotis	adimensional	0	0
Cobertura	Ucob	W/m².K	1,15	1,15
	CTcob	kJ/m².K	270,11	270,11
	acob	adimensional	0,30	0,30
Paredes Externas	Upar	W/m².K	2,79	2,79
	CTpar	kJ/m².K	245,41	245,41
	opar	adimensional	0,45	0,30
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0	0
	CTalta	binário	1	1
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m²	0,00	0,00
	SUL	m²	6,79	8,87
	LESTE	m²	0,00	0,00
	OESTE	m²	6,00	9,82
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m²	0,00	0,00
	SUL	m²	2,52	0,00
	LESTE	m²	3,74	0,00
	OESTE	m²	0,00	2,24
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	0,43	0,42
	Somb	adimensional	0,50	1,00
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m²	64,84	32,95
	Pé Direito	m	2,89	2,89
	C altura	adimensional	0,117	0,283
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	0	0
	vid	binário	0	0
	Uvid	W/m².K		
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	<b>C</b> 5775	<b>C</b> 5205
	Consumo Relativo para Aquecimento	CA	<b>A</b> 8,027	<b>A</b> 14,194
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kJWh/m².ano	<b>D</b> Não se aplica 0,000	<b>D</b> 17,457

Pré-requisitos por ambiente				
Pré Requisitos da Envoltória	Paredes externas	Upar, CTpar e opar atendem?	Não	Não
	Cobertura	Ucob, CTcob e acob atendem?	Sim	Sim
	Fatores para iluminação e ventilação natural	O ambiente é um dormitório?	Não	Sim
		Há corredor no Ambiente?	Não	Não
		Se sim, qual é a AUamb sem contar a área deste corredor?		0
	Iluminação Natural	Área de abertura para iluminação [m²]	3,2	1,84
		Ai/Auamb (%)	12,99	18,04
		Atende 12,5%?	Sim	Sim
	Ventilação Natural	Área de abertura para ventilação	1,03	1,84
		Av/Auamb (%)	4,18	18,04
		Atende % mínima?	Não	Sim
		Tipo de abertura	de correr	de correr
		Abertura passível de fechamento?	Sim	Sim
		ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C?	Não	Não
Atende?	Sim	Sim		

Pontuação após avaliar os pré-requisitos por ambiente	Ponderação da nota pela área útil do ambiente			
	Envoltória para Verão	C	C	C
		3,00	3,00	3,00
	Envoltória para Inverno	C	C	C
3,00		3,00	3,00	
Envoltória se Refrigeração Artificialmente	D	Não se aplica	D	
	2,00	0,00	2,00	

APÊNDICE 31 – Planilha com variáveis para o sistema de aquecimento de água por aquecimento a gás da UH 504

### Análise do aquecimento de Água RTQ - Edificações Residenciais

<b>Pré-requisitos do sistema de aquecimento de água</b>	As tubulações para água quente são apropriadas para a função de condução a que se destinam e atendem às normas técnicas de produtos aplicáveis?	Sim
	A edificação apresenta sistema de aquecimento de água?	Sim
	A edificação pertence a região Norte ou Nordeste?	Não
	O sistema apresenta aquecimento solar?	Não
	A estrutura do reservatório apresenta resistência térmica maior ou igual a 2,20 (m <sup>2</sup> K)/W ?	Sim
	Atende?	<b>Sim</b>
	As tubulações para água quente são metálicas?	Não
	A condutividade térmica da tubulação está entre 0,032 e 0,040 W/(mK)?	Não
	Diâmetro nominal da tubulação (cm)	2,2
	Espessura do isolamento (cm)	1
	Condutividade do material alternativo à temperatura média indicada para a temperatura da água (W/mK)	0,6
	Atende?	Sim
	<b>A maior classificação que a UH pode atingir em aquecimento de água é:</b>	<b>A</b>
	<b>Sistema de aquecimento a Gás</b>	Pré-requisito: os aquecedores a gás do tipo instantâneo e de acumulação possuem ENCE A ou B?
Potência do sistema de aquecimento e volume de armazenamento dentro da variação de + ou - 20%?		Sim
Demanda		20l
<b>Classificação</b>		<b>B</b> 4
<b>Nota final para o aquecimento de água</b>		<b>A</b> 5,00

APÊNDICE 32 – Planilha com variáveis de para avaliação das bonificações da UH 504

