

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS  
UNIDADE ACADÊMICA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA E DE DIFERENTES  
TIPOS DE SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR EM EDIFICAÇÃO  
VERTICAL COMERCIAL EM PORTO ALEGRE/RS**

**JULIANA DAMASIO WASCHEVICZ**

**Dissertação de Mestrado**

**São Leopoldo  
2016**

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA E DE DIFERENTES  
TIPOS DE SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR EM EDIFICAÇÃO VERTICAL  
COMERCIAL EM PORTO ALEGRE/RS

Juliana Damasio Waschevicz

Trabalho submetido ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS como pré-requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica

Orientador: Dr. Paulo Roberto Wander

Co-orientador: Dra. Andrea Parisi Kern

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Eduardo Grala da Cunha

Prof. Dr. João Baptista Dias

Prof. Dra. Jaqueline Copetti

W312a

Waschevicz, Juliana Damasio.

Análise da eficiência energética da envoltória e de diferentes tipos de sistemas de condicionamento de ar em edificação vertical comercial em Porto Alegre/RS / Juliana Damasio Waschevicz. – 2016.

95 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2016.

“Orientador: Dr. Paulo Roberto Wander ; co-orientador: Dra. Andrea Parisi Kern.”

1. Engenharia mecânica. 2. Arquitetura e conservação de energia. 3. Ar condicionado – Eficiência. 4. Edifícios – Propriedades térmicas.

I. Título.

CDU 621

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Paulo Roberto Wander, pela oportunidade de aprendizado e demonstração de apoio e confiança quanto à relevância do tema, fundamentais para a elaboração desse trabalho.

A professora Dra. Andrea Parisi Kern, pelo apoio imprescindível ao ingresso no curso e por aceitar ser a minha co-orientadora.

Aos meus pais, Elza Júlia Damasio e Domingos Ângelo Salton Liguori, e a minha irmã Mariana Damasio, pelo amor e amizade incondicionais em todos os momentos.

Ao meu companheiro, Rodrigo Ribas, por acreditar no meu sonho e me apoiar de todas as formas, mesmo nos momentos de incertezas para concretizá-lo.

Aos meus sogros, Ana Luiza Waltrick Ribas e Vilsomar Moreira Ribas, pelo carinho e apoio nessa caminhada.

A todos os colegas e funcionários do PPGEM e em especial a Sec. Aline Stumpf, a qual sempre foi solícita em me atender.

Aos professores, Dr. João Batista Dias, Dra. Jacqueline Biancon Copetti e ao professor convidado Dr. Eduardo Grala da Cunha por aceitarem o convite para integrarem a banca de avaliação desse trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Unisinos.

À Fapergs, pelo apoio concedido durante o mestrado.

E, finalmente a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização dessa etapa.

*“O presente é a sombra que se move separando o  
ontem do amanhã. Nela repousa a esperança.”*

(Frank Lloyd Wright)

## RESUMO

Esta dissertação apresenta uma análise da relação entre o consumo energético para climatização de uma edificação comercial com os sistemas de ar condicionado do tipo SPLIT e VRF e, alguns parâmetros arquitetônicos da envoltória que foram variados no modelo de referência. As análises foram realizadas por simulação computacional, através do programa *EnergyPlus*. Foram simulados casos com variações no modelo de referência, de tipos de cobertura e de fechamento opaco do envelope, característica dos vidros, inserção de brises verticais e horizontais e redução do percentual de área de janelas nas fachadas, para os dois sistemas de ar condicionado. Adotou-se o clima de Porto Alegre, o qual está localizado na Zona Bioclimática Brasileira 3. O modelo de referência adotado foi criado a partir de um levantamento fotográfico de edificações comerciais com mais de quatro pavimentos na cidade de Porto Alegre. A partir deste levantamento, a tipologia que foi adotada representa um edifício de dez pavimentos com perímetro de dimensões 27 x 7,5 m e pé-direito de 2,60 m. Para analisar o comportamento energético do modelo de referência foram inseridos dados dos componentes construtivos, do padrão de ocupação, das cargas energéticas do sistema de iluminação e dos equipamentos, do condicionamento de ar e de infiltração. Com esses dados inseridos no *EnergyPlus*, foi possível dimensionar a carga térmica dos equipamentos de ar condicionado e então iniciar as simulações onde os materiais foram variados, um por vez. Na análise de todas as variações propostas, observou-se que a alteração das características do vidro incolor 3mm pelas do vidro refletivo 6 mm, foi o parâmetro que mais influenciou na redução do consumo energético para refrigeração. O agrupamento das três melhores soluções: vidro refletivo de 6 mm, brises horizontais e cobertura metálica com isolamento, gerou uma redução no consumo do sistema de condicionamento de ar de 35,7% com o SPLIT, passando de 53,4 kWh/m<sup>2</sup> para 34,33 kWh/m<sup>2</sup>, e 41,94% para o VRF, reduzindo de 36,04 kWh/m<sup>2</sup> para 20,92 kWh/m<sup>2</sup>. Também pode-se observar que o COP real dos equipamentos de condicionamento de ar foi bem maior que o nominal na maior parte do tempo, com uma média de aproximadamente 4,5 para o SPLIT e 6,2 para o VRF.

## ABSTRACT

This thesis presents an analysis of the relationship between energy consumption for cooling of a commercial building with air conditioning systems type SPLIT and VRF and some varied architectural parameters in the reference model. The analyzes were carried out by computer simulation, using EnergyPlus. Several changes were simulated with variations in the reference model, like roof types, envelope thermal insulation, window glass types, vertical and horizontal louvers and smaller window to wall ratio on the facades, for both air conditioning systems. The climate of Porto Alegre was adopted, which is located in the Brazilian Bioclimatic Zone 3. The reference model was created from a photographic survey of commercial buildings over four stories in the city of Porto Alegre. From this survey, a building with ten floors measuring 27 x 7.5 m and ceiling height of 2.60 m was designed. To analyze the energy behavior of the reference model, building components were inserted, like occupation schedule, lighting system and equipment loads, air conditioning and infiltration. With these data entered in EnergyPlus thermal load was determined and air conditioning equipment selected and inserted according with performance data obtained from equipment suppliers. The simulations of the mentioned changes were made one at a time. Comparing all proposed variations, the change of the 3 mm clear glass by the reflective 6 mm glass, was the most influencing parameter in reducing energy consumption for cooling. When grouping the top three solutions: reflective 6 mm glass, horizontal blinds and metallic roof with insulation, an overall reduction in consumption in air conditioning system of 35.7% with SPLIT, from 53.4 kWh/m<sup>2</sup> to 34.33 kWh/m<sup>2</sup>, and 41.94% for the VRF, reducing from 36.04 kWh/m<sup>2</sup> to 20.92 kWh/m<sup>2</sup> was obtained. It may also be noted that the actual COP of the air conditioning equipment was much higher than the nominal most part of the time, with an average of approximately 4.5 for the SPLIT system and 6.2 for the VRF system.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Tipos/ Quantidade de Etiquetas Concedidas .....	28
Tabela 2.2: Consumo médio de edifícios comerciais e públicos em Salvador.....	33
Tabela 2.3: Parâmetros do modelo dos grandes escritórios.....	39
Tabela 3.1: Planilha de análise dos dados climáticos, com o resumo do TRY .....	47
Tabela 3.2: Características dos materiais utilizados na simulação do modelo de referência ...	52
Tabela 3.3: Dados dos parâmetros adotados nas simulações .....	52
Tabela 3.4: Valores de condutividade térmica, massa específica e calor específico adotados	53
Tabela 3.5: Características dos vidros selecionados para a simulação.....	53
Tabela 3.6: Curva quadrática PTAC.....	57
Tabela 3.7: Curva biquadrática PTAC .....	57
Tabela 3.8: Eficiência Mínima de Condicionadores de Ar para Classificação nos Níveis A e B .....	58
Tabela 3.9: Curva Linear VRF .....	58
Tabela 3.10: Curva Quadrática VRF .....	59
Tabela 3.11: Curva Cúbica VRF .....	59
Tabela 3.12: Curva Biquadrática VRF .....	60
Tabela 3.13: Definição da taxa de infiltração.....	61
Tabela 4.1: Carga térmica do sistema de condicionamento de ar e número de horas em que o mesmo foi acionado no modelo de referência .....	70
Tabela 4.2: Potência máxima necessária para atender os dias mais críticos do ano típico .....	72
Tabela 4.3: Dimensionamento do sistema de condicionamento de ar.....	73
Tabela 4.4: Consumo energético das zonas térmicas com e sem brises.....	82
Tabela 4.5: Compilação dos resultados .....	86



## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Modelo da ENCE para Edificações .....	30
Figura 2.2: Classificação Geral .....	30
Figura 2.3: Diferenças de consumo entre as orientações solares e a área de PJF .....	33
Figura 2.4: Consumo anual baseado na absorvância da cobertura de 0,2 .....	35
Figura 2.5: Distribuição do Consumo por Uso Final.....	35
Figura 2.6: Formas de quatro modelos de edificações referenciais: (a) escritório, (b) hotel, (c) hospital e (d) loja de departamento.....	40
Figura 2.7: Modelos em planta baixa com a divisão das zonas térmicas (a) modelo com apenas uma zona térmica (b) modelo com três zonas térmicas (c) modelo com cinco zonas térmicas.....	41
Figura 2.8: Consumo de energia elétrica mensal e real e simulado pelos três modelos.....	42
Figura 2.9: Representação esquemática da fisiologia humana e trocas térmicas .....	43
Figura 2.10: Faixas aceitáveis de temperatura operativa e umidade absoluta para ambientes com climatização artificial.....	43
Figura 2.11: Representação da resistência térmica das vestimentas de acordo com a ISO 7730 .....	44
Figura 3.1: Mapa com as localidades abrangidas pelo levantamento fotográfico.....	45
Figura 3.2: Regiões Climáticas do Brasil .....	46
Figura 3.3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro .....	48
Figura 3.4: Quadrantes para a definição da orientação solar das fachadas .....	48
Figura 3.5: Zoneamento simplificado do pavimento tipo .....	49
Figura 3.6: Perspectiva do modelo de simulação .....	50
Figura 3.7: <i>Schedule</i> de ocupação .....	54
Figura 3.8: <i>Schedule</i> de equipamentos .....	55
Figura 3.9: <i>Schedule</i> de Iluminação .....	55
Figura 3.10: Limites de eficiência, definidos pelo INMETRO, de condicionadores de ar do tipo split, para cada classe de eficiência. ....	56
Figura 4.1: Frequência de ocorrência do número de pavimentos das edificações amostradas	62
Figura 4.2: Frequência de ocorrência do percentual de área de abertura na fachada total (PAF <sub>T</sub> ) visíveis nas edificações amostradas .....	63
Figura 4.3: Frequência da ocorrência da cor dos vidros nas edificações amostradas .....	64
Figura 4.4: Frequência de AVS e AHS nas fachadas das edificações amostradas.....	65

Figura 4.5: Ganho de carga térmica mensal por zona térmica .....	66
Figura 4.6: Ganho de carga térmica mensal pelas janelas por zonas térmicas.....	66
Figura 4.7: Ganho energético mensal por infiltração por pavimento .....	67
Figura 4.8: Ganhos e perdas de carga térmica pela cobertura.....	68
Figura 4.9: Carga térmica de aquecimento .....	69
Figura 4.10: Carga térmica de resfriamento .....	69
Figura 4.11: Média mensal da carga térmica do sistema de ar condicionado para aquecimento .....	71
Figura 4.12: Média mensal da energia do sistema de ar condicionado para resfriamento .....	72
Figura 4.13: Consumo anual dos sistemas de ar condicionado SPLIT e VRF.....	74
Figura 4.14: Carga térmica anual dos sistemas de ar condicionado no pavimento de cobertura .....	75
Figura 4.15: Consumo anual dos sistemas de ar condicionado SPLIT e VRF para o material <i>steel framing</i> .....	76
Figura 4.16: Consumo anual dos sistemas de ar condicionado SPLIT e VRF para o vidros de cor verde .....	77
Figura 4.17: Consumo anual dos sistemas de ar condicionado SPLIT e VRF para vidros de cor fumê.....	78
Figura 4.18: Consumo anual dos sistemas de ar condicionado SPLIT e VRF para vidros refletivos .....	79
Figura 4.19: Modelo simulado com brises verticais.....	80
Figura 4.20: Consumo anual dos sistemas de ar condicionado SPLIT e VRF do modelo com brises verticais .....	80
Figura 4.21: Modelo simulado com brises horizontais .....	81
Figura 4.22: Consumo anual dos sistemas de ar condicionado SPLIT e VRF do modelo com brises horizontais .....	82
Figura 4.23: Modelo simulado com PAF <sub>T</sub> 30.....	83
Figura 4.24: Consumo anual dos sistemas de ar condicionado SPLIT e VRF do modelo com PAF <sub>T</sub> 30 .....	84
Figura 4.25: Consumo anual dos sistemas de ar condicionado SPLIT e VRF do modelo com a aplicação agrupada dos brises horizontais com o vidro refletivo e a cobertura metálica.....	85
Figura 4.26: COP dos aparelhos durante o ano típico .....	85
Figura 4.27: Consumo energético anual dos sistemas de ar condicionado SPLIT e VRF conforme as alterações arquitetônicas propostas.....	88

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHRI	<i>American Air-conditioning, Heating and Refrigeration Institute</i>
ASHRAE	<i>American society of heating, refrigerating and Air-conditioning engineers</i>
AHS	Ângulo Horizontal de Sombreamento
AVS	Ângulo Vertical de Sombreamento
BEN	Balanco Energético Nacional
BREEAM	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology</i>
CASBEE	<i>Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency</i>
COP	Coeficiente de Performance
DOE	<i>United States Department of Energy</i>
DPI	Densidade de Potência de Iluminação
ECP Act	<i>Energy Conservation Promotion Act</i>
EER	<i>Energy Efficiency Ratio</i>
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
Env	Envoltória
EUA	Estados Unidos da América
HVAC	<i>Heating, Ventilation, and Air Conditioning</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
JSBC	<i>Japan Sustainable Building Consortium</i>
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Normas Brasileiras Regulamentadoras
ONG's	Organizações Não Governamentais
PAF <sub>T</sub>	Percentual de Área de Abertura na Fachada total
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem

PIB	Produto Interno Bruto
PJF	Percentual de Janelas na Fachada
PROCEL	Programa de Conservação de Energia Elétrica
Procel Edifica	Plano de ação para Eficiência Energética em Edificações
PTAC	<i>Packaged Terminal Air Conditioner</i>
PTG	Perdas Térmicas Globais
RAC	Regulamento da Avaliação da Conformidade
RTQ-C	Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
ST	Secretaria Técnica
TRY	<i>Test Reference Year</i>
USGBC	<i>United States Green Building Council</i>
VRF	<i>Variable Refrigerant Flow</i>
WWR	<i>Window to Wall Ratio</i>
ZBBR	Zoneamento Bioclimático do Brasil

## LISTA DE SÍMBOLOS

AC	Área útil de piso dos ambientes condicionados [m <sup>2</sup> ]
A <sub>cob</sub>	Área da Cobertura [m <sup>2</sup> ]
AE	Absorção Energética
A <sub>env</sub>	Área da Envoltória [m <sup>2</sup> ]
A <sub>tot</sub>	Área Total [m <sup>2</sup> ]
ANC	Área de piso dos ambientes não condicionados de permanência prolongada [m <sup>2</sup> ]
APT	Área de piso dos ambientes de permanência transitória [m <sup>2</sup> ]
AU	Área útil [m <sup>2</sup> ]
<i>b</i>	Pontuação obtida pelas bonificações
<i>c</i>	Calor específico [J/(kg K)]
CS	Coefficiente de Sombreamento
C <sub>T</sub>	Capacidade Térmica [kJ/(m <sup>2</sup> K)]
EqNumCA	Equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar
EqNumDPI	Equivalente numérico do sistema de iluminação
EqNumEnv	Equivalente numérico da envoltória
EqNumS	Equivalente numérico da simulação
EqNumV	Equivalente numérico dos ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente
FS	Fator Solar
P <sub>n</sub>	Importância Relativa Peso
P <sub>T</sub>	Pontuação total do nível de eficiência da edificação
R	Resistência Térmica [(m <sup>2</sup> K)/W]
REe	Reflexão Energética Externa
REi	Reflexão Energética Interna
RLe	Reflexão Luminosa Externa
RLi	Reflexão Luminosa Interna
SHGC	Coefficiente de Ganho de Calor Solar
T	Transmissão Luminosa
TBS	Temperatura de Bulbo Seco [°C]
TBU	Temperatura de Bulbo Úmido [°C]

TE	Transmissão Energética
U	Transmitância Térmica [W/(m <sup>2</sup> K)]
V <sub>tot</sub>	Volume Total [m <sup>3</sup> ]
x <sub>n</sub>	Conjunto de Números
$\bar{x}_p$	Média Ponderada
Λ	Condutividade térmica [W/(m K)]
P	Massa específica [kg/m <sup>3</sup> ]

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
1.1 OBJETIVOS.....	20
<b>1.1.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>20</b>
<b>1.1.2 Objetivos Específicos.....</b>	<b>20</b>
1.2 JUSTIFICATIVA .....	20
1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA.....	21
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>23</b>
2.1 LEGISLAÇÕES EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	23
<b>2.1.1 Sistemas de Certificação Energética de Edificações .....</b>	<b>26</b>
<b>2.1.2 Procel Edifica.....</b>	<b>27</b>
2.1.2.1 Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - RTQ-C.....	29
2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES.....	31
2.3 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO DESEMPENHO TERMO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES .....	37
<b>2.3.1 Programa EnergyPlus.....</b>	<b>37</b>
<b>2.3.2 Protótipo da Edificação .....</b>	<b>38</b>
2.4 CONFORTO TÉRMICO.....	42
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>45</b>
3.1 LEVANTAMENTO FOTOGRÁFICO .....	45
3.2 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DE PORTO ALEGRE .....	46
3.3 ORIENTAÇÃO SOLAR DAS EDIFICAÇÕES .....	48
3.4 SIMULAÇÕES TERMOENERGÉTICAS .....	49
<b>3.4.1 Definição do modelo computacional.....</b>	<b>49</b>
<b>3.4.2 Parâmetros analisados .....</b>	<b>51</b>
3.4.2.1 Materiais Construtivos.....	51
<b>3.4.3 Variação de materiais construtivos do modelo.....</b>	<b>52</b>
<b>3.4.4 Padrões de Uso e Ocupação.....</b>	<b>54</b>
<b>3.4.5 Sistemas de Condicionamento de Ar .....</b>	<b>56</b>
<b>3.4.6 Infiltração.....</b>	<b>60</b>
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>62</b>
4.1 LEVANTAMENTO FOTOGRÁFICO .....	62

4.2 MODELO DE REFERÊNCIA .....	65
<b>4.2.1 Ganhos de cargas térmicas .....</b>	<b>65</b>
<b>4.2.2 Sistema de condicionamento de ar do modelo de referência.....</b>	<b>68</b>
4.3 SPLIT X VRF .....	73
<b>4.3.1 Condutividade térmica da cobertura .....</b>	<b>75</b>
<b>4.3.2 Alteração do material das paredes .....</b>	<b>76</b>
<b>4.3.3 Fator solar dos vidros .....</b>	<b>77</b>
<b>4.3.4 Aplicação de brises verticais e horizontais.....</b>	<b>79</b>
<b>4.3.5 Redução da área de PAF<sub>T</sub>.....</b>	<b>83</b>
<b>4.3.6 Aplicação das melhores soluções.....</b>	<b>84</b>
<b>4.3.7 COP .....</b>	<b>85</b>
<b>4.3.8 Compilação dos resultados .....</b>	<b>86</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>89</b>
5.1 SUGESTÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DE NOVOS TRABALHOS .....	90
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>92</b>



## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com Romero e Reis (2012), o consumo de energia pelas edificações representa aproximadamente 30% do consumo mundial. No Brasil, a cada ano que passa a demanda de energia elétrica aumenta e, conseqüentemente, o governo necessita expandir suas usinas para suprir tal necessidade. Segundo o (BEN) Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2016), de ano base 2015, 64% da energia utilizada no país, é proveniente de usinas hidrelétricas, sendo os 34,9% restantes, procedentes do gás natural, solar fotovoltaica, biomassa, derivados de petróleo, carvão e derivados, nuclear e eólica. Ainda, conforme o relatório do BEN supracitado houve redução no do consumo de energia elétrica nos setores residencial (-0,7%) e industrial (-5,0%) devido ao aumento das tarifas e à queda da atividade econômica. Enquanto isso o setor comercial teve aumento de 0,6% em relação ao anterior.

Nos espaços comerciais, o condicionamento e a iluminação artificiais consomem entre 40 e 70% da energia elétrica gasta no setor, variando de acordo com o clima local, a tipologia arquitetônica e a quantidade de aparelhos instalados (ROMERO E REIS,2012). Portanto, apesar de não ser o maior peso na matriz energética brasileira, os espaços comerciais possuem grande ligação entre o consumo, o projeto arquitetônico e a operação. Ademais, a etapa do projeto arquitetônico é relevante para a eficiência energética, devido às escolhas das características construtivas e de implantação.

Para se buscar a racionalização do consumo de energia elétrica, faz-se necessário que os novos projetos adotem partidos visando à sustentabilidade e o conforto do usuário. Com isso, a demanda de energia elétrica seria reduzida e os gastos públicos com a ampliação das redes de fornecimento, diminuiriam.

Desta maneira, projetistas, instituições acadêmicas e governos estão buscando compreender melhor como as edificações interagem termicamente com o ambiente, para então estabelecer critérios e normas que tornem os projetos mais eficientes energeticamente, a fim de racionalizar o consumo e evitar desperdícios, sem abrir mão do conforto térmico do usuário.

As normas sobre eficiência energética de edificações somente começaram a surgir na Europa, após a crise do petróleo que ocorreu nos anos 70, porém foi em 2001 que a primeira Lei referente a este assunto foi promulgada no Brasil. Atualmente, está em vigor a Lei Nº 10.295/2001 a qual trata sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia

e que foi regulamentada pelo Decreto Nº 4.059. Também, no ano de 2005, foi publicada pela ABNT a NBR 15.220, a qual dispõe sobre o Desempenho Térmico de Edificações.

No ano de 2011, foi publicada a ASHRAE *Standard* 189.1, a qual trata sobre o desenho de alto rendimento de edifícios comerciais e que aplica sobre a base de eficiência energética da *Standard* 90.1- norma americana para edificações não residenciais e não industriais-, medidas adicionais e mais restritivas de eficiência energética, além de requisitos de energias renováveis, sustentabilidade local, eficiência do uso da água, qualidade ambiental interna, impacto do edifício no meio ambiente, materiais e recursos.

Em 2013 entrou em vigor a NBR 15575/2013, que dispõe sobre Edificações Habitacionais- Desempenho. Esta norma institui o nível de desempenho mínimo para diversos requisitos de uma edificação, como: vedações, instalações elétricas e hidrossanitárias, pisos, fachada e cobertura. Também, tem como objetivo estabelecer as responsabilidades de todos os envolvidos: construtores, incorporadores, projetistas, fabricantes de materiais, administradores condominiais e os próprios usuários.

No Brasil, existe o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Este visa classificar o nível de eficiência energética das edificações no país, através do atendimento de alguns requisitos, os quais são divididos em quatro partes: envoltória, sistema de iluminação, sistema de condicionamento de ar e a edificação como um todo (INMETRO,2009). Este Regulamento é de caráter obrigatório para todos os prédios públicos federais e, ainda, voluntário para edificações privadas. Cabe salientar que há uma forte tendência deste regulamento se tornar obrigatório para todas as edificações, o que mudará completamente na forma com que os projetos deverão ser desenvolvidos e operados pelos seus ocupantes (ROMERO E REIS, 2012).

Então, pensando em analisar como o mercado construtivo está se preparando para isso, optou-se por verificar como estão sendo construídas as edificações comerciais com mais de 500 m<sup>2</sup> - requisito do RTQ-C- e com mais de 04 (quatro) pavimentos, na cidade de Porto Alegre, a fim de gerar um modelo tridimensional de referência, caracterizando a edificação mais recorrente. A partir deste modelo, foi analisada a influência da transmitância térmica do envelope e a aplicação de diferentes sistemas de ar condicionado aplicados a essa condição construtiva e então, posteriormente, relacionar esses dados ao consumo de energia elétrica, através do *software EnergyPlus*. Também foi possível verificar quais os materiais e sistemas

construtivos estudados são mais econômicos energeticamente em edificações semelhantes ao modelo gerado, que conforme o levantamento realizado foi o padrão de edificação que apareceu como tendência nos centros comerciais da cidade.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo principal analisar o desempenho da envoltória do modelo observando a aplicação de dois tipos diferentes sistemas de condicionamento de ar de expansão direta em edificação comercial na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Criar uma base de dados de características tipológicas de edificações comerciais de Porto Alegre;
- Elaborar um modelo de referência da edificação com maior incidência construtiva para a simulação do desempenho energético no *EnergyPlus*;
- Analisar a influência de diferentes parâmetros construtivos da envoltória no consumo de energia elétrica nos sistemas de condicionamento de ar dos tipos SPLIT e VRF no consumo de energia elétrica.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O clima terrestre está sofrendo mudanças, causando aumento da incidência de chuvas, da força dos ventos e da temperatura global. Com isso, dentre as várias consequências que afetam o ambiente natural, o fator que mais atinge os humanos são as ondas de calor que vêm aumentando a cada ano. Por conseguinte, ocorre o aumento do consumo de condicionamento de ar, sistemas estes que demandam quantidades consideráveis de energia elétrica.

De acordo com Roaf *et al.* (2009), os prédios e o consequente consumo de energia são responsáveis pela produção de mais da metade das emissões responsáveis pelas mudanças climáticas e, conforme Burke e Keeler (2010), as edificações de varejo e serviços, escritórios e públicos, figuram no topo da lista dos que mais consomem energia.

Isso ocorre devido à execução de projetos arquitetônicos mal planejados, os quais não consideram o clima local onde o prédio está implantado, modo de interação dos usuários com a edificação no período pós-ocupacional e alto consumo de sistemas de condicionamento de ar.

Diante dessas circunstâncias, surge a necessidade de se estudar estratégias que visem à racionalização de energia elétrica, através da implantação de sistemas de condicionamento de ar mais eficientes, bem como a melhora no desenvolvimento de soluções arquitetônicas que propiciem a redução da necessidade de climatização artificial. Para a realização dessas tarefas existem importantes ferramentas de simulação computacional que podem auxiliar pesquisadores e projetistas a avaliar como será o desempenho termoenergético de uma futura edificação. Através dessas ferramentas é possível alterar as características dos materiais que compõem a edificação, os sistemas de ar condicionado, o perfil de ocupação dos usuários, as cargas internas de iluminação e equipamentos, entre outras possíveis.

Nesse contexto, buscou-se elaborar um trabalho que pudesse contribuir para estudos de edificações mais eficientes térmica e energeticamente e que, ao mesmo tempo, servisse de forma genérica para aplicação em diversas edificações comerciais, com características de composição de materiais, de sistemas de ar condicionado e de localização semelhantes aos selecionados. A simulação termoenergética, será realizada com os dados bioclimáticos da Zona Bioclimática Brasileira 3, que abrange a cidade de Porto Alegre, localizada no estado do Rio Grande do Sul. Para a simulação dos sistemas de condicionamento de ar artificial, foram escolhidos dois sistemas, o SPLIT por ser o modelo mais utilizado em edificações comerciais onde as salas comerciais são geridas por diversos proprietários e o VRF que é uma tecnologia em expansão nesse tipo de mercado.

### 1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA

O primeiro capítulo apresenta uma descrição sucinta da história das construções mais sustentáveis energeticamente, além dos objetivos e da justificativa do estudo.

O segundo capítulo apresenta a revisão da literatura, a legislação e os parâmetros de eficiência energética, sistemas de certificação energética dentre o qual está inserido o Procel Edifica, programas de simulação computacional, protótipo da edificação, caracterização climática de Porto Alegre e discorre brevemente sobre o conforto térmico.

O terceiro capítulo expõe a metodologia utilizada, dentre os quais se destacam: a tipologia construtiva a ser adotada, caracterização dos materiais construtivos do modelo, padrão de uso e ocupação da edificação adotados, sistemas de condicionamento de ar e simulações termo-energéticas.

O quarto capítulo relata sobre os resultados obtidos durante o levantamento fotográfico para a modelagem do protótipo e decorrentes das simulações computacionais realizadas.

No último capítulo é há uma explanação sobre as considerações finais e conclusões decorrentes do trabalho.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre as legislações em eficiência energética, além de abordar a eficiência energética em edificações, o Procel Edifica, simulação energética de edificações, caracterização climática de Porto Alegre e conforto térmico.

### 2.1 LEGISLAÇÕES EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Visando proteger o meio ambiente das crises ambientais, que começaram a envolver os países desenvolvidos e subdesenvolvidos na década de 1970, surgiram diversas organizações não governamentais (ONGs) e segundo Romero e Reis, foi na Conferência de Estocolmo em 1972, que a discussão global do modelo sustentável de desenvolvimento começou a ganhar força.

Porém, foi após a primeira grande crise do petróleo, ocorrida em outubro de 1973, que surgiram, na Europa, as primeiras regulamentações de desempenho energético das edificações, as quais visavam melhorar o isolamento térmico das residências a fim de diminuir o consumo de energia com o aquecimento artificial.

“Até aquela data não havia uma preocupação mundial com a questão da energia no setor dos transportes, tampouco no setor dos edifícios. Nos Estados Unidos, por exemplo, os grandes edifícios do setor comercial consumiam até 100 kWh/m<sup>2</sup> ao mês, ou seja, valores 8 a 10 vezes superiores ao praticado atualmente.” (ROMERO E REIS,2012)

Segundo Carlo (2008), os Estados Unidos foi o primeiro país a elaborar uma norma de eficiência energética em edificações, a qual era denominada de *Standard 90 - Energy Conservation in New Building Design*. Posteriormente, a mesma foi dividida em duas edições, ficando a *Standard 90.1* destinada a edificações não residenciais e a *Standard 90.2* para edificações residenciais.

De acordo com Melo (2007), desde o ano de 1975, a ASHRAE publica normas de eficiência energética para projetos e construções de novas edificações. Além disso, em 1989 foi que surgiu a *Standard 90.1*, a qual conceitua padrões de eficiência energética para edificações não-residenciais, como: a envoltória de edificação, iluminação artificial, sistemas de condicionamento de ar, aquecimento de água, motores e equipamentos. Sua última atualização ocorreu no ano de 2013.

A preocupação com a eficiência energética no Brasil surgiu nos anos 30, quando foi criado o primeiro instrumento legal do país para instituir o horário de verão, visando “a hora de economia de luz no verão em todo o território brasileiro” (BRASIL, 1931). Tal ato se deu através do Decreto nº 20.446, de 01/10/31, o qual decreta que “todos os relógios no Brasil deverão ser avançados, em uma hora, às 11 horas (hora legal) do dia 3 de outubro, e assim devem ser mantidos até às 24 horas do dia 31 de março, quando voltará a prevalecer a hora legal”. Posteriormente a isto, foi instituído o Decreto nº 41.019 de 26/02/57, que regulamenta os serviços de energia elétrica e a melhora no aproveitamento e o aumento da disponibilidade de energia elétrica no país. Também, prevê em um dos seus incisos do Art. 10, que cabe ao Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica a proposição de algumas medidas, como:

- “ a) o melhor aproveitamento da energia produzida, mediante mudanças de horários de consumidores, ou por seu agrupamento em condições mais favoráveis, bem como o fornecimento a novos consumidores cujas necessidades sejam complementares das dos existentes, e quaisquer outras providências análogas;
- b) a redução de consumo, seja pela eliminação das utilizações prescindíveis, seja pela adoção de hora especial nas regiões e nas épocas do ano em que se fizer conveniente. ” (BRASIL, 1957)

Na década de 80, o consumo energético era a principal preocupação mundial, e a atenção para a consciência ambiental já começava a aumentar. No Brasil, o Inmetro iniciou uma discussão com a sociedade sobre a conservação de energia, a qual originou o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) (INMETRO, 2015). Na mesma década, surgiu a primeira definição de desenvolvimento sustentável mais aceita por diversos autores, como resultado do Relatório de Brundtland, conhecido como Nosso Futuro Comum (*Our Common Future, 1987*), como aquele que atende às necessidades do presente, sem comprometer a capacidade e as necessidades das futuras gerações.

Após a crise energética ocorrida no Brasil no ano de 2001, foi promulgada a Lei Nº 10.295, de 17 de outubro de 2001 (BRASIL, 2001a), a qual dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, que visa à alocação eficiente dos recursos energéticos e a preservação do meio ambiente. Ainda, é no Art. 4º desta Lei que ficou estabelecido que cabe ao Poder Executivo desenvolver mecanismos que promovam a eficiência energética nas edificações construídas no país. Em dezembro do mesmo ano, a Lei supracitada foi regulamentada pelo Decreto Nº 4.059 (BRASIL, 2001b). Também, no ano de 2005, foi publicada a NBR 15220, a qual trata sobre o Desempenho Térmico de Edificações (ABNT, 2005). A Parte 3, desta norma, estabelece o Zoneamento Bioclimático Brasileiro



(ZBBR) e fornece diretrizes construtivas, além de recomendações estratégicas para o condicionamento térmico passivo de habitações unifamiliares de interesse social.

Como consequência de todo esse processo, no ano de 2009, foi aprovado pela Portaria de Nº 163 de 08 de junho de 2009, o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Tal Regulamento visa classificar o nível de eficiência energética das edificações no país através do atendimento a alguns requisitos, os quais estão divididos em quatro partes: envoltória, sistema de iluminação, sistema de condicionamento de ar e a envoltória (INMETRO,2009). No entanto, como já citado anteriormente, este Regulamento é de aplicação obrigatória para prédios públicos federais e de caráter voluntário para as demais edificações e tem a forte tendência de se tornar compulsório dentro de poucos anos. Ademais, como já é prática em muitos países a quantificação do desempenho energético da edificação, deverá ocorrer ainda na fase de desenvolvimento projetual. Foi com esta preocupação, a de prever os gastos energéticos, que surgiram diversos *softwares* de simulação, os quais possuem o intuito de analisar a relação dos padrões construtivos, materiais e sistemas, com o consumo energético; sendo atualmente o *software Energyplus*, o mais aceito pelos projetistas e sistemas de certificação.

“Calcula-se que quase 50% da energia elétrica produzida no país sejam consumidas não só na operação e manutenção das edificações, como também nos sistemas artificiais, que proporcionam conforto ambiental para seus usuários, como iluminação, climatização e aquecimento de água.” (ROMERO E REIS,2012)

No ano de 2009, foi publicada nos Estados Unidos pela ASHRAE a norma *Standard 189.1*- Norma para o Projeto de Edificações Sustentáveis de Alto Desempenho Exceto para Edificações Residenciais Baixas, a qual torna mais restritivos os critérios de eficiência energética da *Standard 90.1* (ASHRAE, 2014). Seu objetivo é criar orientações para edificações sustentáveis e, até mesmo, ser adotada como código ou ser citada em especificações. Outro detalhe a ser mencionado, é que a Norma supracitada possui muitas semelhanças com o sistema de certificação ambiental internacional Leadership in Energy and Environmental Design (LEED). Conforme Kennedy *et al.* (2010), durante o desenvolvimento da *Standard 189.1* foi estabelecida a meta de economizar 30% de energia do *baseline* da *Standard 90.1* de 2007.

### 2.1.1 Sistemas de Certificação Energética de Edificações

Os sistemas de certificação energética e ambiental de edificações, apesar de não serem de aplicação obrigatória, surgiram como uma forma de melhorar o desempenho energético das edificações, sendo na maioria das vezes, mais restritivos do que as regulamentações governamentais existentes. Apesar de não serem de caráter obrigatório, os construtores e consumidores buscam a certificação, por tornarem os empreendimentos diferenciados no mercado; além de possuírem o argumento de fornecer benefícios econômicos e de saúde ao longo da operação do imóvel aos usuários. Em muitos casos são utilizados como uma missão organizacional e de marketing para as suas empresas, por serem edificações que visam à sustentabilidade e que acabam por valorizar os seus imóveis (BARROS,2012).

Atualmente, os Estados Unidos, Austrália, Canadá, Japão, Hong Kong e quase todos os países europeus, criaram seu próprio sistema de certificação ambiental de edifícios. Entretanto, alguns se tornaram mais conhecidos e utilizados, são eles:

- BRE *Environmental Assesment Method* (BREEAM), foi criado no Reino Unido, pelo *Building Research Establishment*, na década de 90. Muito popular na Europa e no Reino Unido, o mesmo foi utilizado como base para outros programas de certificação, como o LEED e o Green Globes, na América do Norte, e o Green Star, na Austrália. No Brasil, ainda muito pouco conhecido, ele chegou ao país sob o esquema de certificação internacional BESPOKE, o qual foi adaptado segundo as normas e regulamentos locais;

- O LEED foi elaborado nos Estados Unidos no ano de 1993, com o objetivo de promover o desenvolvimento de edifícios de alta performance e sustentáveis. Inicialmente concebido pelo *U.S. Green Building Council* (USGBC), com o foco voltado para as edificações institucionais/comerciais, o LEED expandiu sua abrangência e passou a englobar mais tipos de edificação, como: Residencial, Desenvolvimento de Bairros, Novas Construções e Grandes Reformas, Edifícios Existentes, Interiores Comerciais, Envoltória e Estrutura Principal, Lojas de Varejo, Escolas e Hospitais. Segundo Kwok e Grondzik (2013), o LEED tem sido criticado por não se basear total ou parcialmente no desempenho real.

- O *Comprehensive System for Built Environment Efficiency* (CASBEE), foi constituído no Japão, no ano de 2005, através da colaboração do consórcio de edifícios japoneses *Japan Sustainable Building Consortium* (JSBC). Apesar do programa se basear no trabalho do BREEAM e do LEED, ele foi cuidadosamente projetado para as condições culturais e sociais do Japão;

- O *PassivHaus* foi desenvolvido na Alemanha visando minimizar a demanda de energia elétrica para o aquecimento das edificações. O mesmo pode ser aplicado no mundo inteiro, pois funciona em todos os tipos de climas. De acordo com Jagger (2011), há prédios com essa certificação espalhados em diversos países europeus, além de Austrália, China, Japão, Estados Unidos, Canadá e alguns países da América do Sul;

- O programa federal americano *Energy Star* é administrado pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA, em conjunto com o Departamento de Energia (Department of Energy) deste mesmo país. A diferença entre ele e o LEED, está na forma de calcular a energia a ser utilizada, pois neste programa o cálculo do consumo energético é feito através de um modelo com semelhança de localização e tamanho apenas, o que não dá muita precisão nos resultados de pós-ocupação.

- O sistema australiano de certificação ambiental na construção civil, Green Star, também foi concebido com base nos programas de certificação BREEAM e LEED.

### **2.1.2 Procel Edifica**

No Brasil, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), foi criado no ano de 1985 pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e da Indústria e Comércio (MDIC) em parceria com a Eletrobras, o qual visa à racionalização da produção e do consumo de energia elétrica no país. Porém, foi a partir do ano de 1991 que o Procel passou a ser um programa do governo e a ter mais abrangência.

Este Programa tem o intuito de estimular que as construções sejam projetadas, desde o princípio, com a preocupação do bem-estar dos usuários e a racionalização do consumo energético. O perfil de consumo dos ocupantes influencia diretamente no desempenho energético das edificações, por isso é necessário fomentar novos hábitos na mentalidade dos consumidores.

O setor das edificações é um dos maiores consumidores de energia elétrica, competindo com o consumo das indústrias. Os altos índices de consumo pelas edificações culminaram no surgimento de diversos programas de certificação energética para edificações em todo o mundo. Com isso, o governo brasileiro sentiu a necessidade de criar um programa voltado especificamente para este setor com o intuito de estimular a aplicação de conceitos de eficiência energética em edificações. Foi então, no ano de 2003, que surgiu o PROCEL Edifica, o qual foi desenvolvido através de parcerias entre os Ministérios de Minas e Energia, o Ministério das Cidades, as universidades, os centros de pesquisa e entidades das áreas

governamental, tecnológica, econômica e de desenvolvimento, além do setor da construção civil. O programa além de divulgar e estimular o conceito de eficiência energética em edificações incentiva a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais (água, luz, ventilação, etc.), reduz os desperdícios e os impactos sobre o meio ambiente e também apoia a viabilização da "Lei de Eficiência Energética" (Lei 10.295/2001), no que diz respeito a edificações eficientes.

O sistema de avaliação do Procel Edifica está descrito no Regulamento para Concessão do Selo Procel de Economia de Energia para Edificações, bem como nos Critérios Técnicos específicos, os quais se baseiam nos dois regulamentos disponíveis para aplicação, são eles: o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edificações Residenciais- RTQ-R e de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos- RTQ-C e Requisitos de Avaliação de Conformidade para Eficiência Energética de Edificações- RAC, do Programa Brasileiro de Edificações- PBE Edifica/INMETRO.

Tais regulamentos compreendem várias categorias de avaliação, sendo que cada um deles possui suas especificidades. Para o RTQ-C, são avaliados três sistemas: o condicionamento de ar, a envoltória e a iluminação, enquanto que no RTQ-R os itens avaliados são a envoltória e o sistema de aquecimento de água, visto que grande parte do consumo elétrico nas edificações é decorrente do provimento de conforto térmico e ambiental aos seus usuários. É possível verificar na Tabela 2.1, a quantidade de Etiquetas Nacionais de Conservação de Energia (ENCE) concedidas às edificações até a metade do ano de 2015.

Tabela 2.1: Tipos/ Quantidade de Etiquetas Concedidas

Ano	Comerciais, de Serviços e Públicos		Residenciais Multifamiliares		Residencial-Áreas de Uso Comum		Residencial-Unidade Habitacional Autônoma	
	Avaliação de Projeto	Inspeção <i>in loco</i>	Avaliação de Projeto	Inspeção <i>in loco</i>	Avaliação de Projeto	Inspeção <i>in loco</i>	Avaliação de Projeto	Inspeção <i>in loco</i>
2009	04	02	-	-	-	-	-	-
2010	18	14	04	01	-	-	86	01
2011	05	01	-	-	-	-	01	-
2012	18	17	09	02	01	-	861	02
2013	19	04	07	-	-	-	936	03
2014	18	03	03	02	-	-	68	-
2015	10	01	01	-	-	05	277	730
<b>Sub total</b>	92	42	24	05	01	05	2229	736
<b>Total</b>	3134							

Fonte: Adaptado das tabelas PBE Inmetro (2015)

É notável que o crescimento no número de projetos, que visam à etiquetagem, aumentou consideravelmente com o passar dos anos; porém, também é visível que no setor de edificações comerciais e de serviços o aumento não foi significativo quando comparado aos anos anteriores. Essa procura restrita, por parte dos construtores, se deve ao fato de a etiquetagem ser de caráter obrigatório apenas para as edificações públicas federais.

De acordo com o Relatório PROCEL de 2014, com a correta aplicação dos requisitos presentes no programa, como: a implementação de ações de eficiência energética nos sistemas de iluminação, ar condicionado e intervenção arquitetônica na envoltória, a economia de energia elétrica estimada em edificações existentes pode chegar a aproximadamente 30%, enquanto que em novas edificações este percentual pode aumentar para 50% (PROCEL, 2014).

#### 2.1.2.1 Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - RTQ-C

No ano de 2009, a Secretaria Técnica de Edificações (ST- Edificações) em parceria com o INMETRO publicou o RTQ-C, o qual pode ser aplicado em edificações comerciais, de serviços ou públicas, condicionadas ou não, com tensão de abastecimento superior ou igual à 2,3 kV e com área total mínima de 500 m<sup>2</sup>.

O RTQ-C apresenta critérios para a classificação do nível de eficiência energética do edifício, através dos requisitos para os sistemas de iluminação, de condicionamento de ar e envoltória, já citados. Estes três itens, mais as bonificações que podem ser obtidas através da redução do consumo de energia elétrica, uso racional da água, utilização de equipamentos certificados pelo PBE, entre outros, são reunidos em uma equação geral de classificação do nível global de eficiência energética da edificação. Após feita essa etapa, o edifício pode receber a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), contendo os níveis finais e parciais da edificação, a qual pode ser visualizada na Figura 2.1.

Existem dois métodos que podem ser utilizados para a obtenção da Etiqueta, são eles: o prescritivo e o de simulação. O método prescritivo avalia as edificações através de equações e tabelas, - não abrangendo todas as soluções possíveis de existir em um edifício -, enquanto que o método de simulação permite uma avaliação da eficiência de forma mais completa. Segundo o manual do RTQ-C (BRASIL, 2014), a avaliação através do método de simulação, é indicada para: liberdade de projeto, utilização de inovações tecnológicas, uso de estratégias passivas de condicionamento e incorporação de soluções não previstas no Regulamento.



Figura 2.1: Modelo da ENCE para Edificações

Fonte: Manual do RTQ-C (BRASIL,2014)

Há cinco níveis de eficiência que podem ser alcançados, tanto para classificações parciais (envoltória, iluminação ou condicionamento de ar), como para totais, que vão de A (mais eficiente) ao E (menos eficiente), conforme a Figura 2.2. Para a obtenção da classificação geral do edifício, cada requisito deve ser avaliado separadamente, para tanto, pesos foram distribuídos para cada requisito, desta forma: Sistema de Iluminação (DPI) = 30%; Sistema de Condicionamento de Ar (CA) = 40%; Envoltória (Env) = 30%.

CLASSIFICAÇÃO FINAL	PT
A	≥4,5 a 5
B	≥3,5 a <4,5
C	≥2,5 a <3,5
D	≥1,5 a <2,5
E	<1,5

Figura 2.2: Classificação Geral

Fonte: Manual RTQ-C, 2014

Para obter-se a classificação geral do edifício, é necessário inserir os parâmetros solicitados na Eq. 2.1, apresentada abaixo.

$$PT = 0,30 \left\{ \left( EqNumEnv \frac{AC}{AU} \right) + \left( \frac{APT}{AU} 5 + \frac{ANC}{AU} EqNumV \right) \right\} + 0,30 (EqNumDPI) + 0,40 \left\{ \left( EqNumCA \frac{AC}{AU} \right) + \left( \frac{APT}{AU} 5 + \frac{ANC}{AU} EqNumV \right) \right\} + b_0^1 \quad (2.1)$$

onde  $P_T$  é a pontuação total do nível de eficiência da edificação;  $EqNumEnv$  é o equivalente numérico da envoltória;  $EqNumDPI$  é o equivalente numérico do sistema de iluminação, identificado pela sigla DPI, de Densidade de Potência de Iluminação;  $EqNumCA$  é o equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar;  $EqNumV$  é o equivalente numérico de ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente;  $APT$  é a área de piso dos ambientes de permanência transitória, desde que não condicionados;  $ANC$  é a área útil dos ambientes não condicionados de permanência prolongada, com comprovação de percentual de horas ocupadas de conforto por ventilação natural (POC) através do método de simulação;  $AC$  é a área útil dos ambientes condicionados;  $AU$  é a área útil e  $b$  é a pontuação obtida pelas bonificações, que varia de zero a um.

## 2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

De acordo com a publicação do BEN (BRASIL,2016), realizado pela Empresa de Pesquisa Energética, a energia elétrica consumida no Brasil em 2014 aumentou em 4,8% em relação ao ano anterior, com destaque para os setores residencial e comercial. Tal acréscimo foi atendido a partir da expansão da geração térmica, especialmente das usinas movidas a carvão mineral, gás natural e bagaço de cana.

Sabe-se que a energia elétrica é o fator chave do desenvolvimento e da subsistência para diversos setores, tais como: indústrias, agricultura, comércio, serviços e principalmente, influencia na maneira de viver do ser humano. A estimativa é de que nas próximas décadas, o sistema de energia elétrica mundial mude consideravelmente, pois o dispêndio energético estimado será o dobro do atual.

Os problemas de eficiência energética das edificações podem ser divididos dois itens: envoltória e equipamentos e sistemas (iluminação, ar condicionado e água quente). Além disso, parâmetros como a densidade de carga interna e o padrão de uso dos equipamentos e da iluminação artificial pelos usuários, influenciam diretamente no desempenho energético de

um edifício. Um dos exemplos que demonstra a forma de interação sem consciência ambiental dos usuários com as edificações está em uma pesquisa realizada nos Estados Unidos, a qual mostrou que 6,2% do total da energia primária do país é desperdiçada no aquecimento ou refrigeração de ambientes desocupados durante a noite (MEYERS, 2010 *apud* BEIZAE *et al.*, 2014)

A relação entre os problemas ambientais do planeta, o modo de ocupação dos edifícios e o alto consumo de energia elétrica, é inquestionável. Por isso, é necessário compreender a importância que os projetos arquitetônicos e de instalações complementares, desempenham em termos energéticos no período de pós-ocupação das edificações.

Pensando nessas questões, no ano de 2003, o Procel, lançou o Procel Edifica: Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações. Este plano está dividido em seis linhas de ação, as quais visam racionalizar o consumo de energia elétrica no Brasil, são elas:

1. requisitos básicos para a arquitetura bioclimática;
2. indicadores referenciais de eficiência energética para edificações;
3. certificação de materiais e equipamentos;
4. regulamentação/ legislação;
5. mecanismos para contribuição de recursos financeiros e remoção de barreiras à conservação de energia elétrica;
6. projetos educacionais e de interesse social.

A linha de ação número quatro está dividida em cinco partes, destacando-se para o desenvolvimento deste trabalho, o sub item que trata sobre a determinação de parâmetros referenciais para edificações, com foco na envoltória do edifício.

Como definição de envoltória (env) o RTQ-C conceitua como: “planos que separam o ambiente interno do externo”. Os problemas com a envoltória iniciam desde o lançamento do projeto, pois dentre outros fatores é fundamental identificar o tipo de clima local e a disposição do prédio no terreno, o que muitas vezes é desconsiderado. Com a crescente utilização de grandes percentuais de áreas envidraçadas nas fachadas em prédios comerciais, denominadas pela ASHRAE como WWR- *window to wall ratio* e pelo RTQ-C como PAF<sub>T</sub>- Percentual de Área de Abertura na Fachada total (denominação escolhida para ser utilizada no decorrer deste trabalho), a transferência de calor e o ganho de carga térmica por essa região, conseqüentemente aumentam.



A Tabela 2.2, elaborada por Lamberts (1996) para a cidade de Salvador, ilustra a correlação entre o consumo energético e o tipo de envelope da edificação. Como exemplo de envelope do tipo considerado pesado, pode-se considerar uma parede composta por tijolos maciços assentados no maior sentido, com duas camadas de emboço de 0,025 m cada, tanto do lado externo quanto do lado interno da parede, totalizando a espessura de 0,27 m. Para o padrão de envelope do tipo médio, pode-se citar uma parede formada por tijolos com oito furos assentados no maior sentido, com uma cama de emboço de 0,025 m em cada lado da parede, totalizando aproximadamente 0,25 m.

Tabela 2.2: Consumo médio de edifícios comerciais e públicos em Salvador

Tipo de envelope	Consumo anual de energia [kWh/m <sup>2</sup> ]
Pesado	96,0
Médio	103,2
Vidro claro	145,2
Fachada sombreada	96,0

Fonte: Lamberts (1996)

É possível verificar através do estudo de Lamberts (1996) que as edificações com o envelope composto por vidro claro, possuem os maiores consumos de energia elétrica. A afirmação de que as edificações com grandes áreas de PJJ (percentual de área de janelas) são as que mais consomem energia elétrica, também está presente no relatório que trata sobre a proposta de inclusão de parâmetros de eficiência energética no código de obras de Salvador (COELBA E UFSC, 2003). A Figura 2.4, retirada do relatório, ilustra a relação entre o PJJ nas fachadas de diferentes orientações solares na cidade de Salvador e o consumo energético da edificação. As diferenças de consumo foram medidas nas fachadas norte e sul (NS), norte e leste (NL), norte e oeste (NO), sul e leste (SL), sul e oeste (SO) e leste e oeste (LO).

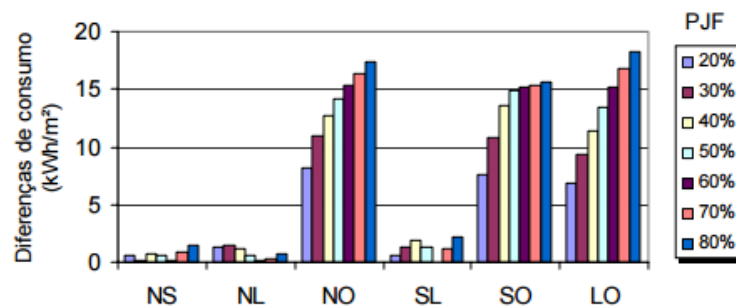


Figura 2.3: Diferenças de consumo entre as orientações solares e a área de PJJ

Fonte: Relatório convênio COELBA e UFSC (2003)

Em cada seleção, o PJJ variou de 20% a 80%, demonstrando que na maior parte às vezes, quanto maior o PJJ maior o consumo energético, principalmente quando relacionado à fachada oeste.