**Análise das Bonificações**  
**RTQ - Edificações Residenciais**

Bonificações			
Bonificação Ventilação Natural	Porosidade	ATAVN (m²)	0
		AATVS (m²)	1,38
		AATVL (m²)	2,77
		AATVO (m²)	0
		ATFN (m²)	0
		ATFS (m²)	17,03
		ATFL (m²)	14,3
		ATFNO (m²)	0
		Pavimento da UH	1 ou 2
		Porosidade a Atender	20,0%
		Porosidade Norte	0,0%
		Porosidade Sul	8,1%
		Porosidade Leste	19,4%
		Porosidade Oeste	0,0%
	Atende pelo menos 2 fachadas?	Não	
	Bonificação	0	
	Dispositivos Especiais	Todos os APP apresentam dispositivos especiais?	Sim
		Quais dispositivos?	Venzianas em dormitório e sombreamento por sacada na sala
		Bonificação	0,16
Centro Geométrico	Todos os APP apresentam abertura com centro geométrico entre 0,40 e 0,70m?		
	Bonificação	0	
Permeabilidade	Todos APP apresentam abertura intermediária com área livre $\geq 30\%$ da área da abertura?		
	Bonificação	0	
Bonificação Iluminação Natural	Profundidade	50%+1 dos APP, cozinha e lavanderia atendem $P \leq 2,4 \cdot h_a$ ?	Não
		Bonificação	0
	Refletância Teto	Todos os APPs, cozinha e lavanderia apresentam refletância do teto maior que 0,6?	Sim
		Bonificação	0,1
Outras Bonificações	Uso Racional de Água	Bonificação de uso racional de água	0
	Condicionamento Artificial de Ar	Bonificação de condicionamento artificial de ar	0,1
	Iluminação Artificial	Porcentagem das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75 lm/W ou com Selo Procel (em todos os ambientes)	De 50% a 99%
		Bonificação	0,05
	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?	Sim
		Garante as condições adequadas de instalação conforme recomendações do fabricante?	Sim
		Bonificação	0,1
	Medição Individualizada de Aquecimento de Água	Apresenta medição individualizada de água quente?	Sim
Bonificação		0,1	
<b>Total de bonificações</b>			<b>0,61</b>

## APÊNDICE 33 – Pontuação total do nível da eficiência energética da UH 504

**Análise da classificação final da UH**  
**RTQ - Edificações Residenciais**

<b>Pontuação Total</b>	Identificação	504
	Envoltória para Verão	C
		3,00
	Envoltória para Inverno	C
		3,00
	Aquecimento de Água	A
		5,00
	Equivalente numérico da envoltória	C
		3,00
	Envoltória se refrigerada artificialmente	D
2,00		
Bonificações	0,61	
Região	Sul	
Coeficiente a	0,65	
<b>Classificação final da UH</b>		<b>B</b>
<b>Pontuação Total</b>		<b>4,31</b>

## APÊNDICE 34 – Planilha com as variáveis do GHR e Ca dos ambientes do UH 701

### Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes RTQ - Edificações Residenciais

TERMO DE RESPONSABILIDADE (passe o mouse)

Zona Bioclimática	ZB	DETALHE IMPORTANTE: após os cálculos não modificar a zona bioclimática da célula E10	ZB2	ZB2
Ambiente	Identificação	adimensional	SALA (701)	DORMITÓRIO (701)
	Área útil do APP	m <sup>2</sup>	24,63	10,20
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional	1	1
	Contato com solo	adimensional	0	0
	Sobre Pilotis	adimensional	0	0
Cobertura	Ucob	W/m <sup>2</sup> .K	1,15	1,15
	CTcob	kJ/m <sup>2</sup> .K	270,11	270,11
	ccob	adimensional	0,30	0,30
Paredes Externas	Upar	W/m <sup>2</sup> .K	2,79	2,79
	CTpar	kJ/m <sup>2</sup> .K	245,41	245,41
	opar	adimensional	0,45	0,30
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0	0
	CTalta	binário	1	1
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m <sup>2</sup>	0,00	0,00
	SUL	m <sup>2</sup>	6,79	8,87
	LESTE	m <sup>2</sup>	6,00	9,82
	OESTE	m <sup>2</sup>	0,00	0,00
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m <sup>2</sup>	0,00	0,00
	SUL	m <sup>2</sup>	2,52	0,00
	LESTE	m <sup>2</sup>	3,74	2,24
	OESTE	m <sup>2</sup>	0,00	0,00
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	0,43	0,42
	Somb	adimensional	0,50	1,00
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m <sup>2</sup>	64,84	32,95
	Pé Direito	m	2,89	2,89
	C altura	adimensional	0,117	0,283
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	0	0
	vid	binário	0	0
	Uvid	W/m <sup>2</sup> .K		
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	<b>C</b> 5762	<b>C</b> 5744
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>A</b> 13,365	<b>B</b> 24,787
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m <sup>2</sup> .ano	<b>Não se aplica</b> 0,000	<b>A</b> 2,424