Outro fator que influencia diretamente na eficiência energética e está presente em alguns materiais convencionais que são utilizados nas envoltórias, como as esquadrias de alumínio, possuem alta condutividade térmica, o que cria pontes térmicas. Como definição de pontes térmicas, entende-se:

“o calor flui do quente para o frio e, nos sistemas de edificações, ele sempre busca o caminho do menor esforço. Esse caminho passa pelos elementos que são melhores condutores do que os adjacentes. Quando há caminhos de condução térmica nos sistemas da edificação, a transferência de calor é rápida. Tal caminho é chamado de ponte térmica.” (BURKE E KEELER, 2010)

Conforme Valério (2007), em pesquisa realizada em um edifício residencial de 9 pavimentos, localizado na cidade de Cascais em Portugal, o peso das perdas por pontes térmicas dos elementos construtivos da edificação analisada, pode chegar a 20% do total das Perdas Térmicas Globais (PTG). Com isso é possível concluir que as pontes térmicas também possuem relevância no desempenho térmico dos edifícios, portanto verificar esse fator através de simulações energéticas na fase projetual, pode influenciar na economia energética no momento de ocupação pelos usuários.

Além disso, outras características que afetam diretamente no ganho ou perda de calor para o ambiente interno são as cores da envoltória, as propriedades térmicas dos materiais e componentes como os vidros, paredes, *brises-de-soleil* e cobertura. Esta última, geralmente é a parte mais suscetível a ganhos térmico devido a sua alta exposição solar, à cor da telha e muitas vezes à falta de isolamento térmico.

De acordo com Melo (2007), o aumento do valor da absorvância da cobertura nos casos estudados em sua dissertação, refletiu em um aumento considerável no consumo do sistema de ar condicionado para a cidade de Curitiba, como mostra a Figura 2.4.

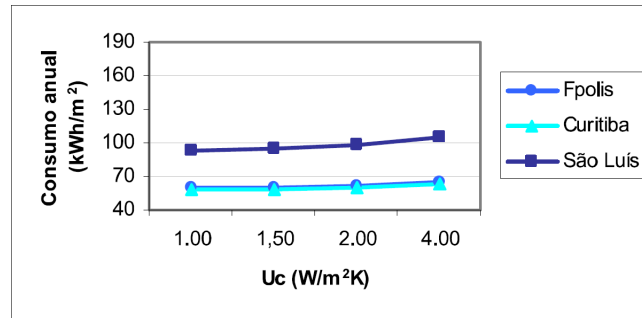


Figura 2.4: Consumo anual baseado na absorvância da cobertura de 0,2

Fonte: Melo (2007)

A iluminação, conforme a Eletrobrás/PROCEL (2001), consome aproximadamente 23% do consumo de energia elétrica do setor residencial, 44% no setor comercial e serviços públicos e 1% no setor industrial. Ainda, de acordo com o Procel, diversos trabalhos relatam que a iluminação ineficiente é comum no Brasil.

Similarmente a esses dados, o Relatório de Avaliação do Mercado de Eficiência Energética do Brasil publicado pelo PROCEL (2005), descreve que os maiores índices de consumo energético nas edificações comerciais brasileiras, encontram-se nos sistemas de condicionamento de ar e de iluminação, conforme exemplificado na Figura 2.5.

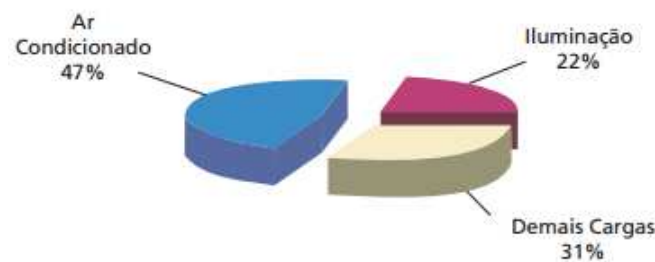


Figura 2.5: Distribuição do Consumo por Uso Final

Fonte:PROCEL, 2005

Então, o projeto luminotécnico é imprescindível em edifícios comerciais, pois para cada ambiente de trabalho e para tipos diferentes de atividades exercidas no ambiente, exigem-se níveis de iluminância diferentes. Como conceito de iluminância, a NBR 8995 (ABNT, 2014) que trata de Iluminância de Interiores, define: “limite da razão do fluxo luminoso recebido pela superfície em torno de um ponto considerado, para a área da

superfície quando esta tende para o zero”. Ou seja, são os valores recomendados por Norma Técnica para a iluminância mínima em serviços para a iluminação artificial de interiores, os quais variam de acordo com a atividade que é realizada no ambiente. Além disso, outros parâmetros devem ser levados em conta, tais como: as dimensões do ambiente, escolha das lâmpadas e das luminárias, fator de utilização, fluxo total, manutenção, entre outros.

Entre as tantas soluções para racionalização do consumo de energia elétrica através da iluminação artificial, está a distribuição adequada dos circuitos que permite o acionamento independente das luminárias estipuladas por zonas, e/ou o acionamento automático por sensores de presença, de dimerização e de minuteiras. Portanto, investir desde a etapa projetual na iluminação adequada, pode gerar uma economia relevante na conta de energia elétrica.

Já os sistemas de condicionamento de ar, muito presentes nas edificações comerciais para a climatização dos ambientes, são os grandes vilões do consumo de energia elétrica. Entretanto, podem ser utilizadas soluções que tem a capacidade de reduzir significativamente esse percentual de consumo, como: a correta implantação do prédio no terreno com as menores fachadas voltadas para o eixo leste-oeste, utilização de brises para o sombreamento das fachadas, adoção de condicionadores de ar mais eficientes e temperaturas de conforto ajustadas corretamente.

Conforme pesquisa realizada por Melo (2007), a qual simulou duas tipologias comerciais em três climas diferentes, exemplificados nesse caso pelas cidades de Florianópolis, Curitiba e São Luis, a mesma concluiu que aumentando a transmitância térmica das paredes ocorreu maior dissipação dos ganhos internos para o ambiente externo o que proporcionou economia no sistema de condicionamento de ar. Tal fato não ocorre quando o mesmo é aplicado nos materiais de cobertura. Neste estudo, também foi simulado um sistema de ar condicionado de janela com diferentes Coeficientes de Performance (COP), sendo um com COP de 1,82 e o outro com COP de 3,19. A diferença de consumo é muito significativa nas três cidades, sendo que no clima de São Luis o aumento chegou a 60 kWh/m<sup>2</sup>.

Portanto, para se chegar a uma edificação mais eficiente em termos térmicos e energéticos, vários fatores devem ser analisados ainda na etapa projetual. Atualmente, com a ajuda de sistemas de simulação computacional, a previsão de como funcionará o edifício pós-ocupação pode se tornar próxima a medições reais e permitir a aplicação de técnicas e trocas de materiais construtivos antes do início da construção.

## 2.3 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO DESEMPENHO TERMO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES

Os modelos gerados por computador possibilitam simular interações complexas entre o meio e as diversas características da edificação, o que muitas vezes em um caso real não se tornaria possível. Através dessa ferramenta, é possível alterar os parâmetros dos materiais construtivos, o sistema de ar condicionado, a temperatura interna desejada, potência e carga instalada dos equipamentos previstos para os ambientes, padrão de ocupação dos usuários e como resultado nos dados de saída, obter dados de carga térmica, consumo de energia, analisar a transferência de calor em regime transiente dos componentes construtivos, entre outras diversas possibilidades.

Entretanto, nem sempre a modelagem condiz com o uso e a operação da edificação após a ocupação. Por esse motivo, a qualidade da inserção dos dados de projeto no software de simulação energética é muito importante para obter-se o resultado mais próximo possível da realidade. A escolha de qual programa é o mais adequado, dependerá do enfoque da aplicação requerida pelo usuário.

### 2.3.1 Programa EnergyPlus

Hoje, existem diversos programas de simulação energética de edificações, como por exemplo: EnergyPlus, TRNSYS, ECOTECH, BLAST, DOE2.1E, entre outros. O EnergyPlus foi desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos da América (DOE) e formulado através da fusão dos programas BLAST e DOE-2. Tal programa visa a simulação da carga térmica e a análise energética de edificações e de seus sistemas.

O programa apresenta três módulos básicos, são eles:

- cálculo de cargas através do balanço térmico;
- simulação de sistemas;
- gerenciador da simulação.

Para realizar a simulação do ano típico completo, é necessário inserir um arquivo climático do tipo TRY (*Test Reference Year*) que possui 8760 horas de dados que inclui: umidade relativa do ar, temperatura, radiação solar do local e extraterrestre, velocidade do

vento, entre outros; ou do tipo TMY (*Typical Meteorological Year*) que compila os dados horários dos meses de uma série de 20 anos, excluindo os dias extremos.

O *EnergyPlus* é um dos programas de simulação computacional mais aceitos mundialmente pelos programas de certificações energéticas mundiais. É ideal para analisar o comportamento de uma edificação quanto ao gasto energético e de água. Quanto maior for o refinamento dos dados inseridos, maior a precisão dos dados de saída.

### 2.3.2 Protótipo da Edificação

Conforme Carlo (2008), “como um dos objetivos da simulação do desempenho térmico de edificações é uma estimativa rápida e confiável, o ponto chave para simular uma edificação que represente um grupo é definir como será o protótipo”. Ou seja, como a simulação do consumo de energia pode indicar resultados para várias edificações com características semelhantes, é necessário criar um modelo que desempenhe as características de uma gama de edifícios, a fim de aplicar o estudo em outras edificações. Conforme o levantamento de dados, visando a definição de protótipos de edificações brasileiras, desenvolvido por Carlo e Lamberts (2005),

“[...] o protótipo, por ser baseado em mais de uma edificação, não está passível de ajustes e calibração como o modelo real, mas visa representar as características mais comuns de uma amostra ou grupo, mesmo que não exista uma edificação que possa ser diretamente relacionado com o protótipo”.

Carlo (2008), realizou a simulação do desempenho termoenergético através do programa *EnergyPlus*, de protótipos representativos de edifícios comerciais (bancos, hotéis, escritórios, supermercados, entre outros) e institucionais. Foi realizado um levantamento fotográfico de 1103 edificações distribuídas entre cinco cidades brasileiras: Florianópolis, São Paulo, Salvador, Recife e Belo Horizonte. Com esse levantamento, foram gerados alguns modelos de edificações com as volumetrias arquitetônicas mais frequentes. Para gerar esses modelos, algumas características adicionais foram classificadas, como: os PAF<sub>T</sub>, tipo de vidro (espessura e cor), tipo de parede, ângulos de sombreamento, orientação do edifício, número de pavimentos e forma arquitetônica. Posteriormente, ocorreram visitas *in loco* em edificações selecionadas na cidade de Florianópolis que se enquadrassem nas características externas determinadas na etapa anterior, a fim de colher informações reais dos sistemas de iluminação, condicionamento de ar e equipamentos e padrão de ocupação dos usuários.

Entretanto, para facilitar a análise, Carlo (2008) adotou um  $PAF_T$  único para todas as orientações solares, ficando em 25% para os edifícios de grandes escritórios em todas as fachadas do modelo. Também, a orientação solar da edificação foi estipulada como leste-oeste para as menores fachadas; o valor nominal da taxa de infiltração ficou em 0,5 trocas/h; a temperatura do *setpoint* foi fixada em 18°C para aquecimento e 24°C para resfriamento; o dimensionamento do ar condicionado na simulação foi programado como *autosize*; o contato do piso térreo com o solo foi considerado adiabático e o entorno urbano foi desconsiderado. A Tabela 2.3 exemplifica os parâmetros adotados e pela pesquisadora em sua pesquisa para o modelo de edifício vertical de grandes escritórios.

Outro trabalho que é constantemente referenciado nas pesquisas brasileiras que tratam sobre esse tema, é o realizado por Chirarattananon e Tawewkun (2002) e relata que no ano de 1992 o governo tailandês promulgou uma lei para promover a conservação de energia e o desenvolvimento de energias renováveis. A lei, então denominada *Energy Conservation Promotion Act* (ECP Act), admite quatro modelos de edificações comerciais, apresentadas na Figura 2.6, os quais foram obtidos após uma série de auditorias energéticas em prédios comerciais. Os parâmetros das edificações que foram adotados para a classificação nessa auditoria, foram: tipo, localização, idade da construção, forma, dimensão, orientação, construção, áreas condicionadas ou não, sistema de ar condicionado, iluminação e equipamentos.

Tabela 2.3: Parâmetros do modelo dos grandes escritórios

Parâmetros		Valores adotados
Dimensões (m)		27 x 7,5
Pé-direito (m)		2,60
Número de Pavimentos		10
Área total (m <sup>2</sup> )		2025,00
Fator de Forma ( $A_{env}/V_{tot}$ )		0,38
Fator de Altura ( $A_{cob}/A_{tot}$ )		0,10
Vidro	Cor	Cinza
	espessura	3 mm
	película refletiva	Incolor (laterais e fundos)
	fator solar	0,83
Transmitância Térmica	Paredes	2,39 W/(m <sup>2</sup> K)
	Cobertura	1,17 W/(m <sup>2</sup> K)
Absortância	Paredes	0,35
	Cobertura	0,60
Ocupação média		19,57 m <sup>2</sup> /pessoa
Densidade de carga interna	Iluminação	6,7 W/m <sup>2</sup>
	Equipamentos	9,6 W/m <sup>2</sup>
	Equipamentos- elevador	-
Padrão de uso	Ocupação	8-12; 14-18h

Parâmetros		Valores adotados
Padrão de uso	Iluminação	8-22 h
	Equipamentos	8-18; 19h
Características do sistema de condicionamento de ar	Tipo	Ar de janela
	Capacidade	<i>autosize</i>
	Coeficiente de Performance	3,19
Ângulos de Sombreamento	Vertical (AVS)	Com e sem
	Horizontal (AHS)	Com e sem

Fonte: Adaptado de Carlo (2008)

Conforme os autores, grandes edifícios possuem várias zonas térmicas e as mesmas devem ser divididas por ocupação, iluminação e equipamentos. É possível observar que os modelos gerados como referência, possuem formato retangular e, de acordo com a pesquisa, as suas menores fachadas estão voltadas para a orientação leste-oeste.

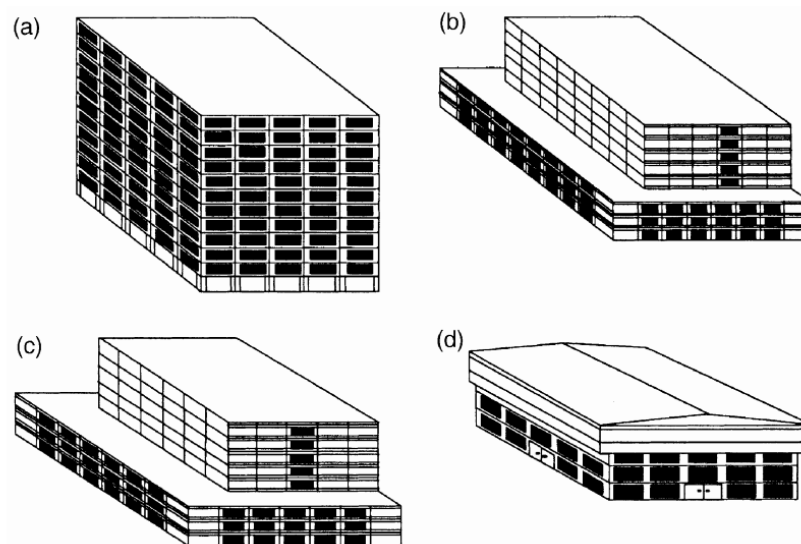


Figura 2.6: Formas de quatro modelos de edificações referenciais: (a) escritório, (b) hotel, (c) hospital e (d) loja de departamento

Fonte: Chirarattananon e Tawewkun (2002)

Mais um estudo, que também produziu protótipos de edificações comerciais e institucionais brasileiros, foi realizado por Carlo e Toccolini (2005) e registrou 613 edifícios, através de levantamentos fotográficos em São Paulo, Florianópolis, Recife e Salvador. A partir dessas imagens foi possível classificar dados como número de pavimentos, forma,  $PAF_T$  e cor do vidro.



Com esses dados e mais os números coletados do consumo de energia de alguns desses edifícios, foi possível levantar as características físicas e de uso da energia de seis edificações para simulações: um supermercado, uma loja de grande porte, um escritório de grande porte, um restaurante, uma pousada e uma pequena agência bancária. Posteriormente, para a realização de testes, um protótipo simplificado de edifício de escritórios foi um dos casos adotados e teve as suas zonas térmicas internas variadas três vezes, conforme a Figura 2.7.

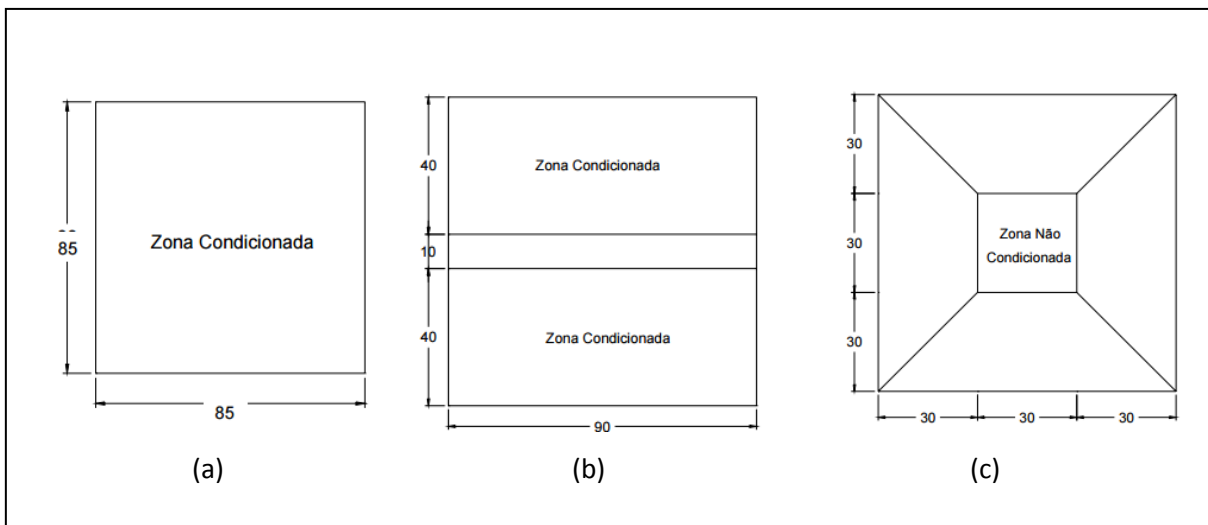


Figura 2.7: Modelos em planta baixa com a divisão das zonas térmicas (a) modelo com apenas uma zona térmica (b) modelo com três zonas térmicas (c) modelo com cinco zonas térmicas

Fonte: Adaptação do trabalho de Lamberts *et al* (2005)

Através de simulações realizadas no programa *EnergyPlus*, adotando o clima de Florianópolis como referência, foi possível estimar o consumo de energia elétrica mensal e comparar os resultados com as faturas obtidas de um edifício real. A Figura 2.8 mostra o consumo mensal estimado com as três configurações de zonas térmicas e se verifica que os três modelos representam bem o desempenho térmico de uma edificação real, ou seja, a quantidade de zonas inseridas no modelo para diferenciar os ambientes internos da edificação, não influencia de maneira significativa os resultados obtidos na simulação.

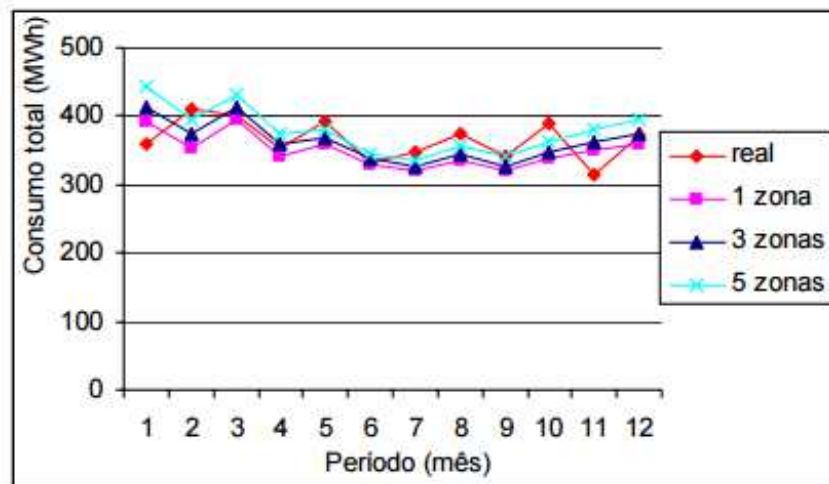


Figura 2.8: Consumo de energia elétrica mensal e real e simulado pelos três modelos

Fonte: Lamberts *et al.* (2005)

Com isso, através dessa comparação é possível verificar que modelos simplificados de edificações representam bem os ambientes reais, o que demonstra que uma edificação complexa pode ser simulada com um número menor de variáveis, bem como, com menor distinção de zonas térmicas dentro de cada pavimento.

## 2.4 CONFORTO TÉRMICO

As edificações comerciais, que apresentam um grande número de escritórios, possuem cargas térmicas elevadas as quais vão além da condição do ambiente externo, como: usuários, iluminação e equipamentos. Esses elementos influenciam diretamente na temperatura do ambiente interno. Assim, o projeto de condicionamento de ar precisa prever esses condicionantes, para manter estável a temperatura desejada.

Além do mais, as atividades desempenhadas pelo ser humano produzem energia interna no corpo, o qual cria mecanismos para dissipar essa energia no ambiente, a fim de equilibrar a temperatura corporal. Essas interações podem ser observadas na Figura 2.9.

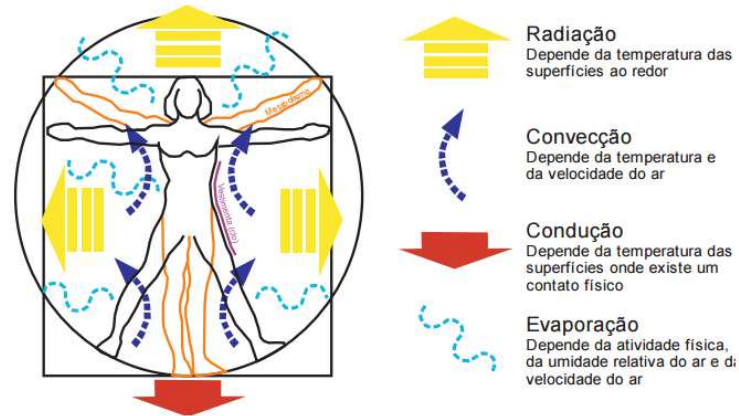


Figura 2.9: Representação esquemática da fisiologia humana e trocas térmicas

Fonte: Conforto e Stress Térmico, Lamberts (2014)

Atualmente, a norma americana ASHRAE Standard 55 (American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers), avalia o conforto térmico em ambientes climatizados ou não. É possível verificar na Figura 2.10, as faixas aceitáveis de temperatura operativa e de umidade absoluta do ar com até 80% de aceitabilidade por parte dos usuários.

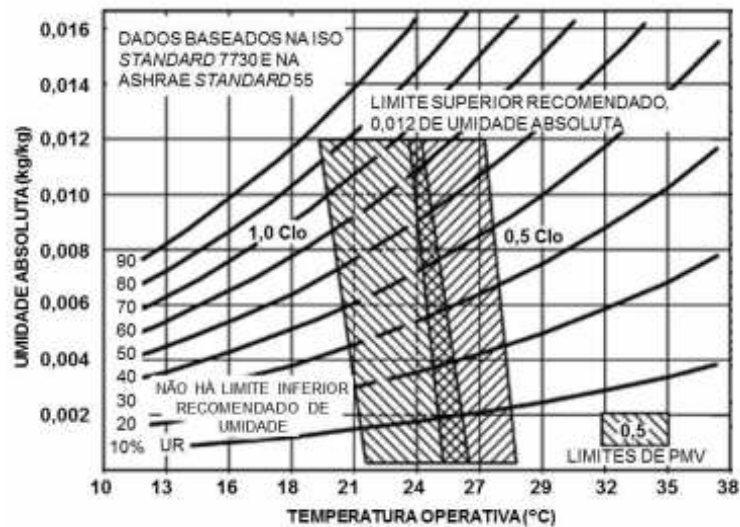


Figura 2.10: Faixas aceitáveis de temperatura operativa e umidade absoluta para ambientes com climatização artificial

Fonte: ASHRAE Handbook Fundamentals, 2009

Segundo Lamberts (2014) a NBR 16401 de 2008, foi desenvolvida para projetos de sistemas HVAC (*Heating, Ventilation and Air Conditioning*), teve seu conteúdo baseado na *ASHRAE Handbook of Fundamentals* de 2005 e, é a norma que melhor define as condições internas ideais para o conforto térmico humano. Além disso, de acordo com o autor, o documento define como condições internas de conforto térmico para o verão, a temperatura

operativa de 22,5 a 25,5 °C, com 65% de umidade relativa do ar e 23 a 26 °C, com umidade relativa de 35%. Os valores mencionados tem como base a vestimenta que é representada pela unidade de um clo (1 clo= 0,155 [(m<sup>2</sup>K)/W]) e velocidade do ar inferior a 0,15 m/s para os sistemas de distribuição de ar normais. Para os sistemas de ventilação de deslocamento esse valor é menor que 0,2 m/s. No inverno, a temperatura ideal varia entre 21 e 23,5 °C, com umidade relativa do ar de 60%; 21,5 a 24 °C, com umidade relativa do ar de 30%. Esses valores têm como base um clo e velocidade do ar inferior a 0,15 m/s.

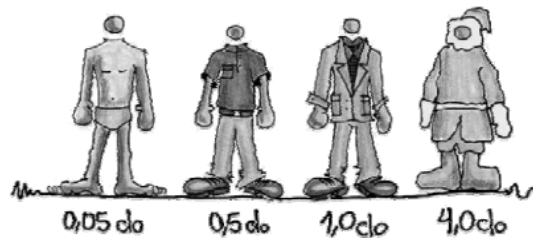


Figura 2.11: Representação da resistência térmica das vestimentas de acordo com a ISO 7730

Fonte: Lamberts, 2010.

Com o objetivo de atribuir ao presente estudo os valores determinados pela NBR 16401, baseados na unidade de medida “clo”, a Figura 2.11 simboliza, com base na ISO 7730 (*Ergonomics of Thermal Environment*), a vestimenta geralmente utilizada em escritórios comerciais pelos usuários do público masculino que é terno e gravata.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 LEVANTAMENTO FOTOGRÁFICO

Com base na metodologia para a definição de tipologias construtivas realizada por Carlo (2008), trabalho que foi referência para a elaboração de alguns parâmetros adotados pelo RTQ-C, foi realizado um levantamento fotográfico com o auxílio do *Google Maps* nas principais zonas comerciais da cidade de Porto Alegre, para registrar as edificações que possuem salas comerciais particulares, ocupadas por diversas empresas em um único prédio. Então, aqueles onde há variação nos padrões de comportamento durante a ocupação e que apresentam mais do que quatro pavimentos, não foram considerados. É importante frisar que se procurou desconsiderar do levantamento, os prédios institucionais, hotéis e os ocupados por uma única empresa.

O levantamento das edificações comerciais, registrou os principais centros comerciais da cidade de Porto Alegre, que ficam localizados nas avenidas Augusto Meyer, Borges de Medeiros, Ipiranga, Nilo Peçanha, Praia de Belas, Dom Pedro II, Carlos Gomes, rua Riachuelo e rua Costa, conforme demarcado na Figura 3.1.

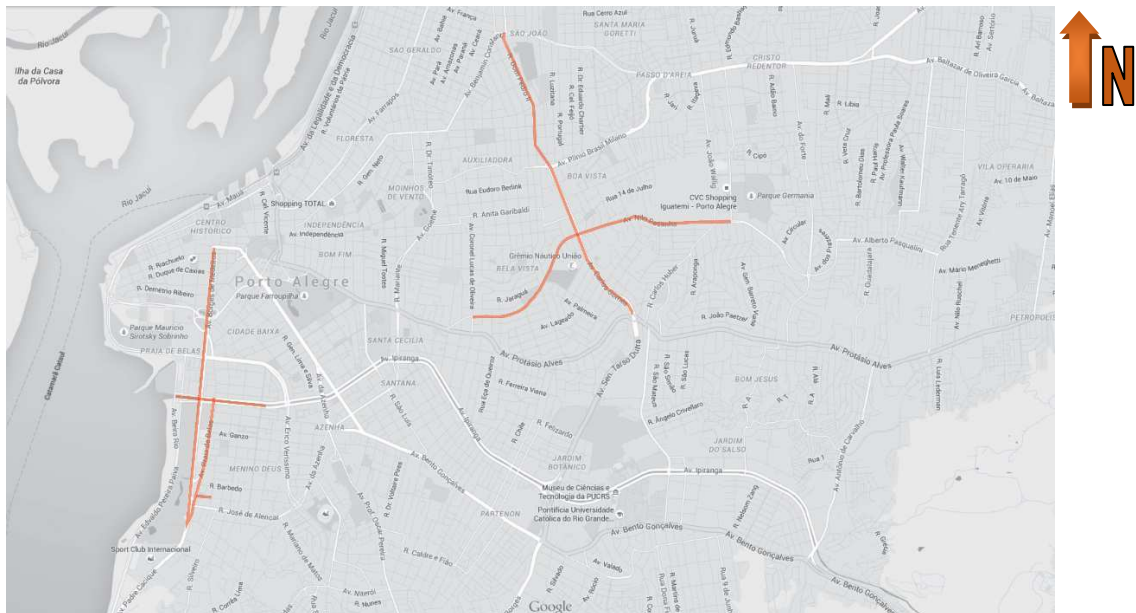


Figura 3.1: Mapa com as localidades abrangidas pelo levantamento fotográfico

As características registradas no levantamento fotográfico foram classificadas em função de alguns aspectos arquitetônicos que influenciam diretamente na eficiência energética

da edificação, como: número de pavimentos, percentual de área de janela na fachada, cor do vidro, existência de ar condicionado- tipo janela ou não- e existência de elementos verticais ou horizontais de sombreamento.

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DE PORTO ALEGRE

Porto Alegre está localizada na região sul do Brasil, posicionada a  $-30^{\circ},01'$  latitude e  $-51^{\circ},13'$  longitude, a aproximadamente 100 km da costa do Oceano Atlântico e situada à beira do lago Guaíba. Conforme o último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), realizado em 2014, a população é estimada em torno de 1,47 milhões de habitantes (IBGE, 2014). O município possui características climatológicas da Zona Bioclimática Brasileira 3 (ZBBR 3), a qual segundo a NBR 15220 (ABNT,2003), possui parâmetros de clima Subtropical (Figura 3.2), ou seja, no verão apresenta temperaturas elevadas e no inverno frio intenso.

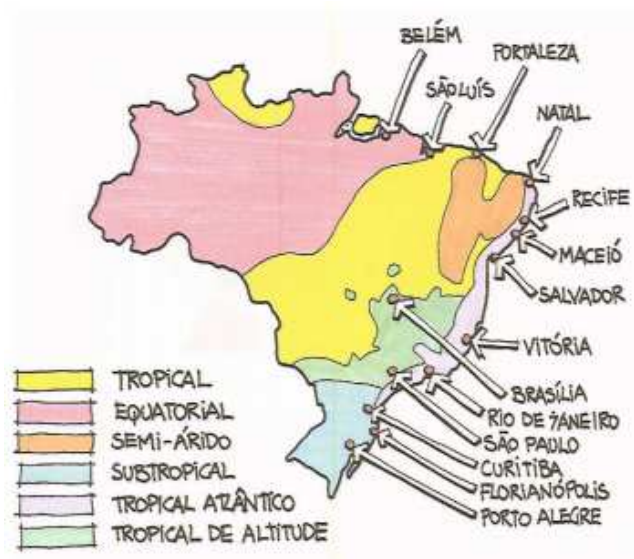


Figura 3.2: Regiões Climáticas do Brasil

Fonte: Lamberts et al (1997)

A cidade assenta-se em um relevo pouco pronunciado e com baixa altitude, de aproximadamente três metros. Ainda, está localizada em uma depressão topográfica e pode apresentar oscilação diária de  $20^{\circ}$  C de temperatura. Segundo Morello (2005), os ventos predominantes na região são os de quadrante leste-sudeste, na maior parte do ano e, ocasionalmente, pode variar para o quadrante oeste-leste.

Como complementação deste levantamento são apresentados alguns dados climatológicos do município, coletados no arquivo climático, que se baseia no método TRY (LabEEE, 2016), o qual possui uma série de dados climáticos e representa uma situação referencial do clima em questão, sem extremos de temperatura de um ano. Estes dados, mostrados na Tabela 3.1, foram obtidos no Relatório de Processamento de Arquivos Climáticos para Simulação do Desempenho Energético de Edificações. O Relatório foi realizado através de um convênio firmado entre o LabEEE e a Eletrobás, no ano de 2005 (CARLO E LAMBERTS,2005).

Tabela 3.1: Planilha de análise dos dados climáticos, com o resumo do TRY

Média dos dados horários							
	TBS	TBU	pressão	nebulosidade	irradiação global	irradiação direta	velocidade do ar
	(°C)	(°C)	(kPa)		(Wh/m <sup>2</sup> )	(Wh/m <sup>2</sup> )	(m/s)
<b>Máxima</b>	36,5	27,5	103,2	10	1106	1011	13
<b>Média</b>	19,2	16,9	101,3	5,1	197,9	147,2	3,0
<b>Mínima</b>	1,3	1,3	99,5	0	0	0	0

Onde: TBS é a temperatura de bulbo seco e TBU é a temperatura de bulbo úmido.

Fonte: Carlo e Lamberts (2005)

De acordo com a NBR 15220, que trata sobre o Desempenho Térmico de Edificações e na Parte 3 caracteriza o ZBBR para Edificações Unifamiliares de Interesse Social, o território brasileiro foi dividido em oito zonas diferentes, sendo Porto Alegre caracterizada como ZBBR 3, conforme Figura 3.3.

Apesar de comprovada a melhora no desempenho energético das edificações, com a aplicação das soluções propostas pela NBR 15220:3, o emprego dos preceitos da mesma em edificações englobadas pelo RTQ-C, pode gerar análises equivocadas sobre a adequação climática destas edificações, visto que a norma foi criada para tratar de Habitações Unifamiliares de Interesse Social

Em contraponto à divisão proposta pela NBR 15220, Roriz (2012), propôs uma revisão no ZBBR através de um estudo realizado para a Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. O território do país foi dividido em 20 zonas bioclimáticas diferentes e a cidade de Porto Alegre pertenceria a ZBBR 13, alterando os parâmetros construtivos estabelecidos anteriormente pela NBR 15220, a fim de melhorar na eficiência energética das edificações comerciais. Como o RQT-C adota o zoneamento da NBR 15220 e

o autor não chegou a publicar os parâmetros que deveriam ser adotados para o clima de Porto Alegre, este estudo utilizará os parâmetros da norma técnica.

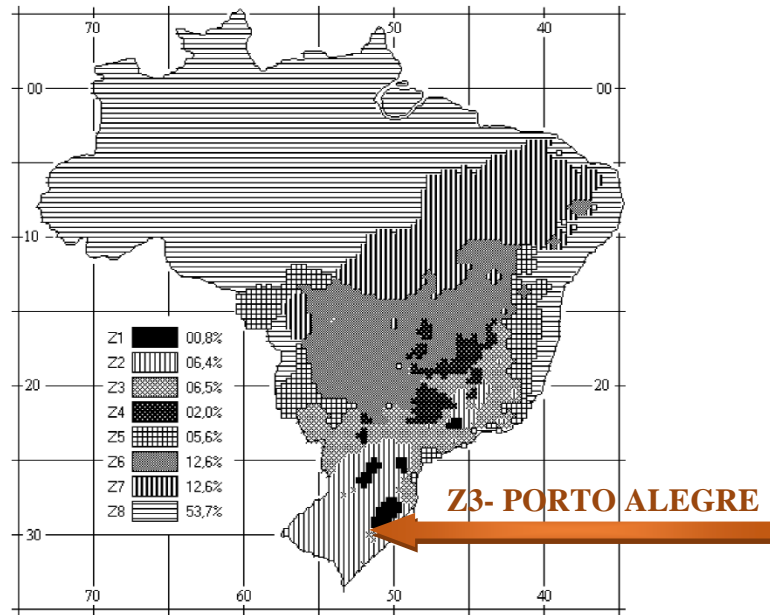


Figura 3.3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro

Fonte: NBR 15220-3 (2005)

### 3.3 ORIENTAÇÃO SOLAR DAS EDIFICAÇÕES

Para a definição do  $PAF_T$ , de acordo com a orientação solar das edificações, as posições dos edifícios são determinadas através dos quadrantes apresentados na Figura 3.4, onde para cada ponto cardinal é definido um limite de abrangência de  $45^\circ$ , no sentido horário e anti-horário.

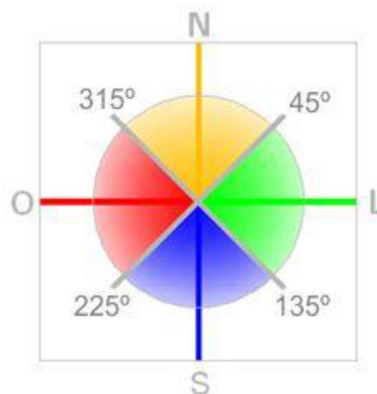


Figura 3.4: Quadrantes para a definição da orientação solar das fachadas

Fonte: RTQ-C (2014)



### 3.4 SIMULAÇÕES TERMOENERGÉTICAS

O desenho da edificação em três dimensões foi realizado no programa *Google SketchUP*, com o apoio do *plug-in Open Studio*, para exportar o modelo em uma extensão conhecida como “.idf”. Já, para a análise do desempenho térmico do modelo foi utilizado o programa de simulação computacional *EnergyPlus*, versão 8.4. Este programa calcula a carga térmica necessária para manter a temperatura dos ambientes no *setpoint* desejado. Este cálculo é feito através do comportamento energético e térmico da edificação, do clima em que está inserida, das características arquitetônicas e do modo de utilização dos usuários.

#### 3.4.1 Definição do modelo computacional

Para a simulação computacional ser efetuada no *EnergyPlus*, é necessário modelar o edifício a ser estudado separado por zonas térmicas, as quais nesse trabalho foram utilizadas para dividir as salas comerciais situadas à leste, da área de circulação de uso comum do condomínio e das salas comerciais posicionadas à oeste.

A Figura 3.5 representa o pavimento tipo do modelo que possui três zonas térmicas distintas, sendo duas delas destinadas para as salas comerciais (A e B) e a central (C) designada para a circulação. A orientação solar das fachadas menores será leste-oeste, enquanto que das maiores será norte-sul.

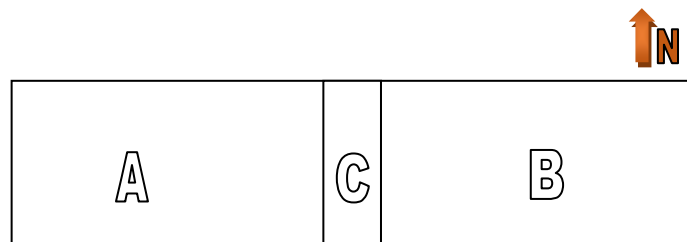


Figura 3.5: Zoneamento simplificado do pavimento tipo

A tipologia arquitetônica utilizada na pesquisa foi baseada no levantamento fotográfico e comparada ao estudo realizado por Carlo e Lamberts (2008) para estabelecer os critérios que realmente representassem a maior parte das edificações do levantamento. O modelo de referência do edifício comercial em estudo, representado em três dimensões pela Figura 3.6, possui 1 pavimento térreo, 8 pavimentos tipo e uma cobertura, totalizando 10 pavimentos. A edificação possui 27x 7,5 m, pé-direito de 2,60 m, resultando em uma área

total de 2025 m<sup>2</sup>, a qual é condicionada artificialmente; com exceção do espaço destinado para circulação de uso comum, escadas e elevadores.

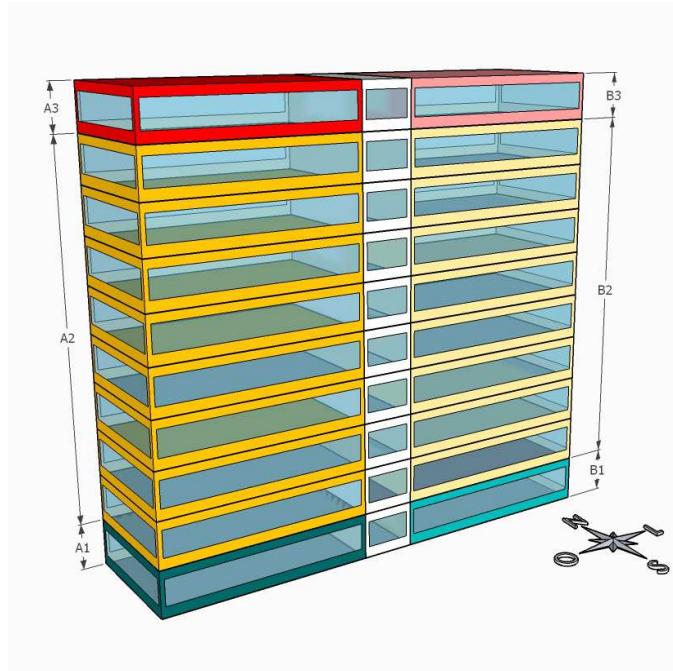


Figura 3.6: Perspectiva do modelo de simulação

Conforme a Figura 3.6, as zonas térmicas foram divididas em salas comerciais e áreas de circulação. Entretanto, as salas comerciais que são condicionadas, foram nomeadas da seguinte maneira:

- Sala A1 está localizada no pavimento térreo e possui janelas voltadas para as orientações solares sul, oeste e norte;
- Salas A2 estão localizadas no pavimento tipo, o qual se repete oito vezes e possui janelas voltadas para as orientações solares sul, oeste e norte;
- Sala A3 está localizada no pavimento de cobertura e possui janelas voltadas para as orientações solares sul, oeste e norte;
- Sala B1 está localizada no pavimento térreo e possui janelas voltadas para as orientações solares sul, leste e norte;
- Salas B2 estão localizadas no pavimento tipo, o qual se repete oito vezes e possui janelas voltadas para as orientações solares sul, leste e norte; e
- Sala B3 está localizada no pavimento de cobertura e possui janelas voltadas para as orientações solares sul, leste e norte.

No programa *Google SketchUP* com o apoio do *plug-in Open Studio*, para efeitos de simulação o pavimento térreo foi considerado em contato com o solo, o pavimento tipo possui lajes de piso e de teto consideradas adiabáticas e o último pavimento possui a cobertura totalmente exposta à radiação solar e à convecção. O  $PAF_T$  adotado seguiu a premissa do estudo de Carlo (2008), deixando o mesmo percentual de janelas para todas as fachadas, porém, o  $PAF_T$  utilizado nesse trabalho seguiu a média ponderada obtida no levantamento fotográfico realizado pela autora que foi de 55%.

### 3.4.2 Parâmetros analisados

Alguns parâmetros foram selecionados para serem modificados, a fim de verificar a diferença entre os resultados de consumo de energia elétrica da tipologia construtiva escolhida, assim como:

- a) inserção de brises nas janelas das fachadas leste, oeste e norte;
- b) redução do fator solar dos vidros;
- c) variação do material construtivo do envelope;
- d) alteração do material de cobertura;
- e) redução do  $PAF_T$ ; e
- f) sistemas de condicionamento de ar.

Os resultados permitiram decidir quais as configurações são mais eficientes para serem empregadas no modelo. Para tornar mais fácil a comparação entre os resultados obtidos durante as simulações, os parâmetros foram alterados de modo individual em cada simulação. Desta forma, as análises comparativas serão demonstradas através de tabelas e gráficos, durante o ano típico do arquivo TRY.

#### 3.4.2.1 Materiais Construtivos

Em uma pesquisa feita por Ghisi *et al.* (2006), foi realizado um levantamento detalhado sobre trinta e cinco edifícios comerciais na cidade de Florianópolis, onde constatou-se que a maioria destes prédios possuem suas fachadas compostas por tijolos cerâmicos de seis furos, assentados no sentido horizontal e que totalizam uma parede de 20 cm de

espessura, contabilizando o reboco interno e externo. Já, o material de cobertura mais encontrado no estudo foi o de telhas de fibrocimento.

Portanto, o modelo inicial foi definido de acordo com as características atribuídas pelo estudo de Ghisi *et al* (2006), as quais estão descritas na Tabela 3.2. Os dados térmicos foram extraídos da NBR 15.220-2003, a qual atribui valores de Massa Específica ( $\rho$ ) e Capacidade Térmica ( $C_T$ ) para diversos materiais construtivos.

Tabela 3.2: Características dos materiais utilizados na simulação do modelo de referência

Material	Condutividade térmica [W/m.K]	Massa específica [kg/m <sup>3</sup> ]	Calor específico [J/kg.K]	Absortância <sup>(1)</sup>
Tijolo cerâmico de seis furos, com argamassa de assentamento	0,90	1600	920	0,30
Argamassa reboco	1,15	2000	1000	0,20
Gesso	0,90	1450	920	0,20
Telha de fibrocimento	0,95	1800	840	0,50
Porcelanato	0,90	1450	920	0,50
Concreto	0,53	1280	840	0,70

<sup>(1)</sup> De acordo com Çengel e Ghajar (2012), a absorvidade é “a fração de energia de radiação incidente sobre a superfície que a absorve”. Porém, a NBR 15.220 (2003) define como absorvância o “quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície”. Para esse trabalho, a denominação utilizada será a de absorvância, definida pela NBR 15.220 (2003) e utilizada pelo RTQ-C (2014).

Fonte: NBR 15.220, ABNT (2003)

### 3.4.3 Variação de materiais construtivos do modelo

Com a finalidade de alterar alguns parâmetros construtivos que serão utilizados nas simulações, para verificar a influência destes, no consumo de energia elétrica dos sistemas de condicionamento de ar para refrigeração da edificação, a Tabela 3.3 apresenta a descrição dos dados que serão inseridos no *EnergyPlus*.

Tabela 3.3: Dados dos parâmetros adotados nas simulações

Parâmetros	Valores/Descrição
Brises horizontais na fachada norte	0,50 m de largura x 0,15 m de altura, instalado na parte superior das janelas e em toda a extensão da mesma
Brises verticais na fachadas leste e oeste	1,50 m de altura x 0,02 m de espessura, a cada 0,10 m em toda a extensão das janelas
Vidros	fumê; verde e refletivo
Material do envelope	<i>Light Steel Framing</i> (parede composta por placas cimentícias do lado externo, isolamento de lâ-de-vidro e fechamento interno de placas de gesso acartonado)
Material da cobertura	Telha metálica tipo sanduíche (composta por duas camadas de lâminas de alumínio e isolamento térmico interno de poliuretano)

Os valores da condutividade térmica ( $\lambda$ ), massa específica ( $\rho$ ) e de calor específico ( $c$ ) dos elementos construtivos opacos, são extraídos da NBR 15.220 (2003), com exceção dos brises que terão valor de condutividade térmica  $\lambda=0,10$  [W/(m K)] e não necessitam dos demais coeficientes para a simulação. A Tabela 3.4 apresenta os valores de  $\lambda$ ,  $\rho$  e  $c$  dos materiais adotados para as simulações.

Tabela 3.4: Valores de condutividade térmica, massa específica e calor específico adotados

	<b>Material</b>	<b><math>\lambda</math> [W/(m K)]</b>	<b><math>\rho</math> [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b><math>c</math> [J/(kg K)]</b>
	Tijolo maciço	1,05	2000	920
<b>LSF</b>	Gesso acartonado	0,35	1000	840
	Placa cimentícia	0,65	1800	840
<b>Telha metálica tipo sanduíche</b>	Lâmina alumínio polido	230	2700	880
	Espuma rígida de poliuretano	0,030	40	1670

Fonte: NBR 15.220 (2003)

Os vidros possuem propriedades muito distintas quando alterado o fornecedor, portanto, os modelos foram escolhidos de acordo com os parâmetros fornecidos pelo *EnergyPlus*. As propriedades dos vidros especificados, na Tabela 3.5, são laminados de baixa emissividade (com exceção do vidro incolor 3 mm, utilizado no modelo de referência), com duas camadas de 3 mm, uma película de controle solar intermediária, totalizando 8 mm de espessura, ocorrendo variações nas cores selecionadas.

Tabela 3.5: Características dos vidros selecionados para a simulação

<b>Dados Técnicos</b>	<b>Cor</b>			
	<b>Verde</b>	<b>Fumê</b>	<b>Refletivo</b>	<b>Incolor</b>
Transmissão Luminosa	0,487	0,455	0,06	0,837
Reflexão Externa	0,056	0,053	0,13	0,075
Reflexão Interna	0,056	0,053	0,42	0,075
Transmissão Energética	0,749	0,431	0,09	0,898
Reflexão Energética Externa	0,07	0,052	0,14	0,081
Reflexão Energética Interna	0,07	0,052	0,35	0,081
Emissividade face 1	0,84	0,84	0,84	0,84
Emissividade face 2	0,84	0,84	0,47	0,84
Condutividade [W/(m.K)]	0,9	0,9	0,9	0,9
Espessura (m)	0,006	0,006	0,006	0,003

Fonte: EnergyPlus (2016)

### 3.4.4 Padrões de Uso e Ocupação

Como em um edifício comercial existem diversas pessoas trabalhando simultaneamente, este número se torna relevante no consumo de energia do ar condicionado, devido à energia liberada pelas pessoas ao ambiente, iluminação e equipamentos. Segundo a ISO 7730 (2005), uma pessoa realizando atividade sedentária, a exemplo de um escritório comercial, libera uma energia de 70 W/m<sup>2</sup>. Na NBR 16.401:3 (ABNT, 2008), para dimensionar a ocupação, o valor adotado é de 7,14 m<sup>2</sup>/pessoa, para escritórios de média densidade e este será o valor adotado no trabalho.

O *schedule* de ocupação geralmente adotado em trabalhos de pesquisa, que realizam simulações computacionais energéticas, é o de 8 h de trabalho, com intervalo de 1 h e 30 min para o almoço. Entretanto, há um percentual de funcionários que eventualmente podem fazer horas extras e isso influenciará no consumo energético. Buscando estabelecer uma porcentagem intermediária, que compreenda dias, em que alguns funcionários fazem horas extras, o horário adotado para o *schedule* de ocupação nesse trabalho é demonstrado na Figura 3.7, o qual passou a ter 100% de uso às 9 h e quase 60% às 19 h, ao final do expediente.

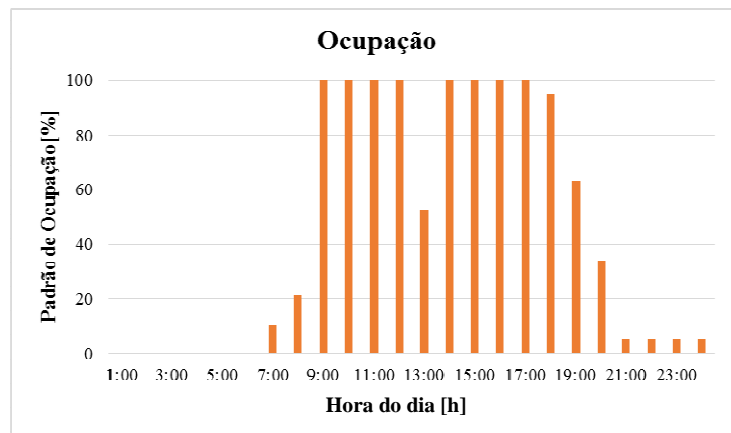


Figura 3.7: *Schedule* de ocupação

Já o *schedule* de equipamentos foi dimensionado para as mesmas 8 h de trabalho, mas conforme a Figura 3.8, a simulação considerou, também, que uma parte destes equipamentos ficam ligados 24 h por dia, como: modem, refrigeradores, filtros de água e servidor. Para efeitos de simulação, o valor utilizado para a densidade de carga interna instalada de equipamentos, foi o de 10 W/m<sup>2</sup>. Além dos equipamentos dos escritórios, foram adicionados à carga do edifício, dois elevadores de uso comum, os quais possuem uma potência de 486 W cada quando em uso e 71 W em *standby*. Tais valores são referentes ao modelo 3300 AP, com

classificação nível A pela norma VDI 4707 (SCHINDLER,2016). O enquadramento do modelo do elevador na norma VDI 4707 é pré-requisito do RTQ-C (2014).

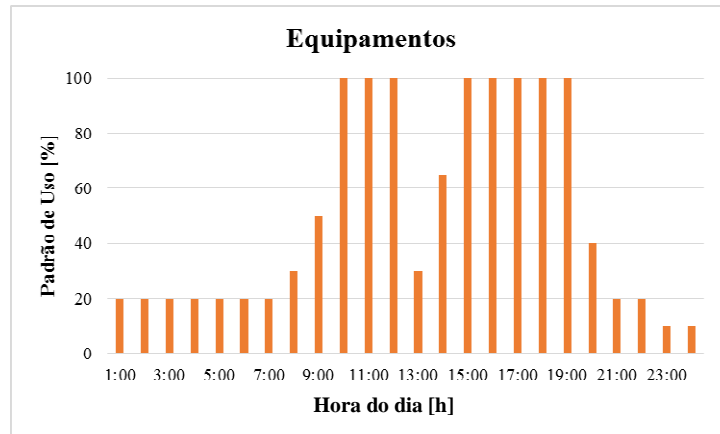


Figura 3.8: *Schedule* de equipamentos

Para a densidade de carga instalada de iluminação, adotou-se o valor de  $DPI_L$  arbitrado pelo RTQ-C para obtenção do nível de eficiência A em escritórios, o qual é estipulado em  $9,7 \text{ W/m}^2$ . Para o padrão de uso de ocupação do edifício, adotaram-se os horários comerciais de manhã das 8 h às 12 h e à tarde das 13:30 h às 19:30 h.