Pré-requisitos por ambiente					
Pré Requisitos da Envoltória	Paredes externas	Upar, Ctpar e opar atendem?	Não	Não	
	Cobertura	Ucob, Ctcob e ccob atendem?	Sim	Sim	
	Fatores para iluminação e ventilação natural	O ambiente é um dormitório?		Não	Sim
		Há corredor no Ambiente?		Não	Não
		Se sim, qual é a AUamb sem contar a área deste corredor?			0
	Iluminação Natural	Área de abertura para iluminação [m <sup>2</sup> ]		3,2	1,84
		Ai/Auamb (%)		12,99	18,04
		Atende 12,5%?		Sim	Sim
	Ventilação Natural	Área de abertura para ventilação		1,03	1,84
		Av/Auamb (%)		4,18	18,04
		Atende % mínima?		Não	Sim
		Tipo de abertura		de correr	de correr
		Abertura passível de fechamento?		Sim	Sim
ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C?			Não	Não	
	Atende?		Sim	Sim	

Pontuação após avaliar os pré-requisitos por ambiente	Ponderação da nota pela área útil do ambiente			
	Envoltória para Verão	C	C	C
		3,00	3,00	3,00
	Envoltória para Inverno	C	C	C
		3,00	3,00	3,00
Envoltória se Refrigeração Artificialmente	C	Não se aplica	C	
	3,00	0,00	3,00	



APÊNDICE 35 – Planilha com variáveis para o sistema de aquecimento de água por aquecimento a gás da UH 701

### Análise do aquecimento de Água RTQ - Edificações Residenciais

Pré-requisitos do sistema de aquecimento de água	As tubulações para água quente são apropriadas para a função de condução a que se destinam e atendem às normas técnicas de produtos aplicáveis?	Sim
	A edificação apresenta sistema de aquecimento de água?	Sim
	A edificação pertence a região Norte ou Nordeste?	Não
	O sistema apresenta aquecimento solar?	Não
	A estrutura do reservatório apresenta resistência térmica maior ou igual a 2,20 (m <sup>2</sup> K)/W ?	Sim
	Atende?	<b>Sim</b>
	As tubulações para água quente são metálicas?	Não
	A condutividade térmica da tubulação está entre 0,032 e 0,040 W/(mK)?	Não
	Diâmetro nominal da tubulação (cm)	2,2
	Espessura do isolamento (cm)	1
	Condutividade do material alternativo à temperatura média indicada para a temperatura da água (W/mK)	0,6
	Atende?	Sim
	<b>A maior classificação que a UH pode atingir em aquecimento de água é:</b>	<b>A</b>
	Sistema de aquecimento a Gás	Pré-requisito: os aquecedores a gás do tipo instantâneo e de acumulação possuem ENCE A ou B?
Potência do sistema de aquecimento e volume de armazenamento dentro da variação de + ou - 20%?		Sim
Demanda		20l
<b>Classificação</b>		<b>B</b>
<b>Nota final para o aquecimento de água</b>		<b>A</b>
		5,00

APÊNDICE 36 – Planilha com variáveis de para avaliação das bonificações da UH 701

Análise das Bonificações  
RTQ - Edificações Residenciais

Bonificações			
Bonificação Ventilação Natural	Porosidade	ATAVN (m²)	0
		AATVS (m²)	1,38
		AATVL (m²)	2,77
		AATVO (m²)	0
		ATFN (m²)	0
		ATFS (m²)	22,54
		ATFL (m²)	23,61
		ATFNO (m²)	0
		Pavimento da UH	6, 7 ou 8
		Porosidade a Atender	12,0%
		Porosidade Norte	0,0%
		Porosidade Sul	6,1%
		Porosidade Leste	11,7%
		Porosidade Oeste	0,0%
	Atende pelo menos 2 fachadas?	Não	
	Bonificação	0	
	Dispositivos Especiais	Todos os APP apresentam dispositivos especiais?	Sim
		Quais dispositivos?	Venzianas em dormitório e sombreamento por sacada na sala
Bonificação		0,16	
Centro Geométrico	Todos os APP apresentam abertura com centro geométrico entre 0,40 e 0,70m?		
	Bonificação	0	
Permeabilidade	Todos APP apresentam abertura intermediária com área livre $\geq 30\%$ da área da abertura?		
	Bonificação	0	
Bonificação Iluminação Natural	Profundidade	50%+1 dos APP, cozinha e lavanderia atendem $P \leq 2,4 \cdot h_a$ ?	Não
		Bonificação	0
	Refletância Teto	Todos os APPs, cozinha e lavanderia apresentam refletância do teto maior que 0,6?	Sim
Bonificação	0,1		
Outras Bonificações	Uso Racional de Água	Bonificação de uso racional de água	0
	Condicionamento Artificial de Ar	Bonificação de condicionamento artificial de ar	0,1
	Iluminação Artificial	Porcentagem das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75 lm/W ou com Selo Procel (em todos os ambientes)	De 50% a 99%
		Bonificação	0,05
	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?	Sim
		Garante as condições adequadas de instalação conforme recomendações do fabricante?	Sim
		Bonificação	0,1
	Medição Individualizada de Aquecimento de Água	Apresenta medição individualizada de água quente?	Sim
Bonificação		0,1	
<b>Total de bonificações</b>			<b>0,61</b>

APÊNDICE 37 – Pontuação total do nível da eficiência energética da UH 701

**Análise da classificação final da UH**  
**RTQ - Edificações Residenciais**

<b>Pontuação Total</b>	Identificação	701
	Envoltória para Verão	C
		3,00
	Envoltória para Inverno	C
		3,00
	Aquecimento de Água	A
		5,00
	Equivalente numérico da envoltória	C
		3,00
Envoltória se refrigerada artificialmente	C	
	3,00	
Bonificações	0,61	
Região	Sul	
Coeficiente a	0,65	
<b>Classificação final da UH</b>		<b>B</b>
<b>Pontuação Total</b>		<b>4,31</b>

APÊNDICE 38 – Planilha com as variáveis do GHR e Ca dos ambientes do UH 702

Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes  
RTQ - Edificações Residenciais

TERMO DE RESPONSABILIDADE (passe o mouse)

Zona Bioclimática	ZB	DETALHE IMPORTANTE: após os cálculos não modificar a zona bioclimática da célula E10	ZB2	ZB2	ZB2
Ambiente	Identificação	adimensional	Dormitório (702)	Sala (702)	Suíte (702)
Situação do piso e cobertura	Área útil do APP	m²	9,27	21,86	11,60
	Cobertura	adimensional	1	1	1
	Contato com solo	adimensional	0	0	0
	Sobre Pilotis	adimensional	0	0	0
Cobertura	Ucob	W/m².K	1,15	1,15	1,15
	CTcob	kJ/m².K	270,11	270,11	270,11
	αcob	adimensional	0,30	0,30	0,30
Paredes Externas	Upar	W/m².K	2,79	2,86	2,86
	CTpar	kJ/m².K	245,41	235,86	235,86
	αpar	adimensional	0,30	0,30	0,30
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0	0	0
	CTalta	binário	1	1	1
	NORTE	m²	7,65	0,00	8,52
	SUL	m²	0,00	0,00	7,80
	LESTE	m²	0,00	6,65	10,11
	OESTE	m²	5,78	0,00	0,00
	NORTE	m²	2,24	0,00	2,24
	SUL	m²	0,00	0,00	0,00
	LESTE	m²	0,00	4,40	0,00
	OESTE	m²	0,00	0,00	0,00
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	0,42	0,43	0,42
	Somb	adimensional	1,00	0,50	1,00
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m²	31,79	50,08	39,65
	Pé Direito	m	2,89	2,89	2,89
	C altura	adimensional	0,312	0,132	0,249
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	0	0	0
	vid	binário	0	0	0
	Uvid	W/m².K			
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	C	C	C
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m².ano	6426	6042	5772
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m².ano	20,199	13,127	24,051
			A	Não se aplica	A
			4,752	0,000	-6,370

## APÊNDICE 39 – Planilha com a análise da envoltória e dos pré-requisitos da UH 702

Pré-requisitos por ambiente					
Pré Requisitos da Envoltória	Paredes externas	Upar, Ctpar e qpar atendem?	Não	Não	Não
	Cobertura	Ucob, Ctcob e qcob atendem?	Sim	Sim	Sim
	Fatores para iluminação e ventilação natural	O ambiente é um dormitório?	Sim	Não	Sim
		Há corredor no Ambiente?	Não	Sim	Não
		Se sim, qual é a AUamb sem contar a área deste corredor?		20,55	
	Iluminação Natural	Área de abertura para iluminação [m²]	1,03	1,84	1,03
		Av/Auamb (%)	11,11	8,95	8,88
		Atende 12,5%?	Não	Não	Não
	Ventilação Natural	Área de abertura para ventilação	1,03	1,84	1,03
		Av/Auamb (%)	11,11	8,95	8,88
		Atende % mínima?	Sim	Sim	Sim
		Tipo de abertura	de correr	de correr	de correr
		Abertura passível de fechamento?	Sim	Sim	Sim
		ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C?	Não	Não	Não
		Atende?	Sim	Sim	Sim

Pontuação após avaliar os pré-requisitos por ambiente	Ponderação da nota pela área útil do ambiente			
	Envoltória para Verão	C	C	C
	3,00	3,00	3,00	3,00
Envoltória para Inverno	C	C	C	C
	3,00	3,00	3,00	3,00
Envoltória se Refrigerada Artificialmente	C	C	Não se aplica	C
	3,00	3,00	0,00	3,00