Entretanto, conforme a Figura 3.9, após o horário comercial foi estipulado um valor razoável de utilização da iluminação para os funcionários que estão fazendo horas extras.

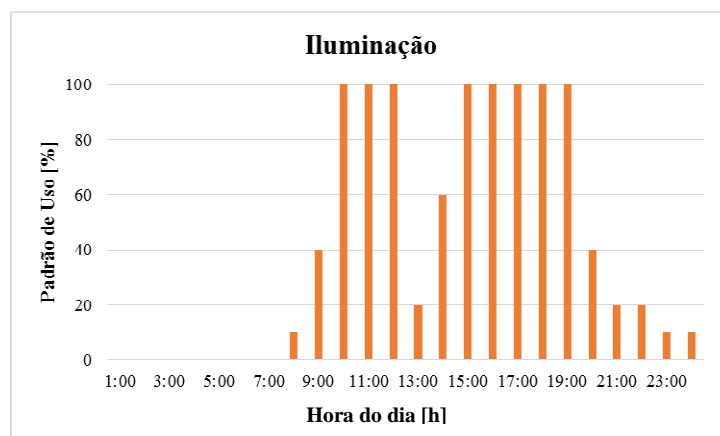


Figura 3.9: *Schedule* de Iluminação

### 3.4.5 Sistemas de Condicionamento de Ar

Nesta pesquisa foram analisados dois sistemas distintos de condicionamento de ar artificial, o SPLIT e o VRF. Tais sistemas foram escolhidos com os seguintes critérios: o primeiro, por ser um modelo encontrado com grande frequência em edificações verticais comerciais e o segundo, por ter sido arbitrado como o mais usual na pesquisa de Carlo (2008) a qual gerou dados para a elaboração do RTQ-C e por estar em expansão no mercado brasileiro.

Para a criação do modelo de referência do SPLIT, o valor adotado do COP será o de 3,35, de acordo com a Figura 3.10, visando alcançar a classe “A” da certificação e manter o mesmo valor do COP estipulado no VRF, a fim de ter uma simulação onde os aparelhos possuem o mesmo coeficiente de performance. O manual do RTQ-C exige que o valor do COP utilizado atinja o nível de eficiência mínimo da classe desejada para a obtenção do selo. Além disso, outra solicitação expressa no manual é que a potência de ventilação do sistema deve ser modelada individualmente, onde os ventiladores possuam pressão estática total de 250 Pa e eficiência total de 65%.

Classes	Coeficiente de eficiência energética (CEE)	
	Mínimo	Máximo
<b>A</b>	3,20	
<b>B</b>	3,00	3,20
<b>C</b>	2,80	3,00
<b>D</b>	2,60	2,80
<b>E</b>	2,39	2,60

Figura 3.10: Limites de eficiência, definidos pelo INMETRO, de condicionadores de ar do tipo split, para cada classe de eficiência.

Fonte: PROCEL (2014)

Para a obtenção de dados mais precisos é necessária, para o programa de simulação, a inserção das curvas de desempenho dos aparelhos a serem simulados. Neste trabalho, tanto as curvas de desempenho do SPLIT como do VRF foram obtidas a partir dos dados do fabricante dos aparelhos de ar condicionado. A seguir gerou-se uma tabela de desempenho entre diferentes condições de operação, com o objetivo de gerar os coeficientes de ajuste necessários para o *EnergyPlus*. Ainda, considerou-se que os coeficientes de ajuste são os



mesmos para qualquer capacidade de refrigeração. Para a inserção dos dados dos aparelhos de ar condicionado foram geradas as curvas dos aparelhos, a partir de resultados fornecidos pelos fabricantes. As curvas requeridas pelo *EnergyPlus* são necessárias para corrigir a capacidade e o consumo em função das temperaturas de bulbo úmido internas e de bulbo seco do ar externo, bem como corrigir o consumo em função do *Part Load Ratio* (PLR) que leva em conta a variação da rotação do compressor nas cargas parciais.

O modelo escolhido para simular o SPLIT dentro do *EnergyPlus* foi o *Packaged Terminal Air Conditioner* (PTAC), o qual é equipado com ventilador de volume de ar constante e resfriamento através de expansão direta representando bem o equipamento escolhido. Para a correta simulação do aparelho, é necessária a inserção de dados das curvas quadrática e biquadrática, conforme as Tabelas 3.6 e 3.7.

Tabela 3.6: Curva quadrática PTAC

	<i>Cooling Coil CAP-FF</i>	<i>Cooling Coil EIR-FF</i>	<i>Cooling Coil PLF</i>
<b>Coefficiente1 constante</b>	1	1	0,85
<b>Coefficiente2 x</b>	0	0	0,15
<b>Coefficiente3 x<sup>xx2</sup></b>	0	0	0
<b>Mínimo valor de x</b>	0,5	0,5	0
<b>Máximo valor de x</b>	1,5	1,5	1

Tabela 3.7: Curva biquadrática PTAC

	<i>Cooling Coil CAP-FT</i>	<i>Cooling Coil EIR-FT</i>
<b>Coefficiente1 constante</b>	2,25452787	-0,658159052
<b>Coefficiente2 x</b>	-0,10103296	0,117729325
<b>Coefficiente3 x<sup>xx2</sup></b>	0,00482478	-0,003030569
<b>Coefficiente4 y</b>	-0,01148338	0,006482818
<b>Coefficiente5 y<sup>xx2</sup></b>	0,000066729	0,000812854
<b>Coefficiente6 x<sup>x</sup>y</b>	-0,00111539	-0,001062934
<b>Mínimo valor de x</b>	17	17
<b>Máximo valor de x</b>	22	22
<b>Mínimo valor de y</b>	25	25
<b>Máximo valor de y</b>	40	40

Para os aparelhos do tipo VRF, após a etapa de dimensionamento estar concluída, o modelo foi escolhido de acordo com a Tabela 3.8 apresentada no RTQ-C, a qual classifica a

eficiência mínima dos condicionadores de ar que possuem eficiência A e B. Portanto o COP adotado será de 3,35, a fim de manter a classificação no nível “A” do RTQ-C.

Tabela 3.8: Eficiência Mínima de Condicionadores de Ar para Classificação nos Níveis A e B

Tipo de equipamento	Capacidade	Tipo de aquecimento	Eficiência mínima	Procedimento de teste
Condicionadores de ar resfriados a ar	≥19 kW e < 40 kW	Resistência elétrica	3,28 COP 3,34 ICOP	AHRI 340/360
		Outros	3,22 COP 3,28 ICOP	
	≥40 kW e < 70 kW	Resistência elétrica	3,22 COP 3,28 ICOP	
		Outros	3,16 COP 3,22 ICOP	
	≥70 kW e < 223 kW	Resistência elétrica	2,93 COP 2,96 ICOP	
		Outros	2,87 COP 2,90 ICOP	
	≥223 kW	Resistência elétrica	2,84 COP 2,87 ICOP	
		Outros	2,78 COP 2,81 ICOP	

Fonte: PROCEL, 2014

No caso do VRF, foi utilizado o aparelho que é denominado de *DX:Variable Refrigerant Flow* no *EnergyPlus* e, que é equipado com serpentinas de expansão direta e compressores de velocidade variável. Parecido com o PTAC, esse sistema necessita dos valores de algumas curvas, porém nesse caso, o mesmo possui as curvas linear, quadrática, cúbica e biquadrática, conforme os valores da Tabelas 3.9, 3.10, 3.11 e 3.12.

Tabela 3.9: Curva Linear VRF

	<i>CoolingCombRatio</i>	<i>HeatingCombRatio</i>
<b>Coefficiente1 constante</b>	1	0
<b>Coefficiente2 x</b>	0	0
<b>Mínimo valor de x</b>	1,0	1,0
<b>Máximo valor de x</b>	1,5	1,5
<b>Saída de curva mínima</b>	1,0	1,0
<b>Saída de curva máxima</b>	1,2	1,2

Tabela 3.10: Curva Quadrática VRF

	<b>VRFCPLFFPLR</b>	<i>HeatingEIRHiPLR</i>	<b>VRFACCoolCapFFF</b>
<b>Coefficiente1 constante</b>	1	0	1
<b>Coefficiente2 x</b>	0	0	0
<b>Coefficiente3 x<sup>xx2</sup></b>	0	0	0
<b>Mínimo valor de x</b>	0	1	0,5
<b>Máximo valor de x</b>	1	1,5	1,5
<b>Saída de curva mínima</b>	0,85	-	-
<b>Saída de curva máxima</b>	1	-	-

Tabela 3.11: Curva Cúbica VRF

	<b>VRFCoolCapFTBoundary</b>	<b>VRFCoolEIRFTBoundary</b>	<b>CoolingEIRLowPLR</b>	<b>VRFHeatCapFTBoundary</b>	<b>VRFHeatEIRFTBoundary</b>	<b>HeatingEIRLowPLR</b>	<b>CoolingEIRHi PLR</b>	<b>VRFTUHeatCapFT</b>
<b>Coefficiente1 constante</b>	1	1	2,5329406	1	1	1	-0,889797	1
<b>Coefficiente2 x</b>	0	0	-7,595183	0	0	0	3,1226107	0
<b>Coefficiente3 x<sup>xx2</sup></b>	0	0	8,6965637	0	0	0	-1,671643	0
<b>Coefficiente4 x<sup>xx3</sup></b>	0	0	-2,633519	0	0	0	0,4388293	0
<b>Mínimo valor de x</b>	11	15	0,62	15	15	0	1	0
<b>Máximo valor de x</b>	30	24	1	27	27	1	1,3	50
<b>Saída de curva mínima</b>	-	-	-	-	-20	-	-	0,5
<b>Saída de curva máxima</b>	-	-	-	-	15	-	-	1,5

Tabela 3.12: Curva Biquadrática VRF

	VRF CoolEIRFT	VRF HeatCapFT	VRF HeatCapFTHi	VRF HeatEIRFT	VRF HeatEIRFTHi	CoolingLengthCorrectionFactor	VRF TUCoolCapFT
<b>Coefficiente1 constante</b>	-0,658159052	1	1	1	1	1	2,25452787
<b>Coefficiente2 x</b>	0,117729325	0	0	0	0	0	-0,10103296
<b>Coefficiente3 x<sup>xx2</sup></b>	-0,003030569	0	0	0	0	0	0,00482478
<b>Coefficiente4 y</b>	0,006482818	0	0	0	0	0	-0,01148338
<b>Coefficiente5 y<sup>xx2</sup></b>	0,000812854	0	0	0	0	0	0,000066729
<b>Coefficiente6 x<sup>y</sup></b>	-0,001062934	0	0	0	0	0	-0,00111539
<b>Mínimo valor de x</b>	17	15	15	15	15	2	17
<b>Máximo valor de x</b>	22	27	27	27	27	30	22
<b>Mínimo valor de y</b>	25	-20	-10	-20	-10	0,5	25
<b>Máximo valor de y</b>	40	15	15	12	15	1,5	40

### 3.4.6 Infiltração

Como todas as janelas e portas foram consideradas fechadas, durante o período de utilização do prédio, sem renovação de ar através de ventilação natural, o valor da taxa de infiltração considerado foi o de 1,8 REN/h, visando atender a Resolução da Anvisa Nº 09/2003 (BRASIL, 2003). Esses valores de infiltração podem ser usados para diminuir a necessidade de ventilação externa artificial ou verificar se atende a necessidade de renovação.

Na literatura, encontram-se valores bem inferiores aos da Resolução brasileira, como mostra a Tabela 3.13 (CIBSE, 2006), que especifica para o mesmo tipo de edificação o valor de 0,8 REN/h de taxa de infiltração por frestas.

Tabela 3.13: Definição da taxa de infiltração

Permeabilidade do ar (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h a 50 Pa)	Taxa de infiltração (ACH) para determinado intervalo de andares/h <sup>-1</sup>	
	< 12 andares*	
	Pico	Mínimo
<b>20.0 (má vedação)</b>	0,80	0,50
<b>Taxa de troca de ar a 50 Pa (/h<sup>-1</sup>)</b>	-	1,75

\* (Comprimento X largura X height) = 40 m x 25 m x 4 m para cada andar

Fonte: CIBSE, 2006

De acordo com Westphal (2003), “o termo renovação de ar é utilizado para designar a vazão de ar externo necessária para manter condições saudáveis de ocupação no ambiente, sendo definida na etapa de projeto do sistema de condicionamento de ar”. O termo infiltração trata da parcela indesejada de ar externo que entra por frestas das esquadrias e acaba por prejudicar o desempenho do ar condicionado.

Para o parâmetro de infiltração do programa do *EnergyPlus* foi elaborado um *schedule*, com funcionamento de 100%, durante o período de 24 h e com 1,8 trocas de ar por hora. Nesse valor está contemplada a renovação de ar necessária para os ocupantes da edificação e a taxa de infiltração decorrente de frestas das esquadrias.

## 4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos no levantamento fotográfico que possibilitou formar o modelo tridimensional e também, os resultados alcançados através das simulações.

### 4.1 LEVANTAMENTO FOTOGRÁFICO

Um dos elementos relevantes na volumetria e na eficiência energética da edificação, é o número de pavimentos das edificações. Nesse estudo foram analisados apenas os edifícios com mais do que quatro pavimentos. Através do levantamento fotográfico realizado, no qual foram fotografadas um total de 55 edificações, foi possível verificar que 36% delas - o que corresponde a 20 edifícios -, possuem entre 4 e 8 pavimentos e aproximadamente 33% das edificações amostradas, ou seja, 18 edifícios possuem entre 9 a 12 pavimentos. O total de pavimentos das 55 edificações é de 560, o que dá uma média de 10,2 pavimentos por prédio. Estas informações, constantes na Figura 4.1, caracterizam que este número de pavimentos consta no segundo estrato mais frequente.

Considerando que no estudo realizado por Carlo (2008) o número de pavimentos adotado foi o de 10 para prédios comerciais e esse número foi frequentemente encontrado no levantamento feito neste trabalho, a quantidade de pavimentos a ser adotada na elaboração do modelo para a simulação será de 10 pavimentos.

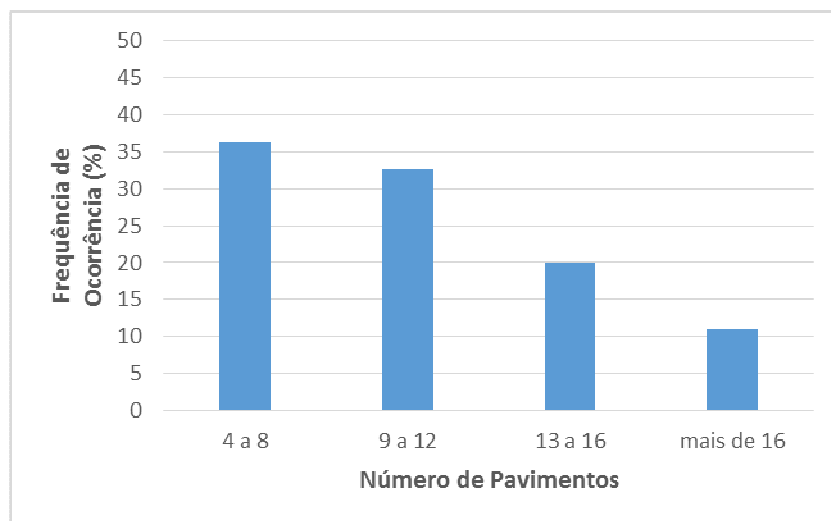


Figura 4.1: Frequência de ocorrência do número de pavimentos das edificações amostradas

Outro ponto relevante na criação do modelo é o  $PAF_T$ , que conforme o estudo foi catalogado de acordo com quatro parâmetros de percentuais em cada fachada: de 0-25%, de 25-50%, de 50-75% e de 75-100%.

Dessa forma, fica compreensível, através da Figura 4.2, que nas fachadas leste e norte o  $PAF_T$ , da maioria das edificações fica entre 75-100%, enquanto que nas fachadas oeste esse valor é reduzido para 50-75% e na fachada sul para 25-50%. É importante mencionar que em aproximadamente 7% das fachadas amostradas, não foi possível identificar o percentual de  $PAF_T$ , pois não estavam visíveis ao observador.

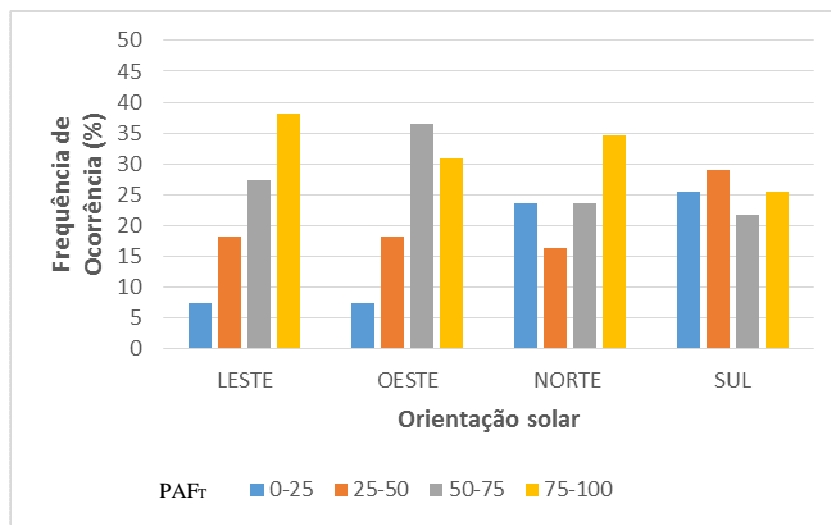


Figura 4.2: Frequência de ocorrência do percentual de área de abertura na fachada total ( $PAF_T$ ) visíveis nas edificações amostradas

Para simplificar o modelo, foi feita uma média ponderada do PJF em função da frequência de ocorrência, conforme a Eq. 4.1, a qual resultou em um número de 0,546, ou seja, aproximadamente 55%. Portanto, para todas as fachadas, independente da sua orientação solar, o PJF adotado no modelo foi o de 55%.

$$\bar{x}_p = \frac{p_1x_1 + p_2x_2 + p_3x_3 + \dots + p_nx_n}{p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n} \quad (4.1)$$

onde:  $\bar{x}_p$  é a média ponderada;  $p_n$  é a importância relativa peso e  $x_n$  é o conjunto de números.

A Figura 4.3 apresenta a predominância da cor do vidro utilizado nas edificações, elemento que, por ter alto percentual de aplicação nas envoltórias dos prédios do

levantamento, tem de ser levado em consideração. A cor recorrente mais encontrada no levantamento foi a fumê/cinza, presente em mais de 70% das edificações. Há pouca ocorrência de vidro bronze e verde e menos ainda de azul. Parte desses vidros possui efeito espelhado (película refletiva) para oferecer privacidade ao ambiente interno, refletir os raios solares e consequentemente, reduzir a entrada de calor ao ambiente interno. Assim, o padrão de vidro estudado nas simulações foi os de cores fumê/cinza, verde e com película refletiva, representando o bronze da estatística apresentada na Figura 4.3.

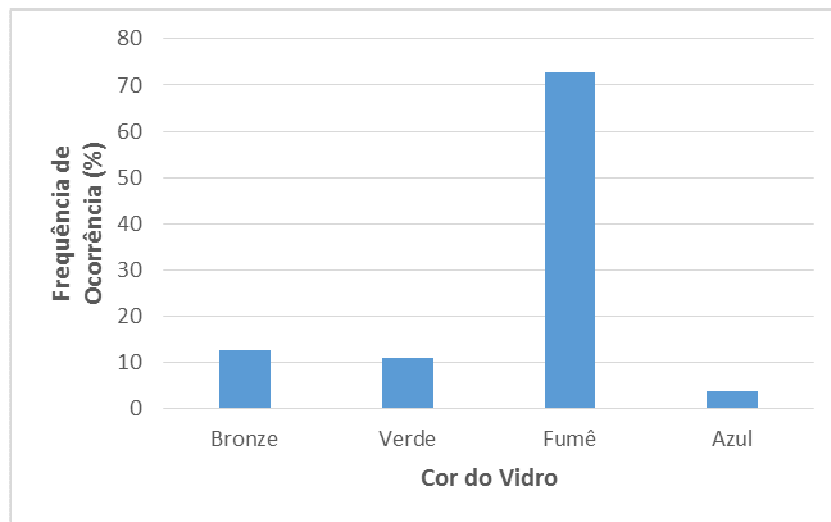


Figura 4.3: Frequência da ocorrência da cor dos vidros nas edificações amostradas

A ocorrência de elementos de Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS) e de Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS) nas fachadas dos edifícios comerciais amostrados, são baixas, como mostrado na Figura 4.4. Apenas 12% das fachadas possuem algum tipo de sombreamento, sendo que boa parte desses elementos são utilizados para esconder as unidades externas de ar condicionado, servindo como sacada ou elemento decorativo e não cumprindo a real função de evitar a entrada de radiação solar no ambiente interno. Em vista disso, o modelo de referência não apresentará elementos de AVS ou AVH.



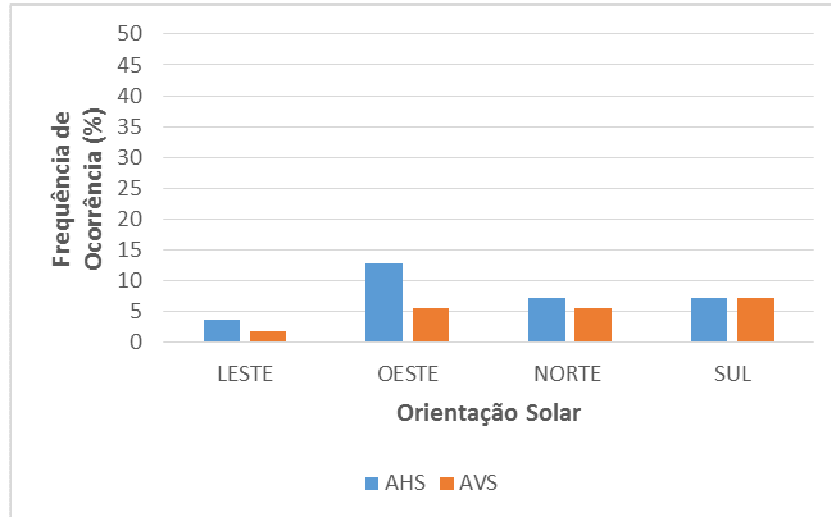


Figura 4.4: Frequência de AVS e AHS nas fachadas das edificações amostradas

## 4.2 MODELO DE REFERÊNCIA

O modelo de referência teve diversos parâmetros analisados, como: os ganhos de energia através das janelas, por ocupação, por pessoas, por iluminação e por infiltração, bem como, a potência necessária de condicionamento de ar nas zonas térmicas.

### 4.2.1 Ganhos de cargas térmicas

O valor de 7,14 m<sup>2</sup>/pessoa foi adotado para o cálculo do número de pessoas para escritórios de média densidade. A iluminação foi estipulada em 9,7 W/m<sup>2</sup> e de equipamentos em 10 W/m<sup>2</sup>. O ganho de energia em cada zona térmica, através da ocupação no prédio, foi o que mais influenciou, quando comparado aos ganhos de energia por iluminação e equipamentos (Figura 4.5). Conforme o resultado da simulação, o ganho energético desses três parâmetros somados em todas as salas comerciais é de aproximadamente 9.580 kWh por ano. Este parâmetro é fixo e não mudará nas demais variações de modelo, tornando este ganho energético sempre presente em todas as análises realizadas neste trabalho.

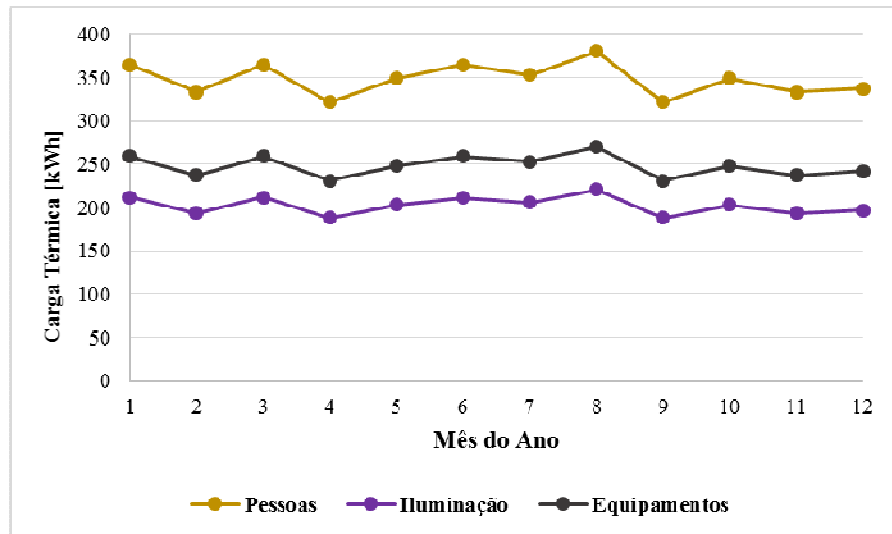


Figura 4.5: Ganho de carga térmica mensal por zona térmica

As janelas representam 55% da constituição das fachadas do prédio. Elas fazem com que as características térmicas do vidro nela especificado tenham bastante relevância no consumo energético do sistema de ar condicionado de toda a edificação. O vidro especificado no modelo de referência foi o de 3 mm transparente e, conforme a Figura 4.6, o ganho de carga térmica através das janelas, teve um padrão bem elevado.