## APÊNDICE 40 – Planilha com variáveis para o sistema de aquecimento de água por aquecimento a gás da UH 702

Análise do aquecimento de Água  
RTQ - Edificações Residenciais

Pré-requisitos do sistema de aquecimento de água	As tubulações para água quente são apropriadas para a função de condução a que se destinam e atendem às normas técnicas de produtos aplicáveis?	Sim	Sistema de aquecimento a Gás	Pré-requisito: os aquecedores a gás do tipo instantâneo e de acumulação possuem ENCE A ou B?	Sim
	A edificação apresenta sistema de aquecimento de água?	Sim		Potência do sistema de aquecimento e volume de armazenamento dentro da variação de + ou - 20%?	Sim
	A edificação pertence a região Norte ou Nordeste?	Não		Demanda	20l
	O sistema apresenta aquecimento solar?	Não		Classificação	B
	A estrutura do reservatório apresenta resistência térmica maior ou igual a 2,20 (m²K)/W?	Sim			4
	Atende?	Sim			
	As tubulações para água quente são metálicas?	Não			
	A condutividade térmica da tubulação está entre 0,032 e 0,040 W/(mK)?	Não			
	Diâmetro nominal da tubulação (cm)	2,2			
	Espessura do isolamento (cm)	1			
	Condutividade do material alternativo à temperatura média indicada para a temperatura da água (W/mK)	0,6			
	Atende?	Sim			
A maior classificação que a UH pode atingir em aquecimento de água é:	A	Nota final para o aquecimento de água	A	5,00	

APÊNDICE 41 – Planilha com variáveis de para avaliação das bonificações da UH 702

Análise das Bonificações  
RTQ - Edificações Residenciais

Bonificações			
Bonificação Ventilação Natural	Porosidade	ATAVN (m²)	7,96
		AATVS (m²)	0
		AATVL (m²)	4,4
		AATVO (m²)	0
		ATFN (m²)	38,49
		ATFS (m²)	0
		ATFL (m²)	29,1
		ATFNO (m²)	0
		Pavimento da UH	6, 7 ou 8
		Porosidade a Atender	12,0%
		Porosidade Norte	20,7%
		Porosidade Sul	0,0%
		Porosidade Leste	15,1%
		Porosidade Oeste	0,0%
	Atende pelo menos 2 fachadas?	Sim	
	Bonificação	0,12	
	Dispositivos Especiais	Todos os APP apresentam dispositivos especiais?	Sim
		Quais dispositivos?	Venzianas em dormitórios e sombreamento por sacada nas sala
		Bonificação	0,16
	Centro Geométrico	Todos os APP apresentam abertura com centro geométrico entre 0,40 e 0,70m?	
Bonificação		0	
Permeabilidade	Todos APP apresentam abertura intermediária com área livre $\geq 30\%$ da área da abertura?		
	Bonificação	0	
Bonificação Iluminação Natural	Profundidade	50%+1 dos APP, cozinha e lavanderia atendem $P \leq 2,4 \cdot h_a$ ?	Sim
		Bonificação	0,2
	Refletância Teto	Todos os APPs, cozinha e lavanderia apresentam refletância do teto maior que 0,6?	Sim
Bonificação	0,1		
Outras Bonificações	Uso Racional de Água	Bonificação de uso racional de água	0
	Condicionamento Artificial de Ar	Bonificação de condicionamento artificial de ar	0,1
	Iluminação Artificial	Porcentagem das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75 lm/W ou com Selo Procel (em todos os ambientes)	De 50% a 99%
		Bonificação	0,05
	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?	Sim
		Garante as condições adequadas de instalação conforme recomendações do fabricante?	Sim
		Bonificação	0,1
	Medição Individualizada de Aquecimento de Água	Apresenta medição individualizada de água quente?	Sim
Bonificação		0,1	
<b>Total de bonificações</b>			<b>0,93</b>

## APÊNDICE 42 – Pontuação total do nível da eficiência energética da UH 702

**Análise da classificação final da UH**  
**RTQ - Edificações Residenciais**

<b>Pontuação Total</b>	Identificação	702
	Envoltória para Verão	<b>D</b>
		2,35
	Envoltória para Inverno	<b>C</b>
		3,00
	Aquecimento de Água	<b>A</b>
		5,00
	Equivalente numérico da envoltória	<b>C</b>
		2,71
	Envoltória se refrigerada artificialmente	<b>C</b>
3,00		
Bonificações	0,93	
Região	Sul	
Coeficiente a	0,65	
<b>Classificação final da UH</b>		<b>B</b>
<b>Pontuação Total</b>		<b>4,44</b>





## APÊNDICE 44 – Planilha com a análise da envoltória e dos pré-requisitos da UH 703

Pré-requisitos por ambiente					
Pré Requisitos da Envoltória	Paredes externas	Upar, Ctpar e opar atendem?	Não	Não	Não
	Cobertura	Ucob, Ct cob e ocob atendem?	Sim	Sim	Sim
	Fatores para iluminação e ventilação natural	O ambiente é um dormitório?	Sim	Não	Sim
		Há corredor no Ambiente?	Não	Sim	Não
		Se sim, qual é a AUamb sem contar a área deste corredor?		20,55	
	Iluminação Natural	Área de abertura para iluminação [m²]	1,03	1,84	1,03
		Ai/Auamb (%)	11,11	8,95	8,88
		Atende 12,5%?	Não	Não	Não
	Ventilação Natural	Área de abertura para ventilação	1,03	1,84	1,03
		Av/Auamb (%)	11,11	8,95	8,88
		Atende % mínima?	Sim	Sim	Sim
		Tipo de abertura	de correr	de correr	de correr
		Abertura passível de fechamento?	Sim	Sim	Sim
		ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C?	Não	Não	Não
Atende?		Sim	Sim	Sim	

Pontuação após avaliar os pré-requisitos por ambiente	Ponderação da nota pela área útil do ambiente			
	D	C	D	C
Envoltória para Verão	2,35	3,00	2,00	3,00
	C	C	C	C
Envoltória para Inverno	3,00	3,00	3,00	3,00
Envoltória se Refrigerada Artificialmente	C	C	Não se aplica	C
	3,00	3,00	0,00	3,00

## APÊNDICE 45 – Planilha com variáveis para o sistema de aquecimento de água por aquecimento a gás da UH 703

Análise do aquecimento de Água  
RTQ - Edificações Residenciais

Pré-requisitos do sistema de aquecimento de água	As tubulações para água quente são apropriadas para a função de condução a que se destinam e atendem às normas técnicas de produtos aplicáveis?	Sim	Sistema de aquecimento a Gás	Pré-requisito: os aquecedores a gás do tipo instantâneo e de acumulação possuem ENCE A ou B?	Sim		
	A edificação apresenta sistema de aquecimento de água?	Sim					
	A edificação pertence a região Norte ou Nordeste?	Não					
	O sistema apresenta aquecimento solar?	Não					
	A estrutura do reservatório apresenta resistência térmica maior ou igual a 2,20 (m²K)/W?	Sim					
	Atende?	Sim					
	As tubulações para água quente são metálicas?	Não					
	A condutividade térmica da tubulação está entre 0,032 e 0,040 W/(mK)?	Não					
	Diâmetro nominal da tubulação (cm)	2,2				Potência do sistema de aquecimento e volume de armazenamento dentro da variação de + ou - 20%?	Sim
	Espessura do isolamento (cm)	1					
	Condutividade do material alternativo à temperatura média indicada para a temperatura da água (W/mK)	0,6				Demanda	20l
	Atende?	Sim					
	A maior classificação que a UH pode atingir em aquecimento de água é:	A				Classificação	B
		4					
		Nota final para o aquecimento de água	A				
			5,00				

## APÊNDICE 46 – Planilha com variáveis de para avaliação das bonificações da UH 703

### Análise das Bonificações RTQ - Edificações Residenciais

Bonificações			
Bonificação Ventilação Natural	Porosidade	ATAVN (m²)	7,96
		AATVS (m²)	0
		AATVL (m²)	0
		AATVO (m²)	4,4
		ATFN (m²)	38,49
		ATFS (m²)	0
		ATFL (m²)	0
		ATFNO (m²)	29,1
		Pavimento da UH	6, 7 ou 8
		Porosidade a Atender	12,0%
		Porosidade Norte	20,7%
		Porosidade Sul	0,0%
		Porosidade Leste	0,0%
		Porosidade Oeste	15,1%
		Atende pelo menos 2 fachadas?	Sim
	Bonificação	0,12	
	Dispositivos Especiais	Todos os APP apresentam dispositivos especiais?	Sim
		Quais dispositivos?	Venzianas em dormitórios e sombreamento por sacada nas sala
		Bonificação	0,16
	Centro Geométrico	Todos os APP apresentam abertura com centro geométrico entre 0,40 e 0,70m?	
Bonificação		0	
Permeabilidade	Todos APP apresentam abertura intermediária com área livre $\geq 30\%$ da área da abertura?		
	Bonificação	0	
Bonificação Iluminação Natural	Profundidade	50%+1 dos APP, cozinha e lavanderia atendem $P \leq 2,4 \cdot h_a$ ?	Sim
		Bonificação	0,2
	Refletância Teto	Todos os APPs, cozinha e lavanderia apresentam refletância do teto maior que 0,6?	Sim
Bonificação		0,1	
Outras Bonificações	Uso Racional de Água	Bonificação de uso racional de água	0
	Condicionamento Artificial de Ar	Bonificação de condicionamento artificial de ar	0,1
	Iluminação Artificial	Porcentagem das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75 lm/W ou com Selo Procel (em todos os ambientes)	De 50% a 99%
		Bonificação	0,05
	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?	Sim
		Garante as condições adequadas de instalação conforme recomendações do fabricante?	Sim
		Bonificação	0,1
	Medição Individualizada de Aquecimento de Água	Apresenta medição individualizada de água quente?	Sim
Bonificação		0,1	
<b>Total de bonificações</b>			<b>0,93</b>