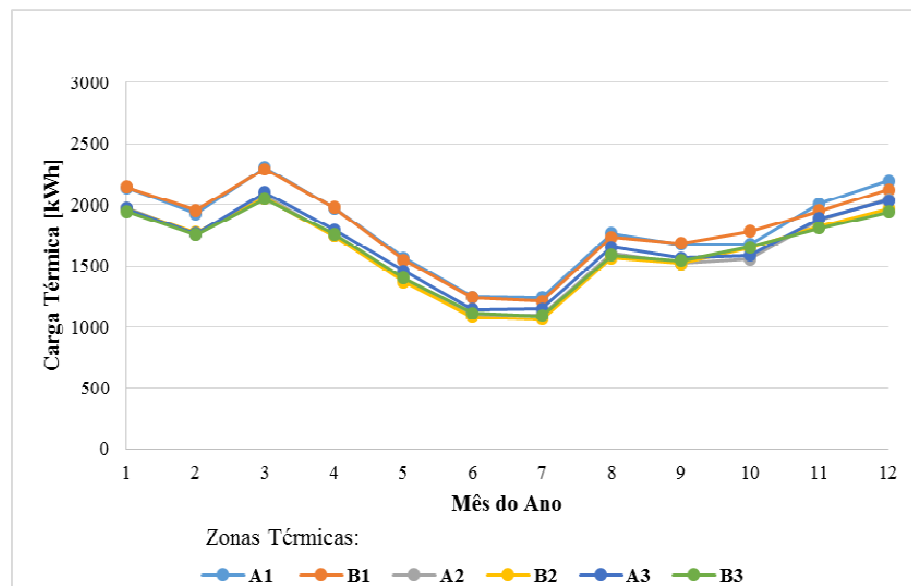


Figura 4.6: Ganho de carga térmica mensal pelas janelas por zonas térmicas

As janelas do pavimento térreo, das zonas térmicas A1 e B1, foram as que mais receberam ganhos de carga térmica, respectivamente, seguidos pelas zonas térmicas A3, B3, A2 e B2. Ainda, é possível estabelecer que a diferença dos ganhos entre as zonas térmicas por pavimento, ficou praticamente estável quando a zona térmica possui janelas voltadas para a orientação solar leste ou oeste. Isso ocorre, pois a radiação solar incidente nas orientações solares leste e oeste é exatamente igual de manhã e de tarde; o que pode causar diferenças são alguns momentos do dia em que o céu está encoberto e a temperatura é mais amena no ambiente durante a manhã, já que durante a noite grande parte do calor do espaço interno foi dissipado. Outro fator que também fez a diferença foi o aquecimento da massa do edifício durante o dia.

Outro parâmetro que influencia diretamente no ganho de carga térmica de uma edificação e conseqüente no consumo energético do aparelho de condicionamento de ar é a infiltração de ar. A mesma se faz necessária para promover a troca de ar dos ambientes fechados, sendo prevista junto ao cálculo do aparelho de ar condicionado e ocorre, também, através da má vedação dos caixilhos das esquadrias.

A Figura 4.7 mostra claramente a influência deste parâmetro no ganho energético de uma edificação. Grande parte da fachada do edifício é composta por janelas, portanto devido ao vidro ter altos valores de fator solar e de transmitância térmica, essa é a área que mais sofre interferência da radiação solar e, conseqüentemente, alto ganho térmico. A infiltração de ar externo que ocorre nessa edificação, gera picos de ganhos térmicos em alguns meses do ano, que praticamente se igualam a alguns valores de ganho de carga térmica pelas janelas.

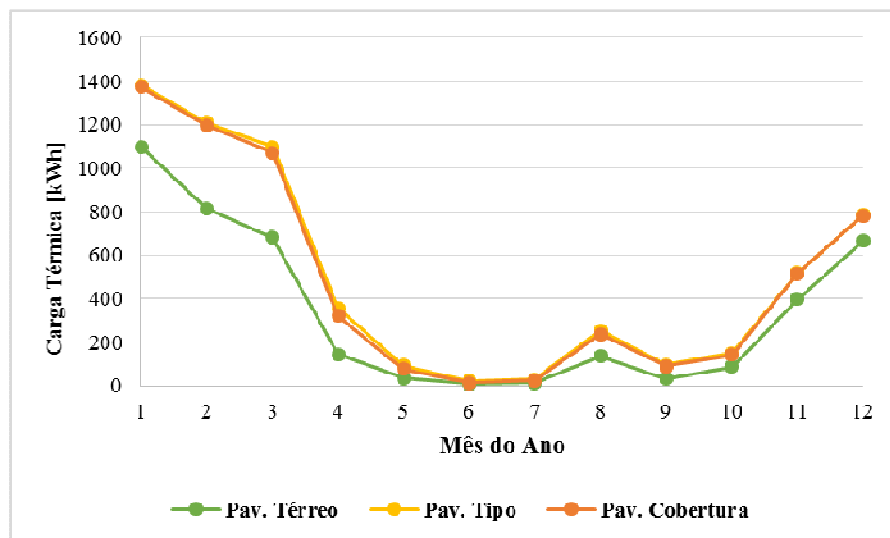


Figura 4.7: Ganho energético mensal por infiltração por pavimento

Assim sendo, a infiltração de ar externo, tão necessária para fornecer a renovação de ar para os ambientes, contribui com uma parcela significativa na carga térmica total de refrigeração da edificação.

A cobertura é outro fator que possui contribuição elevada no consumo energético através da utilização do sistema de condicionamento de ar, nas zonas térmicas do último pavimento. A fim de demonstrar a importância da escolha dos materiais de cobertura, no consumo de energia elétrica, foi criada a Figura 4.8. Nela, é possível verificar que nos meses de verão o ganho de carga térmica pelo telhado pode chegar a mais de 600 kWh por mês, enquanto que nos meses de inverno a perda de carga térmica é inversamente proporcional aos ganhos no verão.

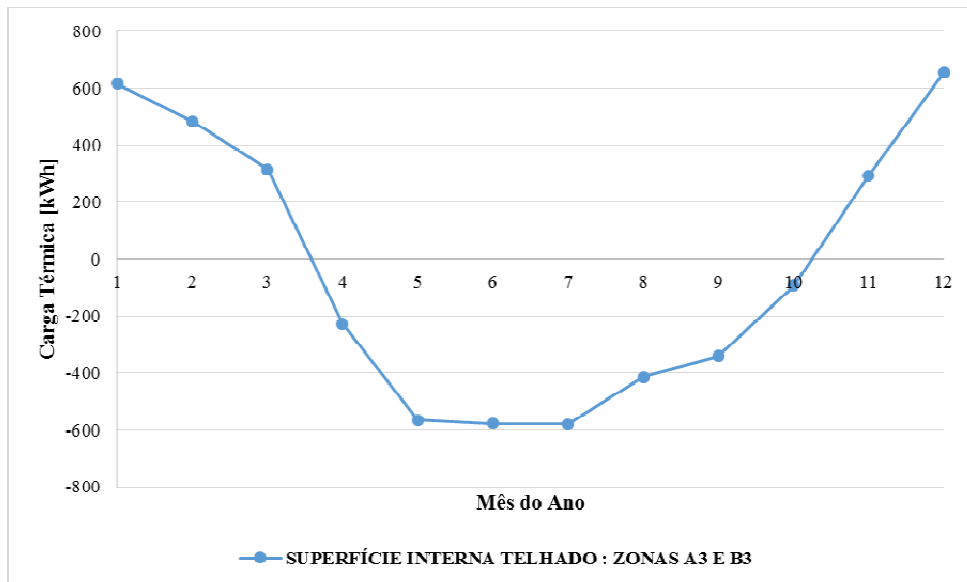


Figura 4.8: Ganhos e perdas de carga térmica pela cobertura

#### 4.2.2 Sistema de condicionamento de ar do modelo de referência

Para analisar o consumo energético do sistema de condicionamento de ar, do modelo de referência, foi adotado um COP de 3,35, ventiladores que possuem pressão estática total de 250 Pa e eficiência total de 65%. O *schedule* utilizado para a simulação foi o seguinte : em dias de semana o horário de funcionamento do sistema é a partir das 06:00 h até às 22:00 h e aos sábados a partir das 06:00 h até às 18:00 h.

Através da Figura 4.9 observa-se que a carga térmica para o aquecimento dos ambientes é um pouco maior no pavimento térreo, nos meses de inverno. Isso ocorre, pois a laje do piso deste pavimento está em contato direto com o solo, perdendo energia para o

mesmo nos meses mais frios do ano, resultando em uma temperatura interna inferior à temperatura de conforto estabelecida no *setpoint* e, em consequência disto, acionando o sistema de ar condicionado para o aquecimento do ambiente. Em contrapartida, durante os meses de verão e até mesmo em alguns dias de inverno, o contato do pavimento térreo com o solo é benéfico no que diz respeito à refrigeração do ambiente, Figura 4.10. Assim sendo, nos meses quentes o solo tem uma temperatura mais amena do que a temperatura ambiente e portanto, o ambiente interno perde energia para o solo, fazendo com que a temperatura interna esteja mais baixa e consequentemente reduza a carga térmica de resfriamento artificial do ambiente.

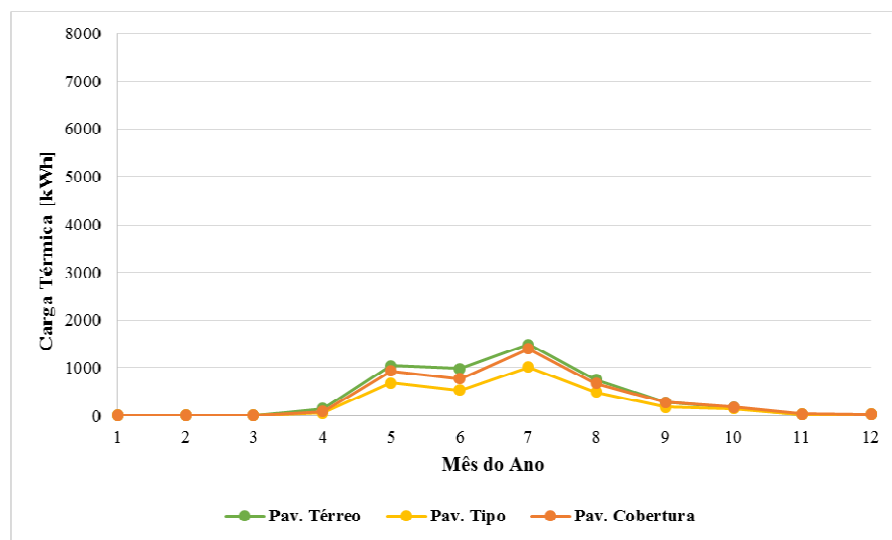


Figura 4.9: Carga térmica de aquecimento

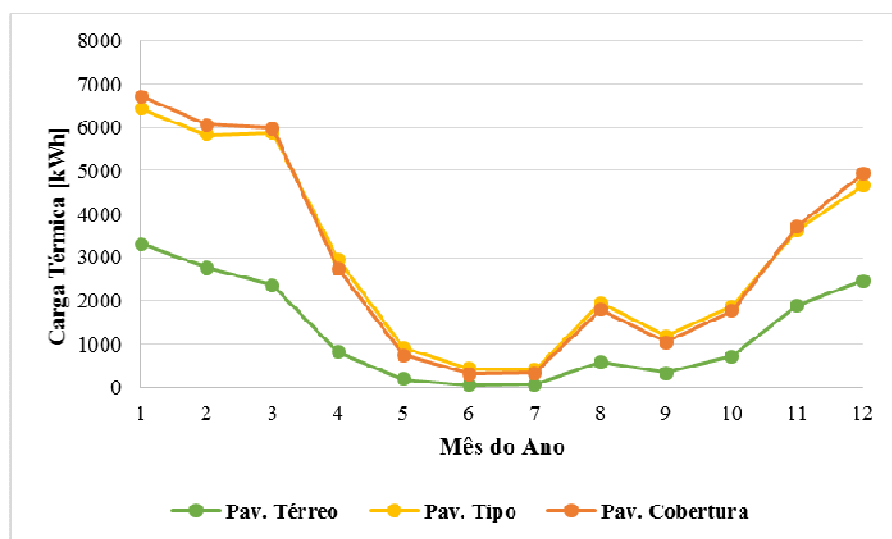


Figura 4.10: Carga térmica de resfriamento

O pavimento de cobertura também sofre bastante com a interferência do ambiente externo devido à área de cobertura estar totalmente exposta à radiação solar, transferindo grande parte dessa radiação para o ambiente interno. Isso se torna crítico, pois o material utilizado no telhado do modelo de referência foi a telha de fibrocimento, o qual apresenta absorvância elevada por ser um material de cor cinza e alta transmitância térmica, quando comparado a telhas com isolamento térmico.

Portanto, no verão a necessidade de resfriamento artificial do pavimento de cobertura é superior ao necessário nos pavimentos tipo e térreo para manter a temperatura de conforto, Figura 4.10. Entretanto, nos meses de inverno o pavimento de cobertura teve rendimento melhor do que o pavimento térreo, pois a energia recebida pela cobertura ajudou a manter a temperatura interna mais elevada e reduziu a necessidade de acionamento do sistema de condicionamento de ar para aquecimento do ambiente.

Os pavimentos tipo sofrem interferência da radiação solar somente pelas fachadas, fazendo com que no inverno não necessitem de tanta energia para aquecimento dos ambientes, como os outros pavimentos, Figura 4.9. Já no verão, a mesma necessita de mais resfriamento que o pavimento térreo, Figura 4.10, pois não perde energia para o solo porém precisa de menos resfriamento que o último pavimento, devido ao mesmo não receber energia pela cobertura.

Para corroborar com as análises das Figuras supracitadas, a Tabela 4.1 relaciona as cargas térmicas anuais do sistema de ar condicionado do modelo de referência com cada zona térmica e ainda, exibe o número de horas em que o sistema foi acionado.

Tabela 4.1: Carga térmica do sistema de condicionamento de ar e número de horas em que o mesmo foi acionado no modelo de referência

Zona Térmica	Carga térmica para aquecimento [kWh]	Número de horas em que o sistema foi acionado	Carga térmica para resfriamento [kWh]	Número de horas em que o sistema foi acionado	Carga térmica anual total [kWh]
<b>A1</b>	2476,53	1327	11109,10	2483	<b>13585,63</b>
<b>A2</b>	1596,70	873	17916,49	3051	<b>19513,19</b>
<b>A3</b>	2212,26	1029	18026,35	2920	<b>20238,61</b>
<b>B1</b>	2422,74	1306	9506,40	2517	<b>11929,14</b>
<b>B2</b>	1529,22	844	18279,74	3109	<b>19808,96</b>
<b>B3</b>	2140,29	1005	18179,09	2966	<b>20319,93</b>

Como demonstrado na Tabela 4.1, a carga térmica total do sistema, foi maior nas zonas térmicas A3 e B3, ambas localizadas no pavimento de cobertura. As zonas térmicas A1 e B1, localizadas no pavimento térreo, foram as que obtiveram menor carga térmica, seguidas pelas zonas A2 e B2, localizadas nos pavimentos tipo.

O programa *EnergyPlus* dimensiona a potência necessária do sistema de ar condicionado para atender ao modelo da edificação às demandas dos *schedules* inseridos no *software*. Portanto, para a programação realizada neste estudo, a potência necessária para manter a temperatura de conforto de cada sala comercial estabelecida no *setpoint* varia consideravelmente, conforme as Figuras 4.11 e 4.12.

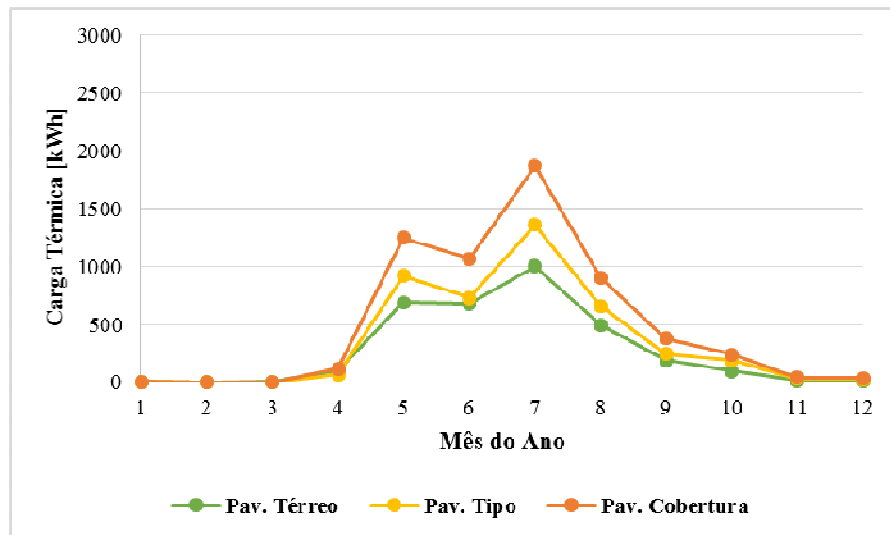


Figura 4.11: Média mensal da carga térmica do sistema de ar condicionado para aquecimento

As Figuras 4.11 e 4.12 mostram a carga térmica média mensal requerida pelo sistema de condicionamento de ar, entretanto para dimensionar corretamente o sistema é necessário saber como é o seu funcionamento na maior parte dos dias críticos.

Pode-se observar na Figura 4.11, que a carga térmica do sistema de ar condicionado para aquecimento do ambiente aumenta nos meses de outono e de inverno, com picos de valores no mês de julho. Cabe esclarecer que essa situação tende a ocorrer em um ano climático típico, quando a temperatura do mês de julho tem as maiores quedas e alta umidade no ar.

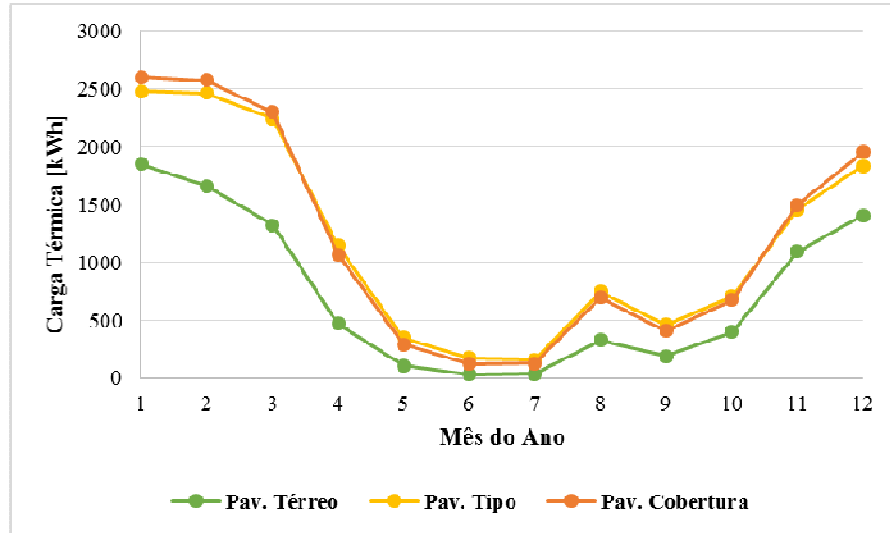


Figura 4.12: Média mensal da energia do sistema de ar condicionado para resfriamento

Ao contrário do comportamento da figura anterior, a Figura 4.12 mostra a média mensal da carga térmica do sistema de ar condicionado para o resfriamento das zonas térmicas da edificação em análise. Conforme o gráfico, o mês que necessita de maior potência para resfriamento é janeiro, época em que a temperatura está elevada e a umidade baixa.

De acordo com a simulação realizada, a Tabela 4.2 mostra o resultado das potências máximas exigidas para atender aos dias críticos do ano típico. Porém, neste trabalho a proposta é dimensionar uma máquina para atender os critérios de projeto e a 99% das horas do ano em que o sistema é acionado para manter o *setpoint* definido. Procurou-se dimensionar a capacidade das máquinas conforme os modelos disponíveis no mercado.

Tabela 4.2: Potência máxima necessária para atender os dias mais críticos do ano típico

Zona Térmica	Potência [W]		Potência [BTU/h]	
	Aquecimento	Resfriamento	Aquecimento	Resfriamento
A1	7691,43	12910,92	25748,60	44053,88
A2*	7642,57	16031,49	25700,62	54701,72
A3	11147,75	17437,25	32303,97	59498,36
B1	7699,37	12672,42	25778,42	43240,09
B2*	7657,50	15495,73	25747,13	52873,62
B3	11149,52	16383,24	32299,19	55901,93

\* as zonas térmicas A2 e B2 representam o pavimento tipo e no *EnergyPlus* os resultados gerados, para essas zonas térmicas, apresentam oito vezes o número de apenas um pavimento. Por isso, os valores obtidos foram divididos por oito, a fim de obter-se o valor de apenas um pavimento tipo e tornar possível a comparação com as demais zonas térmicas.



Visando esta proposta do sistema de condicionamento de ar atender a 99% das horas do ano, foi feito um pré-dimensionamento apresentado na Tabela 4.3 que mostra as capacidades do sistema de condicionamento de ar para suprir a necessidade de cada zona térmica.

Tabela 4.3: Dimensionamento do sistema de condicionamento de ar

Zona Térmica	Capacidade de refrigeração [W] e [BTU/h]	Horas de aquecimento não atendidas	Horas de resfriamento não atendidas
A1	11137 (38000)	0	79
A2	14654 (50000)	0	73
A3	15826 (54000)	0	64
B1	11137 (38000)	0	57
B2	14068 (48000)	0	68
B3	14654 (50000)	0	70

Conforme a Tabela 4.3, para atender a 99% de horas em que o sistema de condicionamento de ar é acionado, o mesmo deverá ter 38000 BTU/h nas zonas térmicas A1 e B1 localizadas no pavimento térreo, 50000 BTU/h na zona térmica A2 e 48000 BTU/h na zona B2, ambas representando o pavimento tipo e 54000 BTU/h na zona térmica A3 e 50000 BTU/h na zona térmica B3, localizadas no pavimento de cobertura.

#### 4.3 SPLIT X VRF

Para analisar as diferenças de consumo entre os sistemas de condicionamento de ar dos tipos SPLIT e VRF adotaram-se os mesmos *schedules* utilizados no modelo de referência, porém o COP nominal dos dois sistemas é de 3,35, ou seja, maior que o aplicado no modelo de referência.

Os dados de desempenho das unidades internas e externas, bem como os coeficientes das curvas de desempenho foram inseridos no programa *EnergyPlus* para a simulação dos sistemas de climatização SPLIT e VRF. Para o modelo de edificação analisado, o sistema de climatização do tipo SPLIT resultou em um consumo de cerca de 96124,77 kWh/ano, enquanto que o VRF foi de 64872,91 kWh/ano. Este último sistema apresenta uma economia anual de aproximadamente 30% no consumo energético, quando comparado ao modelo SPLIT.

Os resultados do consumo de energia anual para os padrões de edificação iguais aos do modelo de referência são apresentados na Figura 4.13. Nesta Figura é possível observar as diferenças de consumo de energia elétrica em uma média anual, entre cada sistema de climatização avaliado. Nos dois sistemas estudados, a diferença de consumo de energia apresentada se refere apenas a energia de resfriamento do sistema, já que na análise do modelo de referência, em relação ao consumo energético para aquecimento dos ambientes se mostrou relativamente baixo. Também, observa-se que a maior demanda por climatização, de ambos os sistemas, ocorre no mês de janeiro e menor no mês de julho.

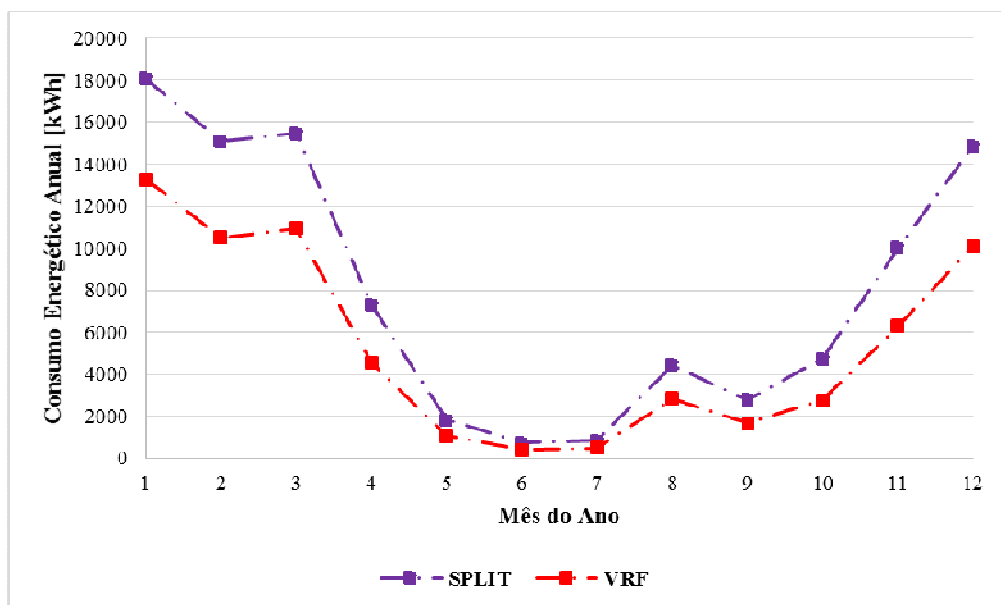


Figura 4.13: Consumo anual dos sistemas de ar condicionado SPLIT e VRF

A diferença de quase 30% no consumo energético entre os dois sistemas acontece porque o termostato do SPLIT deixa a temperatura do ambiente oscilar com frequência. E, isso faz com que o compressor da máquina ligue ou desligue diversas vezes, a fim de manter a temperatura do ambiente próxima àquela estabelecida no *setpoint*. Também, o EnergyPlus leva em conta o fator de degradação, que é uma perda energética para cada vez em que o sistema religa para manter a temperatura desejada. Enquanto isso, o sistema VRF mantém a temperatura do ambiente constante com pouca oscilação e o compressor opera frequentemente variando a rotação em função da temperatura desejada, evitando picos de consumo de energia para religar o compressor, como no caso do modelo de SPLIT analisado.

### 4.3.1 Condutividade térmica da cobertura

O modelo de referência possui cobertura de fibrocimento, o qual na análise realizada anteriormente e apresentada na Figura 4.11, demonstrou que o pavimento de cobertura é o que necessita de maior consumo de refrigeração, durante o ano. Isso ocorre devido a direta incidência de radiação solar na laje de cobertura e de o material possuir elevada condutividade térmica.

Com a substituição do material de cobertura por telhas metálicas do tipo sanduíche que possuem isolamento interno de poliuretano e o aumento da espessura da laje de cobertura de 15 cm para 20 cm, a carga térmica anual para resfriamento do pavimento, ou seja, nas zonas A3 e B3, foi reduzido em aproximadamente 5,25%, o que equivale a quase 2285 kWh/ano.

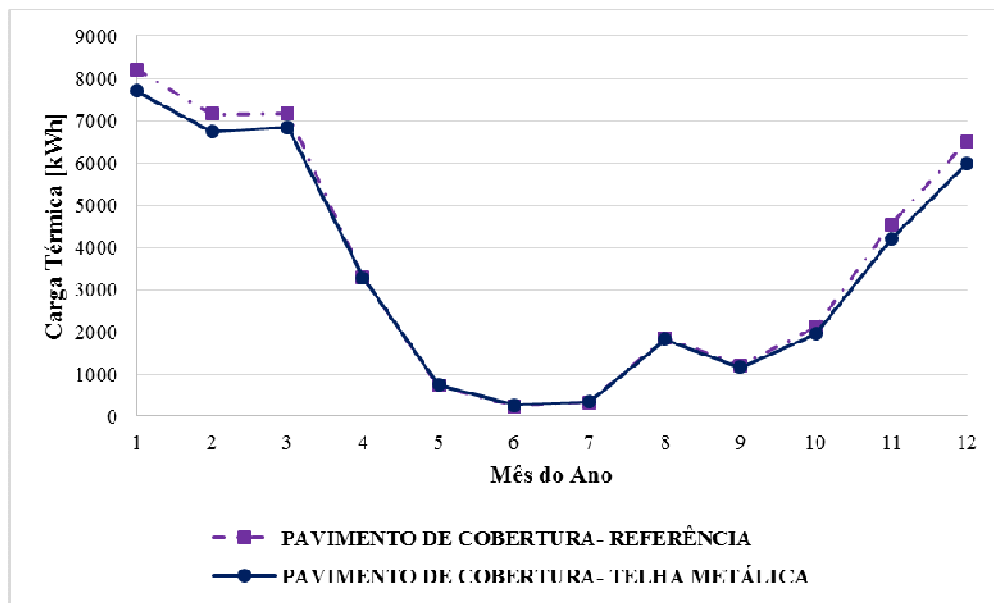


Figura 4.14: Carga térmica anual dos sistemas de ar condicionado no pavimento de cobertura

Conforme apresentado na Figura 4.14, quando o material foi alterado, a carga térmica para refrigeração das zonas A3 e B3 reduziu nos meses de primavera e verão e manteve-se praticamente igual aos resultados do modelo de referência nos meses de inverno

Isto ocorre porque a cobertura metálica possui o coeficiente de transmitância térmica menor que a composição utilizada para a cobertura do modelo de referência com telhas de fibrocimento. Ou seja, por possuir um menor valor de U, a energia absorvida na cobertura encontra maior resistência térmica para ser transferida ao ambiente interno nos períodos de muito calor.

### 4.3.2 Alteração do material das paredes

O material opaco das fachadas da edificação do modelo de referência representa 45% de toda a envoltória do edifício. Na composição do modelo de referência o material utilizado nas paredes foi o tijolo cerâmico de seis furos, com argamassa de assentamento. A alteração por paredes de *light steel framing* (LSF) com materiais que isoladamente possuem menor condutividade térmica e uma camada de material isolante entre a placa cimentícia e a placa de gesso acartonado, aumentou o consumo energético dos sistemas de refrigeração SPLIT e VRF em aproximadamente 7% e 8%, respectivamente.

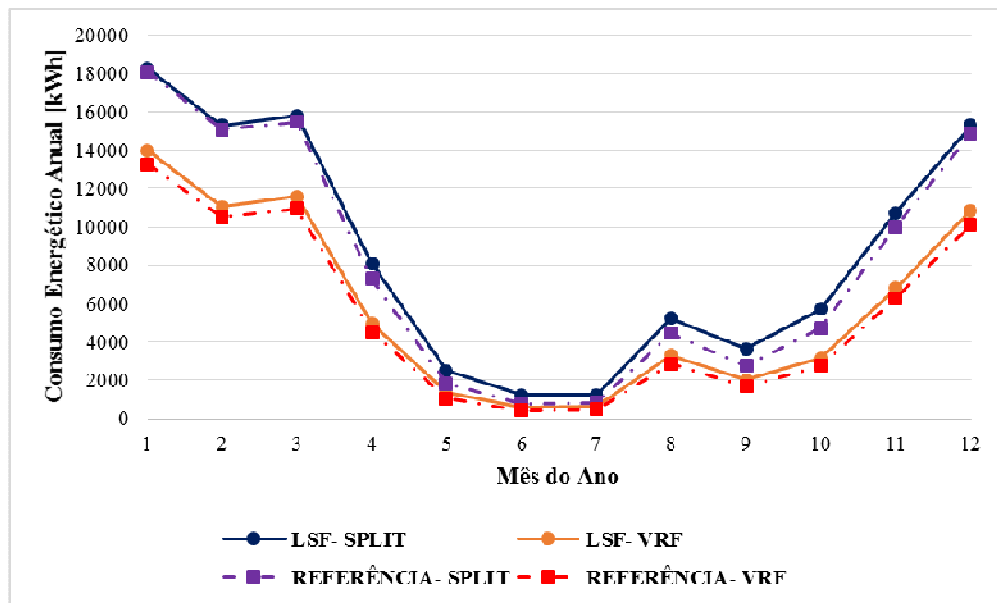


Figura 4.15: Consumo anual dos sistemas de ar condicionado SPLIT e VRF para o material *steel framing*

De acordo com a Figura 4.15, tanto no verão como no inverno a alteração pelo material das paredes por *steel framing*, fez com que o consumo de energia elétrica aumentasse. Isto ocorre porque apesar deste material possuir características de isolamento térmico e evitar o ganho ou a perda energética com o ambiente externo, por se tratar de um ambiente comercial e possuir alta geração de energia interna (através de equipamentos, de iluminação e de pessoas), a dissipação de energia através das paredes é dificultada, aumentando a necessidade de refrigeração para manter o ambiente na temperatura de conforto.

### 4.3.3 Fator solar dos vidros

O modelo de referência em questão possui  $PAF_T$  de 55% da área total da envoltória, tornando o vidro o componente que mais influencia na troca de energia entre os ambientes interno e externo. A fim de verificar quais tipos de vidros melhorariam o desempenho do sistema de ar condicionado, foram avaliados vidros de cores fumê, verde e do tipo refletivo. É importante mencionar que a comparação entre cada aplicação foi feita com relação ao vidro utilizado no modelo de referência, que foi o incolor 3 mm, que possui FS de 0,87.

De acordo com a Figura 4.16, o consumo anual de energia elétrica do sistema de condicionamento de ar com a utilização do vidro verde, para o caso simulado com a utilização do sistema VRF, apresenta uma maior diferença em relação ao modelo de referência, do que o caso que simula a utilização do sistema SPLIT. Para o modelo que utiliza o sistema SPLIT, a economia de energia elétrica foi de 12,08%; enquanto que no modelo que possui o sistema VRF, a economia foi de 14,85%.

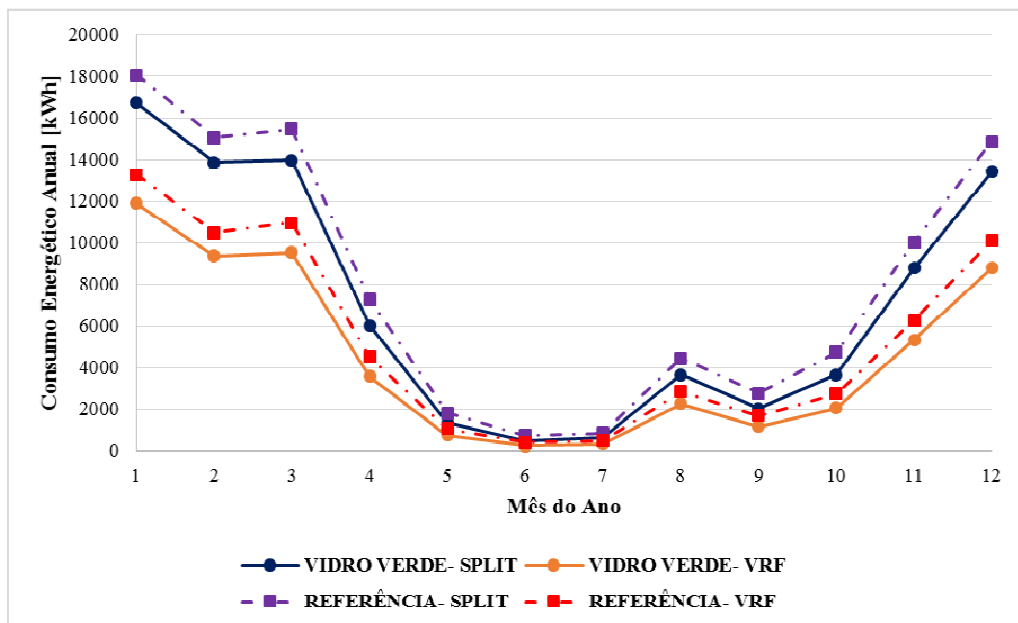


Figura 4.16: Consumo anual dos sistemas de ar condicionado SPLIT e VRF para o vidros de cor verde

Na segunda proposta de alteração de cor do vidro, porém agora com o vidro cor fumê, os índices baixaram pouco em comparação a simulação com o vidro verde. Para o sistema SPLIT a redução foi de 13,06% enquanto que para o modelo com o sistema VRF, a economia foi de 16,03%. A Figura 4.17 apresenta a relação entre o modelo de referência com vidro

incolor 3 mm e o modelo com vidro fumê 6 mm. Nela é possível verificar que no verão e, mais especificamente no mês de fevereiro, a economia foi maior que nos outros meses. O fato dos vidros de cores verde e fumê, utilizados nas simulações, gerarem redução no consumo de energia elétrica pelos sistemas de ar condicionado, se deve ao fato desses vidros possuírem baixa transmissividade, ou seja, os mesmos não transferem para o ambiente interno toda a energia incidente. Em contraponto, no inverno os mesmos não deixam que a energia gerada no ambiente interno por equipamentos, iluminação e pessoas, seja facilmente dissipado como ocorre no vidro do modelo de referência. Por isto, no inverno é possível observar nas Figuras 4.16 e 4.17, que a redução do consumo de energia elétrica dos sistemas de condicionamento para resfriamento dos ambientes não foi tão significativo.

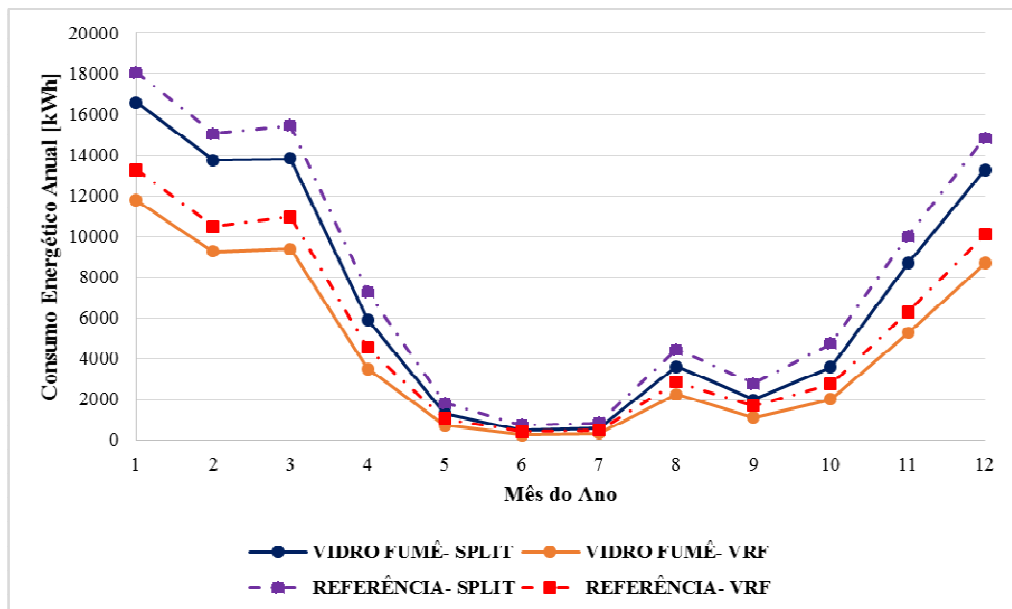


Figura 4.17: Consumo anual dos sistemas de ar condicionado SPLIT e VRF para vidros de cor fumê

Como última alternativa de vidro para a simulação e análise, foi escolhido o vidro refletivo muito presente nos edifícios comerciais. Conforme a Figura 4.18, a economia de energia elétrica dos sistemas de ar condicionado é bem superior às médias obtidas com vidros de cores verde e fumê. Os índices percentuais de redução energética foram de 29,88% e de 35,94% para os sistemas SPLIT e VRF, respectivamente.

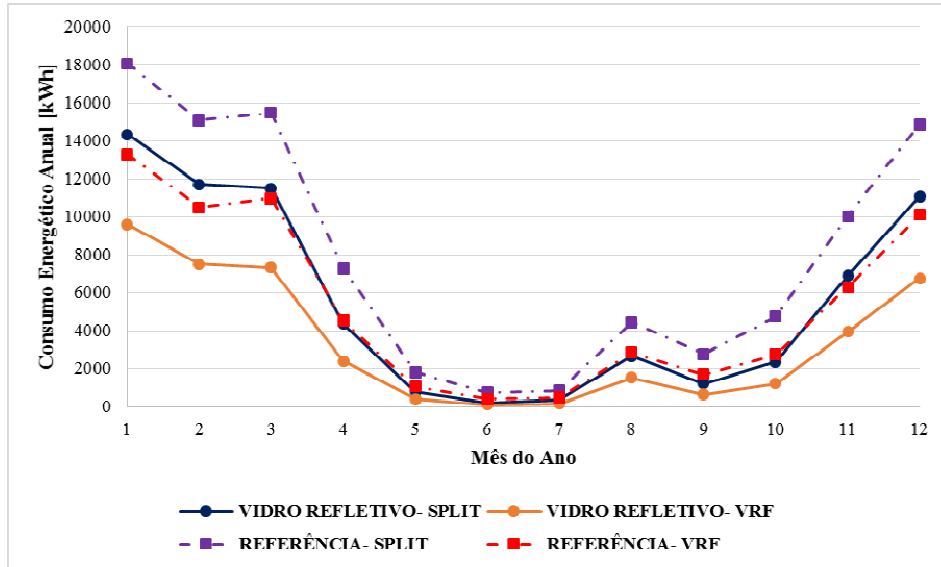


Figura 4.18: Consumo anual dos sistemas de ar condicionado SPLIT e VRF para vidros refletivos

Este resultado ocorre pelo fato de o mesmo refletir grande parte da radiação solar direta do lado externo, evitando que a mesma penetre no ambiente interno e, conseqüentemente, reduza a necessidade de refrigeração do ambiente. Entretanto, cabe salientar que esse tipo de vidro acaba reduzindo a luminosidade interna e provavelmente seria necessário aumentar a iluminação do ambiente, fato que geraria mais carga térmica e possivelmente aumentaria o consumo energético dos sistemas de ar condicionado para resfriamento.

#### 4.3.4 Aplicação de brises verticais e horizontais

Como parte do estudo dos modelos computacionais gerados nessa pesquisa, foram aplicados brises verticais (AVS) e horizontais (AHS) a fim de verificar qual seria o impacto no consumo de energia elétrica nos sistemas de condicionamento de ar.

Primeiramente, criou-se um modelo com brises verticais nas fachadas leste e oeste, conforme a Figura 4.19. Os mesmos foram desenhados com um ângulo de 45° em relação a fachada, com material de média refletância, adotando os coeficientes de 0,4 para a transmitância solar e de 0,5 para a refletância solar.

Com essa aplicação, foi possível verificar que o consumo de energia elétrica pelos sistemas de ar condicionado foi reduzido em cerca de 5% ao ano, nos dois casos, quando comparado ao modelo de referência.

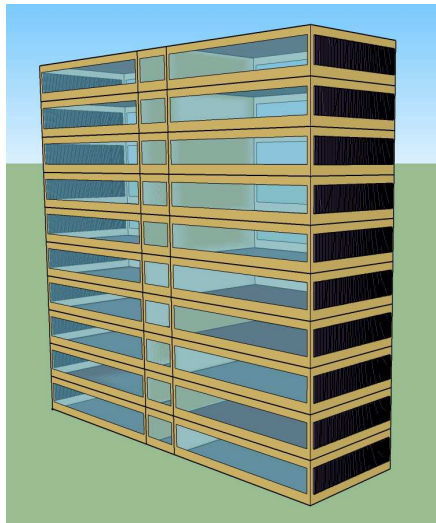


Figura 4.19: Modelo simulado com brises verticais

Pode-se averiguar na Figura 4.20 que a redução de consumo energético aconteceu durante todo o ano típico, sendo menos vantajoso para a questão da redução energética, a implantação de brises nas fachadas leste e oeste do que a alteração dos vidros de toda a envoltória, como mostrado no subcapítulo anterior.

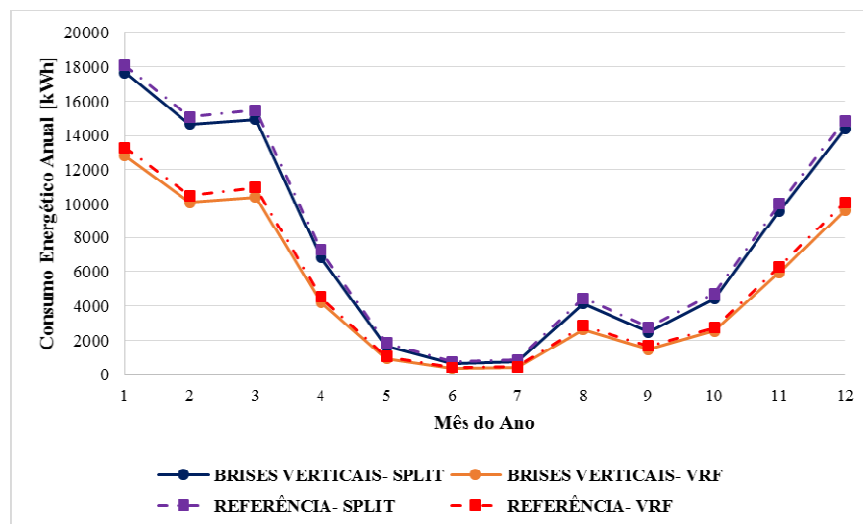


Figura 4.20: Consumo anual dos sistemas de ar condicionado SPLIT e VRF do modelo com brises verticais

Esta baixa redução ocorre, pois os brises verticais orientados nas fachadas leste e oeste sombreiam a fachada do prédio, mas como foram posicionados de forma fixa e perpendiculares à fachada, não acompanham o ângulo de azimute, baixando a eficiência real deles.





Figura 4.21: Modelo simulado com brises horizontais

Também, visando estudar o comportamento da edificação com a implantação de brises horizontais, aplicou-se na parte superior de todas as janelas voltadas para a orientação solar norte, um brise de 0,50 cm de largura, para desenvolverem o papel de brise (Figura 4.21). Os brises foram implantados com ângulo perpendicular a fachada e neste modelo foi possível verificar uma redução anual no consumo de energia elétrica dos sistemas de ar condicionado, para resfriamento, ou seja, de 10,42% no modelo que utiliza SPLIT e de 12,24% no modelo que utiliza VRF.

Conforme a Figura 4.22, durante todo o ano típico, os brises horizontais bloquearam a entrada direta de radiação solar quando o sol estava no zênite, reduzindo a demanda do ar condicionado para resfriamento dos ambientes.

Para melhor demonstrar a quantificação da economia de refrigeração artificial, com a implantação dos brises verticais e horizontais, a Tabela 4.4 discrimina cada sistema de condicionamento de ar utilizado e o consumo de energia elétrica com e sem os brises. Como é possível constatar, a aplicação de brises horizontais na fachada norte fez com que o consumo energético dos sistemas de ar condicionado reduzisse em até 12 %, enquanto que a colocação de brises verticais nas fachadas leste e oeste reduziu o consumo em cerca de 5%.

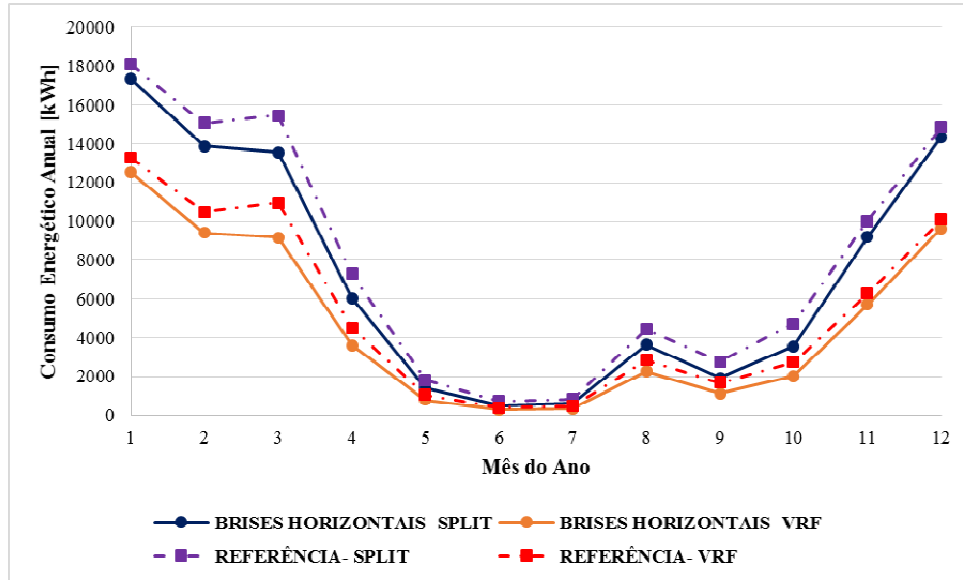


Figura 4.22: Consumo anual dos sistemas de ar condicionado SPLIT e VRF do modelo com brises horizontais

Portanto, a aplicação dos brises horizontais para o caso simulado reduz em mais de o dobro da porcentagem dos brises verticais. Isso ocorre porque a fachada norte do modelo em estudo possui a maior área de janela, quase quatro vezes maior que cada fachada leste ou oeste. Além disso, essa orientação recebe radiação solar direta durante quase todo o dia, por isso o resultado acaba sendo mais vantajoso do que os brises aplicados nas outras fachadas.

Tabela 4.4: Consumo energético das zonas térmicas com e sem brises

Posição dos brises/ fachada de aplicação	Consumo energético [kWh] conforme o sistema de condicionamento de ar		Consumo energético [kWh] com brises conforme o sistema de condicionamento de ar		Economia do consumo energético (%)	
	SPLIT	VRF	SPLIT	VRF	SPLIT	VRF
<b>Horizontais/ norte</b>	86102,99	56930,18	10021,78	7942,73	10,42	12,24
<b>Verticais/ leste e oeste</b>	92199,54	61459,51	3925,18	3413,40	4,08	5,26

### 4.3.5 Redução da área de PAF<sub>T</sub>

O modelo de referência possui uma porcentagem de 55% de PAF<sub>T</sub>, um consumo energético anual de 96124,77 kWh com o sistema de ar condicionado do tipo SPLIT e de 64872,91 kWh com o do tipo VRF. A fim de comparar qual o impacto no consumo energético com a redução da área de janelas, reduziu-se o PAF<sub>T</sub> para 30%, menos do que o parâmetro permitido pela ASHRAE 90.1 que é um PAF<sub>T</sub> 40%, alterando o modelo de simulação conforme a Figura 4.23.

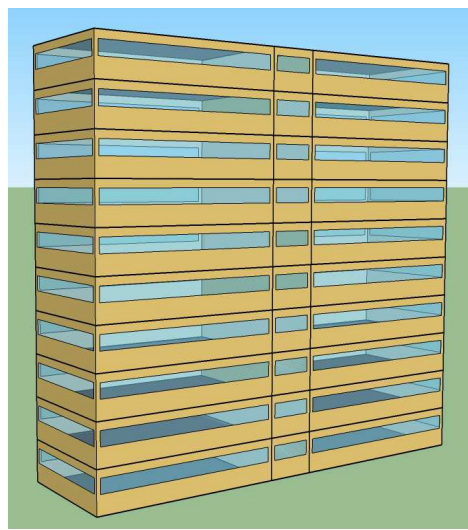


Figura 4.23: Modelo simulado com PAF<sub>T</sub> 30

Com esta alteração, o consumo de energia elétrica para refrigeração reduziu em 20,82% no sistema do tipo SPLIT e em 26,02% no sistema do tipo VRF. A redução do PAF<sub>T</sub> foi benéfica para a redução de consumo de energia principalmente no verão, quando a incidência de radiação solar é maior nas fachadas e é quando o ambiente interno recebe maior quantidade de calor.

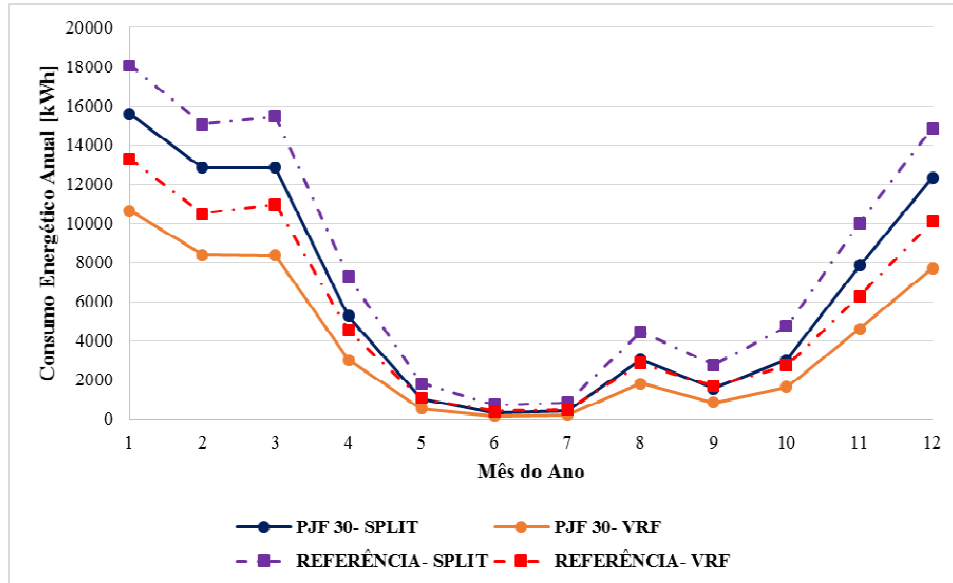


Figura 4.24: Consumo anual dos sistemas de ar condicionado SPLIT e VRF do modelo com  $PAF_T 30$

#### 4.3.6 Aplicação das melhores soluções

A fim de verificar qual seria a redução do consumo energético para refrigeração da edificação em estudo, foi aplicado ao modelo de referência o conjunto das três características arquitetônicas que geraram maior redução no consumo de energia elétrica nos estudos individuais, as quais foram: brises horizontais, cobertura metálica e vidro refletivo. Através da Figura 4.25 pode-se comprovar que a economia energética dos sistemas SPLIT e VRF foi bastante considerável. No primeiro, a redução no consumo de energia elétrica para refrigeração foi de aproximadamente 37%, enquanto que no segundo sistema foi de quase 42%.

Esse resultado evidencia que com a aplicação desse conjunto de soluções arquitetônicas, o consumo do sistema SPLIT praticamente se igualou ao consumo do modelo de referência do sistema VRF. Já, o sistema VRF, que já possuía um bom desempenho em relação ao SPLIT no modelo de referência, com a aplicação dessas soluções ficou com o desempenho muito superior, tornando-o a opção mais adequada para a edificação em estudo.