APÊNDICE 47 – Pontuação total do nível da eficiência energética da UH 703

### Análise da classificação final da UH

#### RTQ - Edificações Residenciais

<b>Pontuação Total</b>	Identificação	703
	Envoltória para Verão	<b>D</b>
		2,35
	Envoltória para Inverno	<b>C</b>
		3,00
	Aquecimento de Água	<b>A</b>
		5,00
	Equivalente numérico da envoltória	<b>C</b>
		2,71
Envoltória se refrigerada artificialmente	<b>C</b>	
	3,00	
Bonificações	0,93	
Região	Sul	
Coeficiente a	0,65	
<b>Classificação final da UH</b>		<b>B</b>
<b>Pontuação Total</b>		<b>4,44</b>

## APÊNDICE 48 – Planilha com as variáveis do GHR e Ca dos ambientes do UH 704

### Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes RTQ - Edificações Residenciais

TERMO DE RESPONSABILIDADE (passe o mouse)

Zona Bioclimática	ZB	DETALHE IMPORTANTE: após os cálculos não modificar a zona bioclimática da célula E10	ZB2	ZB2
Ambiente	Identificação	adimensional	SALA (704)	DORMITÓRIO (704)
	Área útil do APP	m²	24,63	10,20
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional	1	1
	Contato com solo	adimensional	0	0
	Sobre Pilotis	adimensional	0	0
Cobertura	Ucob	W/m².K	1,15	1,15
	CTcob	kJ/m².K	270,11	270,11
	ccob	adimensional	0,30	0,30
Paredes Externas	Upar	W/m².K	2,79	2,79
	CTpar	kJ/m².K	245,41	245,41
	qpar	adimensional	0,45	0,30
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0	0
	CTalta	binário	1	1
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m²	0,00	0,00
	SUL	m²	6,79	8,87
	LESTE	m²	0,00	0,00
	OESTE	m²	6,00	9,82
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m²	0,00	0,00
	SUL	m²	2,52	0,00
	LESTE	m²	3,74	0,00
	OESTE	m²	0,00	2,24
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	0,43	0,42
	Somb	adimensional	0,50	1,00
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m²	64,84	32,95
	Pé Direito	m	2,89	2,89
	C altura	adimensional	0,117	0,283
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	0	0
	vid	binário	0	0
	Uvid	W/m².K		
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	<b>C</b> 6364	<b>C</b> 5637
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m².ano	<b>A</b> 13,367	<b>B</b> 23,976
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m².ano	Não se aplica 0,000	<b>A</b> 1,101

Pré-requisitos por ambiente				
Pré Requisitos da Envoltória	Paredes externas	Upar, Ctpar e qpar atendem?	Não	Não
	Cobertura	Ucob, Ctcob e ccob atendem?	Sim	Sim
	Fatores para iluminação e ventilação natural	O ambiente é um dormitório?	Não	Sim
		Há corredor no Ambiente?	Não	Não
		Se sim, qual é a AUamb sem contar a área deste corredor?		0
	Iluminação Natural	Área de abertura para iluminação [m²]	3,2	1,84
		Ai/Auamb (%)	12,99	18,04
		Atende 12,5%?	Sim	Sim
	Ventilação Natural	Área de abertura para ventilação	1,03	1,84
		Av/Auamb (%)	4,18	18,04
		Atende % mínima?	Não	Sim
		Tipo de abertura	de correr	de correr
		Abertura passível de fechamento?	Sim	Sim
		ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C?	Não	Não
	Atende?	Sim	Sim	

Pontuação após avaliar os pré-requisitos por ambiente	Ponderação da nota pela área útil do ambiente			
	Envoltória para Verão	C	C	C
		3,00	3,00	3,00
	Envoltória para Inverno	C	C	C
		3,00	3,00	3,00
Envoltória se Refrigerada Artificialmente	C	Não se aplica	C	
	3,00	0,00	3,00	