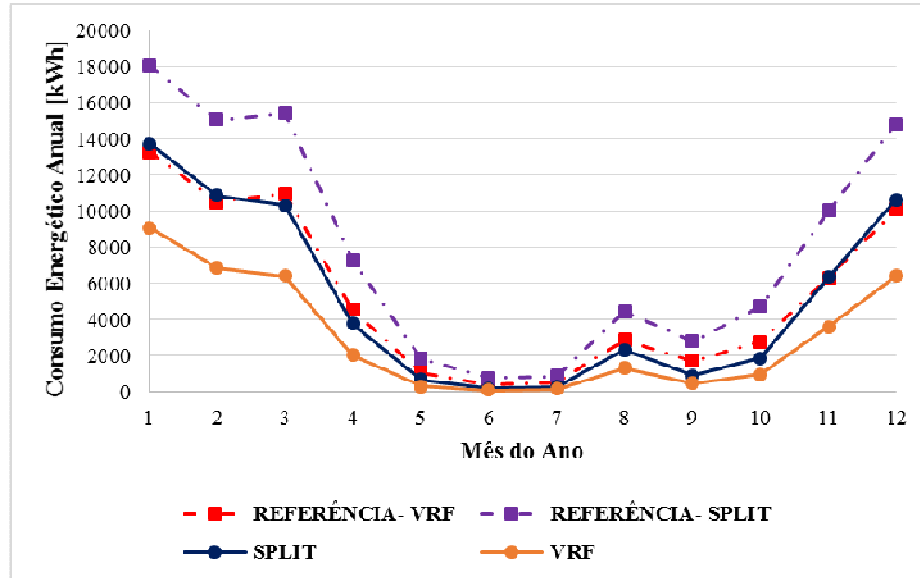


Figura 4.25: Consumo anual dos sistemas de ar condicionado SPLIT e VRF do modelo com a aplicação agrupada dos brises horizontais com o vidro refletivo e a cobertura metálica

#### 4.3.7 COP

Os aparelhos de ar condicionado geralmente são instalados considerando a capacidade máxima necessária e acabam por ficar ociosos na maior parte do tempo. Isso ocorre, pois o número de horas em que o aparelho trabalha na capacidade máxima é reduzido. É possível comprovar, através da Figura 4.26, que nesse estudo o COP dos aparelhos ficou superestimado.

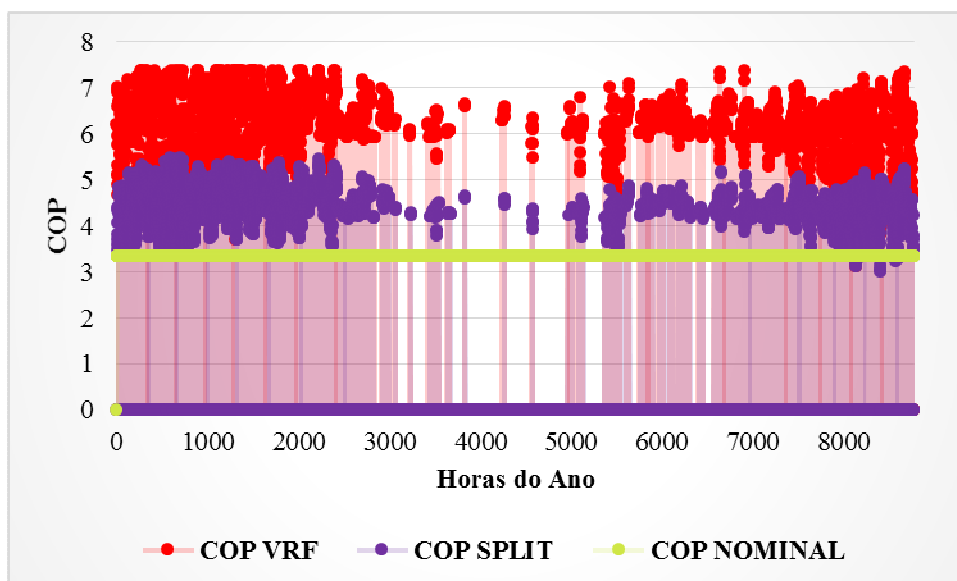


Figura 4.26: COP dos aparelhos durante o ano típico

No caso do sistema de ar condicionado do tipo SPLIT, o valor do COP ficou abaixo do valor do COP nominal em poucas horas do ano e na maior parte do tempo ficou acima do valor nominal, chegando a ultrapassar em várias horas do ano o COP de 5. O sistema de ar condicionado VRF obteve melhor rendimento que o SPLIT e, inclusive, teve os valores do COP anual bem superiores ao COP nominal. Pode-se observar que em diversas horas do ano o COP atingiu o coeficiente 7, número bem superior ao estipulado como nominal. Isto porque, este sistema trabalha melhor que o SPLIT com cargas parciais, baixando a rotação quando necessário; o que não acontece com o SPLIT.

#### 4.3.8 Compilação dos resultados

Conforme a Tabela 4.5 exibida a seguir, a intervenção que mais impactou na redução do consumo energético para refrigeração foi a aplicação de vidros refletivos no modelo de referência. A mesma reduziu o consumo de energia elétrica em cerca de 30% para o sistema do tipo SPLIT e em 35% para o tipo VRF. A segunda melhor solução foi a redução do PAF<sub>T</sub> para 30%, que reduziu em aproximadamente 20% quando o sistema de ar condicionado aplicado foi o do tipo SPLIT e em 26% quando foi do tipo VRF. A que menos gerou economia energética para refrigeração, no contexto geral da edificação, foi a alteração da cobertura de fibrocimento para a cobertura metálica. Porém, quando analisado apenas o pavimento de cobertura, zonas térmicas A3 e B3, esta análise é modificada, pois essa intervenção foi capaz de reduzir a carga térmica do pavimento em quase 5,25%.

Tabela 4.5: Compilação dos resultados

Alteração proposta na edificação	Consumo energético do modelo de referência [(kWh/m <sup>2</sup> )/ano]		Consumo energético do modelo com a alteração proposta [(kWh/m <sup>2</sup> )/ano]		Economia do consumo energético (%)	
	SPLIT	VRF	SPLIT	VRF	SPLIT	VRF
<b>Cobertura metálica</b>	<b>53,40</b>	<b>36,04</b>	53,10	35,73	0,55	0,85
<b>Parede LSF</b>			57,21	38,99	+7,14*	+8,20*
<b>Vidro verde</b>			46,94	30,68	12,08	14,85
<b>Vidro fumê</b>			46,42	30,26	13,06	16,03
<b>Vidro refletivo</b>			37,44	23,08	29,88	35,94

Alteração proposta na edificação	Consumo energético do modelo de referência [(kWh/m <sup>2</sup> )/ano]		Consumo energético do modelo com a alteração proposta [(kWh/m <sup>2</sup> )/ano]		Economia do consumo energético (%)	
	SPLIT	VRF	SPLIT	VRF	SPLIT	VRF
<b>Brisas verticais</b>			51,22	34,14	4,08	5,26
<b>Brisas horizontais</b>			47,83	31,62	10,42	12,24
<b>PAF<sub>T</sub> 30</b>			42,28	26,65	20,82	26,02
<b>Soluções agrupadas**</b>			34,33	20,92	35,70	41,94

\* resultados que impactaram no aumento do consumo de energia elétrica

\*\* modelo com a aplicação de brises horizontais, vidros refletivos e cobertura metálica

A aplicação de algumas das melhores soluções em termos energéticos - vidro refletivo, brises horizontais e cobertura metálica-, aplicadas ao modelo de referência, produziram uma economia energética para refrigeração na ordem de 35,70% no sistema SPLIT e de 41,94% no VRF.

Assim, a única alteração que gerou aumento no consumo de energia para a refrigeração da edificação foi a alteração das paredes de alvenaria por paredes de LSF, que possuem isolamento térmico. Conforme mencionado anteriormente, pelo prédio ser comercial e por possuir ocupação elevada, além de grandes quantidades de iluminação e equipamentos, o isolamento térmico do material acaba prejudicando, pois não permite a perda da energia gerada no ambiente interno para o externo, através das paredes, nas horas em que a temperatura externa é mais baixa que a interna.

Para ilustrar o consumo energético dos sistemas de condicionamento de ar relacionados aos modelos gerados, conforme as alterações arquitetônicas propostas, foi criado o gráfico apresentado na Figura 4.27. A partir deste gráfico é possível comparar o consumo energético anual dos sistemas de ar condicionado SPLIT e VRF, por metro quadrado, com outras edificações, permitindo que esse estudo seja objeto de correlação com outros trabalhos acadêmicos.

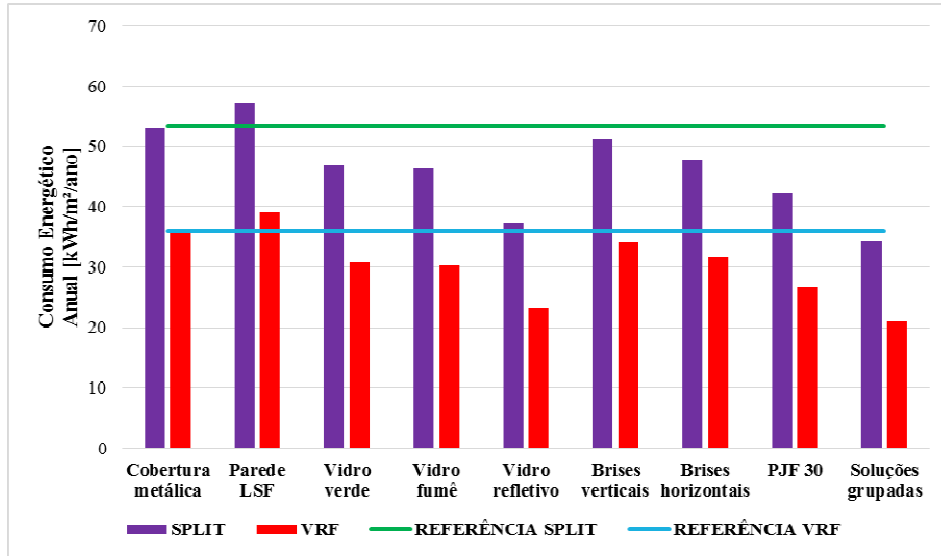


Figura 4.27: Consumo energético anual dos sistemas de ar condicionado SPLIT e VRF conforme as alterações arquitetônicas propostas



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo foi analisada a relação entre aplicações de diferentes características arquitetônicas e o consumo energético para refrigeração de sistemas de ar condicionado dos tipos SPLIT e VRF, em uma edificação comercial vertical. Foi estudada a implantação dos modelos de edificações no clima da cidade de Porto Alegre, a qual pertence a ZBBR 3, através da ferramenta de simulação computacional *EnergyPlus*, versão 8.4.0.

Quando simulado os aparelhos de ar condicionado dos tipos SPLIT e VRF, com as características arquitetônicas do modelo de referência, o sistema de ar condicionado do tipo VRF, consumiu 30% a menos de energia elétrica por ano para refrigerar a edificação do que o aparelho do tipo SPLIT. Isso ocorre pela maneira com que o termostato do SPLIT atua, fazendo com que o compressor da máquina ligue e desligue diversas vezes, gerando uma grande oscilação da temperatura do ambiente para manter a temperatura do ambiente próxima àquela estabelecida no *setpoint*. Enquanto isso, o sistema VRF mantém a temperatura do ambiente constante com pouca oscilação e o compressor opera frequentemente variando a rotação em função da temperatura desejada, evitando picos de consumo de energia para religar o compressor. Assim, na média o consumo de energia elétrica para resfriamento é mais baixo, pois o VRF analisado trabalha melhor com cargas parciais do que o SPLIT.

A troca do vidro incolor pelo refletivo proporcionou uma economia de energia elétrica bem relevante, porém, o ideal seria a colocação da dimerização do sistema de iluminação artificial nos ambientes internos. Assim, seria possível medir a necessidade do aumento de iluminação artificial quando o vidro é mais escuro ou a diminuição do uso de iluminação artificial quando o vidro possui maior transparência e permite maior entrada de fluxo luminoso.

Além de todos os resultados apresentados, é importante frisar a relevância que as cargas internas possuem na relação de consumo energético dos sistemas de condicionamento de ar. Por ser uma edificação comercial, o número de usuários por metro quadrado é volumoso, assim como a quantidade de equipamentos eletrônicos e de iluminação. Isso tudo dissipa energia e faz com que a sensação térmica do ambiente aumente e, conseqüentemente eleve a necessidade de refrigeração para manter a temperatura de conforto nos meses de calor. Por vezes a carga interna elevada faz com que a alteração de alguns materiais construtivos, piore o desempenho dos sistemas de ar condicionado, ou não gere o desempenho esperado antes da aplicação na simulação.

Para a classificação do nível de eficiência da envoltória, o RTQ-C adota o Zoneamento Bioclimático Brasileiro e as recomendações de transmitância térmica do envelope são estipuladas em valores fixos, não considerando a ocupação da edificação. Com as simulações que foram feitas neste trabalho foi possível constatar que, em um edifício comercial, o calor gerado pelos equipamentos, iluminação e ocupação dos usuários fez com que houvesse carga térmica de refrigeração mesmo com temperaturas externas menores que a interna. Ao utilizar materiais mais isolantes na envoltória se dificulta a dissipação de calor interno através da fachada, aumentando o consumo dos sistemas de condicionamento de ar. Portanto, seria interessante que essas variáveis fossem acrescentadas no momento da escolha do material correto para o fechamento do envelope.

Durante as simulações o COP nominal do VRF foi superado em várias horas do ano, assim como o COP nominal do SPLIT, demonstrando que os mesmos trabalharam com melhor rendimento nas horas com temperatura mais amena; ainda assim, o consumo do VRF ficou bem inferior ao sistema do tipo SPLIT.

Também se verificou que o RTQ-C apenas pontua o sistema de ar condicionado pelo seu COP nominal, determinando se o aparelho será de nível A, B, C, D ou E. Foi possível observar nesse trabalho que o valor nominal é superado em diversas horas do ano e isso faz com que o mesmo não seja pontuado pela sua real condição de operação. Portanto, há de se verificar a importância de se considerar um COP integrado ao longo do ano como valor de referência para a pontuação da etiquetagem, já que a curva de consumo de cada aparelho possui suas particularidades.

É importante ressaltar que a análise da economia de energia elétrica dos sistemas de ar condicionado empregados para refrigeração, aqui estudados, dependem de vários fatores, como: o clima, as características arquitetônicas da edificação, as propriedades dos materiais construtivos, as cargas internas e o padrão de ocupação dos usuários.

## 5.1 SUGESTÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DE NOVOS TRABALHOS

Essa dissertação manifestou, dentre outros assuntos, a simulação termoenergética de um modelo de referência de edificação comercial e suas variações de parâmetros arquitetônicos, a fim de se verificar as suas relações com o consumo energético de resfriamento dos sistemas de ar condicionados dos tipos SPLIT e VRF.

Como sugestão para a condução de novas averiguações, sugerem-se as seguintes opções de estudo:

- a) Analisar o comportamento térmico e energético do modelo de referência e das alterações dos componentes construtivos em outras zonas bioclimáticas;
- b) Verificar quais seriam as soluções ideais para prédios comerciais para cada ZBBR, já que a NBR 15220 utilizada nesta pesquisa, apresenta sugestões de soluções arquitetônicas para edificações residenciais;
- c) Verificar a diferença na classificação energética do modelo e de seus diferentes parâmetros, conforme os métodos prescritivo e de simulação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.
- \_\_\_\_\_. **NBR 8995: Iluminância de Interiores**. Rio de Janeiro, 2014.
- \_\_\_\_\_. **NBR 16401:3: Instalações de Ar Condicionado – Sistemas centrais e unitários. Parte 3: Qualidade do ar interior**. Rio de Janeiro, 2008.
- ASHRAE. **ASHRAE Fundamentals Handbook**. New York: American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers. 2009.
- \_\_\_\_\_. **ASHRAE Standard 90.1. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings**. New York: American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers. 2007.
- \_\_\_\_\_. **ASHRAE Standard 189.1. Standard for the Design of High Performance Green Buildings**. New York: American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers. 2014.
- BARROS, A. D. M. **A adoção de sistemas de avaliação ambiental de edifícios (LEED e Processo AQUA) no Brasil: Motivações, benefícios e dificuldades**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- BEIZAE, A., ALLINSON, D., LOMAS, et al. **Measuring the Potential of Zonal Space Heating Controls to Reduce Energy use in UK homes: the case of um-furbished 1930s dwellings**, Energy and Buildings, Elsevier, 44 p., 28 jan. 2015.
- BRASIL. \_\_\_\_\_. **ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução N° 009, de 16 de janeiro de 2003**. Estabelece padrões referenciais de qualidade de ar interno em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo. Disponível em: <[http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/d094d3004e5f8dee981ddcd762e8a5ec/Resolucao\\_RE\\_n\\_09.pdf?MOD=AJPERES](http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/d094d3004e5f8dee981ddcd762e8a5ec/Resolucao_RE_n_09.pdf?MOD=AJPERES)>. Acesso em: 21 dez. 2015.
- \_\_\_\_\_. **Decreto N° 20.446, de 01 de outubro de 1931**. Estabelece a hora de economia de luz no verão em todo o território brasileiro. Rio de Janeiro, RJ, 1931. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1930-1939/decreto-20466-1-outubro-1931-560651-publicacaooriginal-83760-pe.html>>. Acesso em: 17 jul. 2015.
- \_\_\_\_\_. **Decreto N° 41.019, de 26 de fevereiro de 1957**. Dispõe sobre a Regulamentação dos Serviços de Energia Elétrica. Rio de Janeiro, RJ, 1957. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/antigos/d41019.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/antigos/d41019.htm)>. Acesso em: 17 jul.2015.
- \_\_\_\_\_. **Lei N° 10.295, de 17 de outubro de 2001**. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Brasília, DF, 2001a. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/leis\\_2001/L10295.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/L10295.htm)>. Acesso em: 24 fev. 2015.
- \_\_\_\_\_. **Decreto N° 4.059, de 19 de dezembro de 2001**. Regulamenta a Lei N° 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. Brasília, DF, 2001b. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/2001/D4059.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2001/D4059.htm)>. Acesso em: 24 fev. 2015.
- \_\_\_\_\_. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**. Brasília, DF, 2014. Disponível em: <

[http://pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/Port372-2010\\_RTQ\\_Def\\_Edificacoes-C\\_rev01.pdf](http://pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/Port372-2010_RTQ_Def_Edificacoes-C_rev01.pdf)>. Acesso em: 07 fev. 2016.

\_\_\_\_\_. Ministério de Minas e Energia. **Balço Energético Nacional 2015**. Brasília, DF, 2016. Relatório. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/S%c3%adntese%20do%20Relat%c3%b3rio%20Final\\_2016\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/S%c3%adntese%20do%20Relat%c3%b3rio%20Final_2016_Web.pdf)>. Acesso em: 07 jul. 2016.

BURKE,B.; KEELER,M. **Projetos de Edificações Sustentáveis**. 1ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2010. 362 p.

CARLO,J. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envoltório de Edificações Não-residenciais**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

CARLO, J.; LAMBERTS, R. **Processamento de Arquivos Climáticos para Simulação do Desempenho Energético de Edificações**. Elaboração De Regulamentação e Classificação De Edificações Eficientes. Florianópolis: Eletrobás/Procel. 2005. (Relatório LabEEE, 200504).

CARLO, J. C.; TOCCOLINI, G. AET N° 02/04. **Levantamento de Dados Visando a Definição de Protótipos de Edificações Brasileiras**. Elaboração de Regulamentação e Classificação de Edificações Eficientes. Florianópolis: Eletrobás/Procel. 2005. 56 p. (Relatório LabEEE, 200505).

ÇENGEL, Y.A.; GHAJAR, A. J. **Transferência de Calor e Massa**. 4ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2012. 904 p.

CHIRARATTANANON, S.; TAWEWKUN, J. *A Technical Review of Energy Conservation Programs for Commercial and Government Buildings in Thailand*. Energy Conservation and Management. Thailand, V.44, 743-762, 2002.

CIBSE . Chartered Institution Of Building Services Engineers. **Environmental Design CIBSE Guide A**. CIBSE, 2006

COELBA,UFSC. Laboratório de Eficiência Energética. **Proposta de Inclusão de Parâmetros de Eficiência Energética no Código de Obras de Salvador**. Relatório. Florianópolis, SC, 2003.16p. Disponível em: <[http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Eficiencia\\_energetica\\_no\\_codigo\\_de\\_o\\_bras\\_de\\_Salvador\\_Relatorio\\_Final.pdf](http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Eficiencia_energetica_no_codigo_de_o_bras_de_Salvador_Relatorio_Final.pdf)> Acesso em: 14 ago. 2015.

EERE. **EnergyPlus Energy Simulation Software**. Disponível em: <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>>. Acesso em: 01 maio de 2015.

ELETROBRÁS/PROCEL. **Conservação de Energia: Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos**. Itajubá: EE,2001.

GHISI, E.; RAMOS,G.; SANTANA,M., et al. **Impactos da Adequação Climática Sobre a Eficiência Energética e o Conforto Térmico de Edificações de Escritórios no Brasil-Zona 03**. UFSC: Florianópolis. 2006; 120p.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=431490&search=rio-grande-do-sul|porto-alegre>>. Acesso em: 28 jul. 2015.

INMETRO. **Histórico do Programa Brasileiro de Etiquetagem**. 2009. Disponível em: <<http://www2.inmetro.gov.br/pbe/historico.php>>. Acesso em: 01 maio 2015.

INMETRO. **Etiqueta Nacional de Conservação de Energia: Condicionadores de Ar Split Hi-Wall**. Disponível em: <[http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionadores\\_ar\\_split\\_hiwall\\_indicenovo.pdf](http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionadores_ar_split_hiwall_indicenovo.pdf)>. Acesso em: 18 set. 2015.

ISO 7730. **Ambientes Térmicos: Instrumentos e Métodos para Medição de Parâmetros Físicos**. 2005.

JAGGER, M. **Certificações e Selos Verdes**. Departamento de Artes e Design. Rio de Janeiro: PUC, 2011. 16p.

KENNEDY,S., VANGEEM, M.G., LAWRENCE,T., LORD,R.. **Energy Efficiency: Building on Standard 90.1**. ASHRAE Journal's , Guide to Standard 189.1: Balancing Environmental Responsibility, Resource Efficiency & Occupant Comfort, 2010.

KWOK, A.; GRONDZIK, W. **Manual de Arquitetura Ecológica**. 2ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2013. 422 p.

LabEEE. **Arquivos Climáticos em Formato TRY, SWERA, CSV e BIN**. 2016. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-try-swera-csv-bin>>. Acesso em: 15 jul. 2016.

LAMBERTS, R. *et al.* AET N° 02/04 **Simulação Térmica e Energética de Edificações**. Elaboração de Regulamentação e Classificação de Edificações Eficientes. Florianópolis: Eletrobás/Procel. 2005. 56 p. (Relatório LabEEE, 200506).

LAMBERTS, R., 1996, **Electricity efficiency in commercial and public buildings: Energy for Sustainable Development**. , Energy for Sustainable Design, v.2, Elsevier, 4 p., mar. 1996.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo. PW Gráficos e Editores Associados, 1997.

LAMBERTS, R. **Apostila de Conforto e Stress Térmico**. Florianópolis:UFSC. LabEEE, 2014.139p. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Conforto%20T%C3%A9rmico%202014\\_Com%20norma.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Conforto%20T%C3%A9rmico%202014_Com%20norma.pdf)>. Acesso em: 05 ago. 2015.

LAMBERTS, R. **Desempenho Térmico de Edificações**. Florianópolis: UFSC. LabEEE. 2010, 42p. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV%205161%20Aula%202%20-%20Conforto%20termico.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2015.

LAMBERTS,R. **Electricity efficiency in commercial and public buildings**. Energy for Sustainable Development. Volume 2, Capítulo 6. Pg 49-52. 2006.

MELO, A.P. **Análise da influência da transmitância térmica no consumo de energia de edificações comerciais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MEYERS,R.J.; WILLIAMS,E.D.; MATTHEWS, H.S. **Scoping the potential of monitoring and control technologies to reduce energy use in homes**. Sustainable in Energy and Buildings, 42 p., 2010.

MORELLO, A. **Avaliação do Comportamento Térmico do Protótipo Habitacional Alvorada**. 2005. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PBE INMETRO. **Tabelas de Consumo/ Eficiência Energética**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/residenciais.asp>>. Acesso em: 03 ago. 2015.

PROCEL. **Relatório de Resultados do Procel 2014: Ano Base 2013**, Rio de Janeiro, 2014.

PROCEL. **Relatório de Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil: Ano Base 2005**, Rio de Janeiro, 2007.

ROAF, S.; CRICHTON, D.; NICOL, F. **A Adaptação de Edificações e Cidades às Mudanças Climáticas: Um guia de sobrevivência para o século XXI**. 1ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2009. 384 p.

ROMERO, A. M.; REIS, B. L. **Eficiência Energética em Edifícios**. Manole, 2012. 195 p.

RORIZ, M. **Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro**. São Carlos: ANTAC. 2012. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Proposta\\_Revisao\\_Zoneamento\\_Bioclimatico.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Proposta_Revisao_Zoneamento_Bioclimatico.pdf)>. Acesso em: 04 ago. 2015.

RTQ-C. **Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. 2014. Disponível em: <[http://pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/Port372-2010\\_RTQ\\_Def\\_Edificacoes-C\\_rev01.pdf](http://pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/Port372-2010_RTQ_Def_Edificacoes-C_rev01.pdf)>. Acesso em: 10 jul. 2016.

SCHINDLER. **Energy Efficiency Label for Elevators**. Disponível em: [http://www.schindler.com/content/nz/internet/en/mobility-solutions/products/elevators/\\_jcr\\_content/rightPar/downloadlist/downloadList/56\\_1371006083020.download.asset.56\\_1371006083020/VDI%20Brochure.pdf](http://www.schindler.com/content/nz/internet/en/mobility-solutions/products/elevators/_jcr_content/rightPar/downloadlist/downloadList/56_1371006083020.download.asset.56_1371006083020/VDI%20Brochure.pdf). Acesso em: 02 jan. 2016.

VALÉRIO, J. G. M. A. P. **Avaliação do Impacte das Pontes Térmicas no Desempenho Térmico e Energético de Edifícios Residenciais Correntes**. 2007. 97 F. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

WESTPHAL, S.F. **Desenvolvimento de um Algoritmo para Estimativa do Consumo de Energia Elétrica de Edificações não Residenciais a Partir de Dados Climáticos Simplificados**. 2003. 94f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.