APÊNDICE 49 – Planilha com variáveis para o sistema de aquecimento de água por aquecimento a gás da UH 704

### Análise do aquecimento de Água RTQ - Edificações Residenciais

Pré-requisitos do sistema de aquecimento de água	As tubulações para água quente são apropriadas para a função de condução a que se destinam e atendem às normas técnicas de produtos aplicáveis?	Sim
	A edificação apresenta sistema de aquecimento de água?	Sim
	A edificação pertence a região Norte ou Nordeste?	Não
	O sistema apresenta aquecimento solar?	Não
	A estrutura do reservatório apresenta resistência térmica maior ou igual a 2,20 (m <sup>2</sup> K)/W ?	Sim
	Atende?	<b>Sim</b>
	As tubulações para água quente são metálicas?	Não
	A condutividade térmica da tubulação está entre 0,032 e 0,040 W/(mK)?	Não
	Diâmetro nominal da tubulação (cm)	2,2
	Espessura do isolamento (cm)	1
	Condutividade do material alternativo à temperatura média indicada para a temperatura da água (W/mK)	0,6
	Atende?	Sim
	<b>A maior classificação que a UH pode atingir em aquecimento de água é:</b>	<b>A</b>
Sistema de aquecimento a Gás	Pré-requisito: os aquecedores a gás do tipo instantâneo e de acumulação possuem ENCE A ou B?	Sim
	Potência do sistema de aquecimento e volume de armazenamento dentro da variação de + ou - 20%?	Sim
	Demanda	20l
	<b>Classificação</b>	<b>B</b>
		4
<b>Nota final para o aquecimento de água</b>	<b>A</b>	
	5,00	

## APÊNDICE 50 – Planilha com variáveis de para avaliação das bonificações da UH

704

**Análise das Bonificações**  
**RTQ - Edificações Residenciais**

Bonificações			
Bonificação Ventilação Natural	Porosidade	ATAVN (m²)	0
		AATVS (m²)	1,38
		AATVL (m²)	0
		AATVO (m²)	2,77
		ATFN (m²)	0
		ATFS (m²)	22,54
		ATFL (m²)	0
		ATFNO (m²)	23,61
		Pavimento da UH	6, 7 ou 8
		Porosidade a Atender	12,0%
		Porosidade Norte	0,0%
		Porosidade Sul	6,1%
		Porosidade Leste	0,0%
		Porosidade Oeste	11,7%
	Atende pelo menos 2 fachadas?	Não	
	Bonificação	0	
	Dispositivos Especiais	Todos os APP apresentam dispositivos especiais?	Sim
		Quais dispositivos?	Venzianas em dormitório e sombreamento por sacada na sala
		Bonificação	0,16
	Centro Geométrico	Todos os APP apresentam abertura com centro geométrico entre 0,40 e 0,70m?	
Bonificação		0	
Permeabilidade	Todos APP apresentam abertura intermediária com área livre ≥ 30% da área da abertura?		
	Bonificação	0	
Bonificação Iluminação Natural	Profundidade	50%+1 dos APP, cozinha e lavanderia atendem $P \leq 2,4 \cdot h_a$ ?	Não
		Bonificação	0
	Refletância Teto	Todos os APPs, cozinha e lavanderia apresentam refletância do teto maior que 0,6?	Sim
Bonificação		0,1	
Outras Bonificações	Uso Racional de Água	Bonificação de uso racional de água	0
	Condicionamento Artificial de Ar	Bonificação de condicionamento artificial de ar	0,1
	Iluminação Artificial	Porcentagem das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75 lm/W ou com Selo Procel (em todos os ambientes)	De 50% a 99%
		Bonificação	0,05
	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?	Sim
		Garante as condições adequadas de instalação conforme recomendações do fabricante?	Sim
		Bonificação	0,1
	Medição Individualizada de Aquecimento de Água	Apresenta medição individualizada de água quente?	Sim
Bonificação		0,1	
<b>Total de bonificações</b>			<b>0,61</b>

APÊNDICE 51 – Planilha com variáveis de para avaliação das bonificações da UH 704

**Análise da classificação final da UH  
RTQ - Edificações Residenciais**

<b>Pontuação Total</b>	Identificação	704
	Envoltória para Verão	C
		3,00
	Envoltória para Inverno	C
		3,00
	Aquecimento de Água	A
		5,00
	Equivalente numérico da envoltória	C
		3,00
	Envoltória se refrigerada artificialmente	C
	3,00	
Bonificações	0,61	
Região	Sul	
Coeficiente a	0,65	
<b>Classificação final da UH</b>		<b>B</b>
<b>Pontuação Total</b>		<b>4,31</b>